ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม — อนุรักษวิทยา

สาขา — **ภาควิชา**

เรื่อง การประเมินค่าความชื้นในดินโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

Estimating Soil Moisture Using Vegetation Indices in Cassava Field, Khon Buri District, Nakhon Ratchasima Province

นามผู้วิจัย นางสาวขนิษฐา สุทธิบริบาล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมนิมิตร พุกงาม, วท.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์ปิยพงษ์ ทองดีนอก, ปร.ด.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดรรชนี เอมพันธุ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, Ph.D.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินค่าความชื้นในดินโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

Estimating Soil Moisture Using Vegetation Indices in Cassava Field, Khon Buri District, Nakhon Ratchasima Province

โดย

นางสาวขนิษฐา สุทธิบริบาล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขนิษฐา สุทธิบริบาล 2554: การประเมินค่าความชื้นในดินโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม) สาขาการจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาอนุรักษวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมนิมิตร พุกงาม, วท.ด. 185 หน้า

การประเมินค่าความชื้นในดินโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ทำการศึกษาความผันแปรความชื้นในดิน 2 วิธี คือการตรวจวัดตรงโดยวิธีการวัดโดยน้ำหนัก (gravimetric method) แบบเดือนเว้นเดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2552 ถึงเดือนมีนาคม 2553 ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0-5 เซนติเมตร ร่วมกับการใช้เครื่องวัดความชื้นในดินแบบ frequency domain reflectometry (FDR) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความผันแปรของความชื้นในดินในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง และการประเมินค่าความชื้นในดินโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM วิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณที่มีความเกี่ยวข้องกับความชื้นในดิน โดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ดัชนี คือ RVI, NDVI, TNDVI, IPVI, GNDVI, DVI, VI และ NDWI ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 15.07 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เมื่อพิจารณาความชื้นในดินตามช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืช พบว่าความชื้นในดินเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 24.98 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในระยะลงหัว และความชื้นในดินเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 7.25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในระยะเตรียมดิน เมื่อใช้ข้อมูลดัชนีพืชพรรณจากการสำรวจระยะไกล วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุระหว่างค่าความชื้นในดินที่ตรวจวัดได้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ดัชนี พบรูปแบบความสัมพันธ์ตามฤดูกาล ดังนี้

ตลอดการเจริญเติบโตของพืช $SM_{All} = 6.301+13.93NDVI-10.62VI+0.06DVI$ ($R^2 = 0.97$)
ช่วงน้ำหลาก $SM_{Wet} = 8.402-14.84VI+13.9NDVI$ ($R^2 = 0.91$)
ช่วงแล้งฝน $SM_{Dry} = 6.084+17.46NDVI+0.08DVI-10.66NDWI$ ($R^2 = 0.98$)

เมื่อ SM คือ ความชื้นในดิน หน่วยเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
NDVI คือ ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ
VI คือ ดัชนีพืชพรรณ
DVI คือ ดัชนีผลต่างพืชพรรณ
NDWI คือ ดัชนีผลต่างความชื้น

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kanitta Suttiboriban 2011: Estimating Soil Moisture Using Vegetation Indices in Cassava Field, Khon Buri District, Nakhon Ratchasima Province. Master of Science (Watershed and Environmental Management), Major Field: Watershed and Environmental Management, Department of Conservation. Thesis Advisor: Assistant Professor Somnimirt Pukngam, Ph.D. 185 pages.

Estimating soil moisture using vegetation indices in cassava field, Khon Buri district, Nakhon Ratchasima province was conducted to study variations of soil moisture. The research employed two methods. The first method was gravimetric method which direct measurement and the second method was estimation of soil moisture by using remotely sensed data as vegetation indices. The experiment was done every other month during May 2009 to March 2010. Soil moisture verification was measured at 0-5 cm depth from the soil surface by frequency domain reflectometry (FDR). The objective of this study was variations of soil moisture in various of plant growth stages and using remotely sensed data from LANDSAT 5 TM implied vegetation indices related with soil moisture. There were 8 vegetation indices as follow: RVI, NDVI, TNDVI, IPVI, GNDVI, DVI, VI and NDWI. The results showed that the whole average of soil moisture was 15.07 percent by volume. Considering by plant growth state, the maximum soil moisture was 24.98 percent by volume in rooting stage and the minimum was 7.25 percent by volume in soil preparation stage. While estimating of soil moisture using remote sensing data with 8 parameters of vegetation indices derived by multiple regression analysis. The result found that the regression equation can be expressed as follow:

All plant growth stage: $SM_{All} = 6.301+13.93NDVI-10.62VI+0.06DVI$ ($R^2 = 0.97$)

Wet period: $SM_{Wet} = 8.402-14.84VI+13.9NDVI$ ($R^2 = 0.91$)

Dry period: $SM_{Dry} = 6.084+17.46NDVI+0.08DVI-10.66NDWI$ ($R^2 = 0.98$)

When SM_{All} was soil moisture in all plant growth stage in unit of percent by volume.

SM_{wet} was soil moisture in wet period in unit of percent by volume.

SM_{Dry} was soil moisture in dry period in unit of percent by volume.

NDVI was normalized difference vegetation index.

VI was vegetation index.

DVI was difference vegetation index.

NDWI was normalized difference water index.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณในความเมตตาของ ผศ.ดร. สมนิมิตร พุกงาม ประธานกรรมการที่ปรึกษา ดร. ปิยพงษ์ ทองดีนอก กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่สอนให้ข้าพเจ้ารู้จักคิด และเรียนรู้การทำวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ ตรวจทานแก้ไข และเป็นกำลังใจที่สำคัญตลอดมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร. ไพสานต์ เพ็ชรพลาย ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย และ ศ.ดร.นิพนธ์ ตั้งธรรม ประธานการสอบ ที่ให้คำแนะนำในการปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่องจากการสอบ เพื่อความถูกต้องและความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ได้รับความอนุเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM และได้รับความสนับสนุนภายใต้การวิจัย GEWEX Asian Monsoon Experiment Tropics (GAME-T) และ Coordinated Enhanced Observational Period (CEOP) ในการใช้สถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.พูนพิภพ เกษมทรัพย์ ที่ได้ช่วยเหลือให้ใช้เครื่องตรวจวัดอากาศอัตมัติ (Watchdog) และอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนามตลอดมา

ขอขอบคุณ ลุงจวบ เป้ อ๊อฟ โน๊ต ตาล กิ๊ก กิ๊ฟ ก้อย และเพื่อนๆ น้องๆ ทุกคน และทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวชื่อมา สำหรับความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้งจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมไปถึงความช่วยเหลือด้านอื่นๆ ตลอดระยะเวลาในการวิจัย ขอขอบคุณพี่น้อง และเพื่อนๆ สาขาสาขาวิชาการจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ หวังดี และคอยเป็นกำลังใจเสมอมา

สุดท้านนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนด้านการเรียนการศึกษา รวมทั้งญาติพี่น้อง ครู อาจารย์ ที่คอยให้ความรักความเมตตา ห่วงใย อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจให้เสมอมาจนทำให้มีวันนี้ คุณค่าแห่งความดี และประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ขนิษฐา สุทธิบริบาล

พฤษภาคม 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
วิธีการ	39
ผลและวิจารณ์	49
สรุปและข้อเสนอแนะ	113
สรุป	113
ข้อเสนอแนะ	115
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	116
ภาคผนวก	129
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	185

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การส่งดาวเทียมชุด LANDSAT ขึ้นสู่วงโคจร และระบบบันทึกข้อมูลที่ติดตั้ง	24
2	ลักษณะการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่บันทึกในแต่ละช่วงคลื่นของระบบ TM และ ETM+ ในดาวเทียม LANDSAT-4, 5 และ 7	26
3	สัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในการประเมินค่าความชื้นในดินโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี	41
4	สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดิน บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา	49
5	ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา และความชื้นในดิน บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา	51
6	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการปรับแก้ทางเรขาคณิตของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี	57
7	ข้อมูลสถิติของข้อมูลภาพดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี	59
8	รูปแบบสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช กับค่าดัชนีพืชพรรณ	107
9	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการปรับแก้ทางเรขาคณิตของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี	108
10	ข้อมูลสถิติของข้อมูลภาพดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียมปี 2546 บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี	110
11	ค่าความชื้นในดินที่ได้จากการแทนค่าดัชนีพืชพรรณของปี 2546 และค่าความชื้นในดินที่วัดได้จริง บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี	111

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ข้อมูลความชื้นในดินและดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 22 มกราคม 2553	130
2	ข้อมูลความชื้นในดินและดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 23 มีนาคม 2553	141
3	ข้อมูลความชื้นในดินและดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 16 พฤษภาคม 2552	152
4	ข้อมูลความชื้นในดินและดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 6 ตุลาคม 2552	163
5	ข้อมูลความชื้นในดินและดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 18 ธันวาคม 2552	174

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะความชื้นในดิน ในรูปแบบและระดับต่าง ๆ	6
2	อุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นในดินชนิดต่าง ๆ	8
3	เครื่องมือวัดความชื้นแบบ frequency domain reflectometry (FDR)	11
4	กระบวนการสำรวจจากระยะไกล	18
5	การสะท้อนช่วงคลื่นแสงของพืช ดิน และน้ำ	19
6	ค่าการสะท้อนของวัตถุที่แปรผันตามความชื้นในดิน	21
7	ข้อมูลภาพเชิงตัวเลขของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	23
8	ตำแหน่งและที่ตั้งสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติบริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา	34
9	สถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ (automatic weather station; AWS)	36
10	เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ ของสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ	37
11	อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน	38
12	ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยากับความชื้นในดิน	53
13	ระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา	54
14	ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM (path 128 row 50)	58
15	difference vegetation index (DVI) บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี	60
16	green normalized difference vegetation index (GNDVI) บริเวณไร่มันสำปะหลัง	62
17	infrared percentage vegetation index (IPVI) บริเวณไร่มันสำปะหลัง	63
18	normalized difference vegetation index (NDVI) บริเวณไร่มันสำปะหลัง	64
19	normalized difference water index (NDWI) บริเวณไร่มันสำปะหลัง	67
20	ratio vegetation index (RVI) บริเวณไร่มันสำปะหลัง	68
21	transformed normalized difference vegetation index (TNDVI) บริเวณไร่มันสำปะหลัง	69
22	vegetation index (VI) บริเวณไร่มันสำปะหลัง	70

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะเตรียมดินกับค่าดัชนีพืชพรรณ	72
24	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะเพาะปลูกกับค่าดัชนีพืชพรรณ	75
25	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะลงหัวกับค่าดัชนีพืชพรรณ	78
26	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะก่อนเก็บเกี่ยวกับค่าดัชนีพืชพรรณ	80
27	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะเก็บเกี่ยวกับค่าดัชนีพืชพรรณ	83
28	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ	86
29	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วงน้ำหลาก	93
30	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วงแล้งฝน	99
31	ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM (parth 128 row 50)	109
32	ความสัมพันธ์ของค่าความชื้นในดินที่ได้จากการคำนวณกับค่าความชื้นในดินที่วัดจริง บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี	112

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินค่าความชื้นในดินโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

Estimating Soil Moisture Using Vegetation Indices in Cassava Field, Khon Buri District, Nakhon Ratchasima Province

คำนำ

ความชื้นในดินเป็นน้ำส่วนที่เก็บสะสมไว้ในดิน และเป็นน้ำส่วนที่ถูกนำมาใช้ในการเจริญเติบโตของพืชในช่วงเวลาที่ขาดแคลนน้ำ ความชื้นในดินที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินมีความสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก โดยดินเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะการเพาะปลูกมันสำปะหลังซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะอุตุนิยมวิทยาใกล้ผิวดินง่ายต่อการเกิดกระบวนการชะล้างพังทลายของดิน และส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางอุทกวิทยาอีกด้วย โดยมีผลทำให้น้ำซึมลงดินได้น้อย ซึ่งส่งผลต่อเนื่องถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำใต้ดินไปด้วย (วิชา, 2535) ในอดีตการศึกษาความชื้นในดินทำการศึกษาโดยตรวจวัดข้อมูลเป็นจุด โดยหากต้องการความละเอียดของข้อมูลสูงต้องมีการเก็บข้อมูลจำนวนมากทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงต้องใช้เวลานานและไม่มีความทันสมัยของข้อมูล การนำข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลมาใช้ในการศึกษาความชื้นในดินเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้ได้ข้อมูลอย่างรวดเร็ว สม่ำเสมอ ทันเวลา และสามารถศึกษาได้ครอบคลุมบริเวณขนาดใหญ่ เป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการสำรวจ จึงได้มีการนำภาพถ่ายดาวเทียมใช้ประเมินค่าดัชนีพืชพรรณต่าง ๆ ซึ่งใช้เป็นดัชนีที่บ่งชี้ค่าความชื้นในดินในพื้นที่ โดยเฉพาะการใช้ดัชนีที่แสดงสภาวะต่าง ๆ ของพืชพรรณ ดัชนีเหล่านี้มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปตามการสะท้อนแสงของวัตถุ และสามารถนำมาใช้อธิบายสภาพปัจจุบันของพื้นที่ ลักษณะการกระจายตัวและความเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณได้ดีกว่าตัวแปรด้านภูมิอากาศ (Kogan, 1995) ซึ่งเป็นวิธีวัดความชื้นในดินทางอ้อม โดยภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM มีการบันทึกข้อมูลซ้ำทุก ๆ 16 วัน จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการติดตามและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้อย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งคาดการณ์ปริมาณความชื้นในดินในพื้นที่ และการนำข้อมูลความชื้นในดินมาใช้ร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวางแผนการจัดการลุ่มน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จังหวัดนครราชสีมาอยู่ในบริเวณลุ่มน้ำมูล พบว่าในปี พ.ศ. 2504 มีพื้นที่ป่าถึงร้อยละ 55.52 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2527) แต่ในปี พ.ศ. 2543 พื้นที่ป่าลดลงเหลือเพียงร้อยละ 17.28 เท่านั้น โดยมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรร้อยละ 77.31 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด โดยแบ่งเป็นพื้นที่นาข้าวร้อยละ 39.12 รองลงมาเป็นมันสำปะหลัง คิดเป็นร้อยละ 18.93 ของพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร จากการที่พื้นที่ป่าส่วนใหญ่ได้กลายเป็นพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจนั้น ทำให้มีการสูญเสียน้ำพิ่มขึ้น สามารถควบคุมความเป็นประโยชน์ของดินและน้ำได้น้อยลง การประเมินค่าความชื้นในดินโดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกล บริเวณไร่มันสำปะหลัง สามารถนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการพื้นที่ที่เพาะปลูกมันสำปะหลังได้อย่างทันสมัยและต่อเนื่อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความผันแปรของความชื้นในดิน พื้นที่บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

2. เพื่อศึกษาการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM ในการประเมินค่าความชื้นในดิน พื้นที่บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ความชื้นในดิน (soil moisture)

1.1 ความหมายและประเภทของความชื้นในดิน

ความชื้นในดิน หมายถึง ปริมาณน้ำที่ถูกดูดยึดไปเก็บสะสมอยู่ในดินตามส่วนที่เป็นช่องว่างของดิน โดยความชื้นในดินนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของก๊าซที่ปรากฏอยู่ในดิน เนื่องจากความชื้นและก๊าซต่างก็อยู่ในส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน เมื่อดินมีความชื้นมาก ย่อมทำให้ปริมาณก๊าซที่อยู่ในดินลดลง ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างดินและบรรยากาศเหนือพื้นดินเป็นไปได้ยาก ทำให้ก๊าซออกซิเจนมีน้อยลง ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีมากขึ้น และน้ำในดินนี้เป็นส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ความชื้นในดินปรากฏใน 2 ภาวะ คือภาวะของเหลว (liquid state) หรือน้ำในดิน (soil water) และภาวะก๊าซ (gas state) หรือไอน้ำในดิน (soil water vapor) แต่ในสภาวะทั่วไปโดยเฉพาะในภูมิภาคเขตร้อน จะพบความชื้นในดินในภาวะที่เป็นของเหลว เนื่องจากน้ำเป็นสารประกอบ polar compound คือ โมเลกุลของน้ำมีประจุไฟฟ้าบวกทั้งหมดเท่ากับประจุไฟฟ้าลบ แต่การกระจายของประจุไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอในทุกส่วนของโมเลกุลของน้ำ ทำให้บางส่วนของโมเลกุลมีขั้วประจุทั้งบวกและลบ น้ำจึงแสดงปฏิกิริยาร่วม (interaction) ต่อสารที่มีประจุไฟฟ้าที่ไม่เป็นกลางได้ดีและมีสมบัติแตกต่างไป (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) น้ำในดินเป็นน้ำที่ประกอบด้วยสารและไอออนชนิดต่าง ๆ ละลายอยู่ด้วยเสมอ จึงไม่ใช่น้ำบริสุทธิ์ และเมื่อทุกส่วนของช่องว่างในดินมีน้ำขังเต็ม ย่อมไม่มีก๊าซใด ๆ ปรากฏอยู่เลย เรียกดินที่อยู่ในสภาวะนี้ว่า ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) แต่ถ้ามีน้ำขังเพียงบางส่วน ย่อมมีความชื้นที่อยู่ในภาวะของเหลวและก๊าซบางชนิดรวมทั้งไอน้ำ เรียกดินในสภาวะนี้ว่า ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated soil) น้ำในดินแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นน้ำที่อยู่ในลักษณะที่ถูกดินดูดซับเอาไว้ เรียกว่าความชื้นในดิน (soil moisture) น้ำส่วนนี้ส่วนใหญ่จะถูกเก็บกักเอาไว้ด้วยแรงดึงดูดของเม็ดดิน น้ำส่วนที่เกินความสามารถของดินที่จะดูดซับเอาไว้ได้เรียกว่า gravitation water น้ำส่วนนี้จะซึมผ่านชั้นดินต่าง ๆ สู่ระดับน้ำใต้ดิน ส่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่สองซึ่งเป็นน้ำที่ถูกเก็บกักเอาไว้ในดินในรูปของน้ำใต้ดิน น้ำส่วนนี้มีศักยภาพในการไหลออกสู่แหล่งน้ำลำธารด้วยแรงดึงดูดของโลก (วิชา, 2535)

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2541) ได้แบ่งความชื้นดินออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1.1.1 น้ำในองค์ประกอบทางเคมีของดิน (chemical combined water) โดยอยู่ในรูปของน้ำผลึก water of crystallization หรือ water of hydration คือ เป็นองค์ประกอบทางเคมีของส่วนประกอบที่เป็นของแข็งของดิน ดินที่แห้งสนิทที่ได้จากการอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะยังคงมีความชื้นประเภทนี้อยู่ ความชื้นในดินชนิดนี้ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เป็นความชื้นที่แทรกอยู่ในอนุภาคของเม็ดดินและสามารถทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุที่อยู่ในดินได้

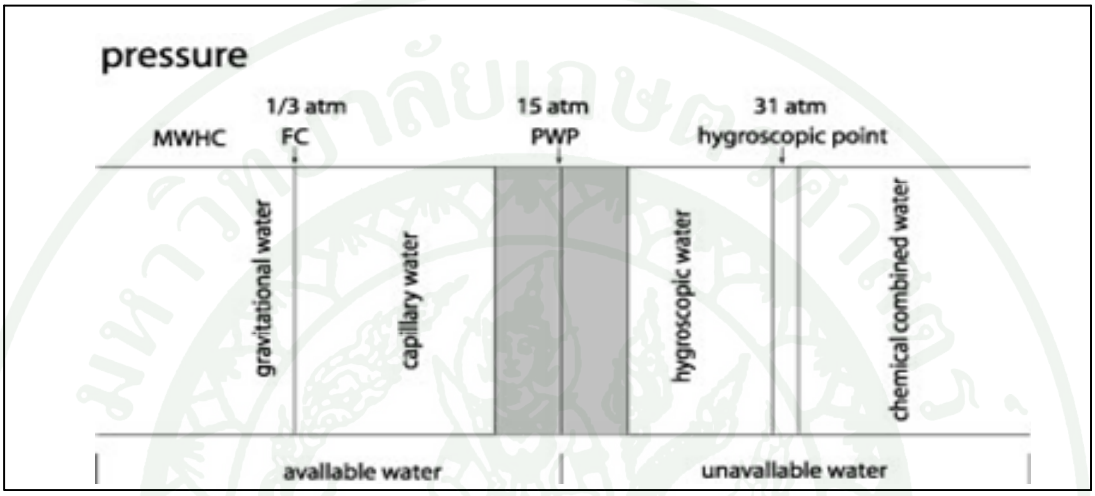
1.1.2 น้ำเยื่อ (hygroscopic water) น้ำประเภทนี้อยู่ในรูปของเยื่อบาง ๆ หนาราว 2-3 โมเลกุล ของน้ำ (layer of water molecule) รอบอนุภาคดิน พืชไม่สามารถดูดน้ำประเภทนี้ไปใช้ได้ ดินที่ผึ่งแห้งในร่ม (air dry soil) จะมีความชื้นดินอยู่ในรูปของน้ำเยื่อ และสามารถไล่ความชื้นนี้ให้ออกไปหมดได้โดยนำดินที่ผึ่งแห้งในร่มไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

1.1.3 น้ำซับหรือน้ำแคพิลลารี (capillary water) ความชื้นในดินประเภทนี้อยู่ในลักษณะของเยื่อบาง ๆ รอบอนุภาคดินถัดจากชั้นน้ำเยื่อ และอยู่ในลักษณะที่อยู่ในช่องว่าง (pore) ขนาดเล็กมาก ๆ ของดิน น้ำซับหรือน้ำแคพิลลารีเป็นความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available water) เป็นน้ำที่อนุภาคดินดูดยึดไว้ที่ผิวภายนอกที่อยู่ถัดจากน้ำเยื่อออกมา มีลักษณะเป็นแผ่นที่หนาขึ้น หรือเป็นน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดเล็กของดิน อนุภาคดินดูดยึดน้ำนี้ไว้ด้วยแรงประมาณ 0.3-31 บรรยากาศ ปริมาณน้ำประเภทนี้สามารถหาได้ด้วยการทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วปล่อยไว้ใต้อิทธิพลของแรงดึงดูดของโลก และไม่ให้มีการระเหยของน้ำออกจากดินได้ จนกระทั่งน้ำไม่ไหลออกไปจากดินอีก

1.1.4 น้ำซึม (gravitation water หรือ drainage water) เป็นน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ของดิน โดยถูกยึดจากอนุภาคดินด้วยแรงที่น้อยมาก และถูกอิทธิพลของโลกทำให้เคลื่อนออกไปจากดินพืชจึงใช้ประโยชน์จากน้ำประเภทนี้น้อยมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2541) ได้กล่าวไว้ว่าเป็นการยากที่จะบอกว่าน้ำในดินเป็นน้ำประเภทใด จึงได้กำหนดค่าความดันของน้ำที่ใช้แบ่งประเภทของน้ำในดินแต่ละระดับแสดงในภาพที่ 1 ดังนี้



ภาพที่ 1 ลักษณะความชื้นในดิน ในรูปแบบและระดับต่าง ๆ

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2541)

1) hygroscopic coefficient คือ น้ำในดินที่เป็นน้ำเยื่อ (hygroscopic water) ซึ่งถูกดูดยึดด้วยแรงระหว่างเม็ดดินกับโมเลกุลของน้ำ (adhesion) อย่างเหนียวแน่น จนพืชไม่สามารถดูดเอาน้ำไปใช้ได้ ในทางปฏิบัติซึ่งทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าต้องใช้ความดันมากกว่า 31 บรรยากาศจึงจะบังคับให้น้ำออกไปจากดินได้ ซึ่งปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในดินขณะนั้นเป็นปริมาณความชื้นที่เป็นน้ำเยื่อ (hygroscopic water) หรือจุดนั้นเรียกว่า hygroscopic point

2) ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (permanent wilting point) คือ ปริมาณน้ำในดินที่น้อยที่สุดที่พืชนำเอาไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ถ้าความชื้นมากกว่านี้แล้วพืชทั่ว ๆ ไปจะนำไปใช้ได้ หรือใช้วิธีการในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องทำความดันแรงดัน 15 บรรยากาศบังคับให้น้ำออกมา ปริมาณน้ำในดินนี้เรียกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3) ความชื้นที่ระดับสนาม (field capacity) คือ ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในดินหลังจากที่ทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำและปล่อยให้น้ำระบายออกในเวลา 2-3 วัน หรืออาจใช้เครื่องมือทำความดันประมาณ 1/3 บรรยากาศบังคับน้ำให้ระบายออกมา ซึ่งปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในดินคือปริมาณความชื้นที่ระดับสนาม

4) ความจุความชื้นในดินสูงที่สุด (maximum water holding capacity) คือ ความชื้นในดินขณะที่ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ (saturation point) โดยความชื้นในดินที่ความจุความชื้นของดินสูงที่สุดนี้มีแรงดันเท่ากับ 0 บรรยากาศ

1.2 วิธีการตรวจวัดความชื้นในดิน

การหาความชื้นในดินมีหลายวิธีทั้งทางตรง และทางอ้อม การวัดระดับความชื้นในดินมีทางตรงคือวิธีวัดโดยน้ำหนัก (gravimetric method) ส่วนการวัดทางอ้อม ได้แก่ การอ่านจากเครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งการวัดระดับความชื้นทางอ้อมจะกระทำได้รวดเร็วกว่า สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าความชื้นในดิน ดังภาพที่ 2 ซึ่งมณฑาทิพย์ (2545) สรุปไว้ดังนี้

1.2.1 วิธีวัดโดยน้ำหนัก (gravimetric method) เป็นการวัดความชื้นโดยตรง ประกอบด้วยการเก็บตัวอย่างดินตรงตำแหน่งและเวลาที่ต้องการใส่ในกระป๋องความชื้น (moisture can) ซึ่งมีฝาปิดสนิทเพื่อป้องกันการระเหยน้ำ นำมาชั่งหาน้ำหนัก แล้วเอาเข้าตู้อบที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง น้ำหนักของน้ำที่หายไปต่อน้ำหนักดินแห้งคูณด้วย 100 จะเป็นความชื้นในดินโดยน้ำหนัก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณความชื้นในดินโดยน้ำหนัก (Pw) ดังนี้

$$Pw = \frac{(Ww - Wd) \times 100}{Wd} \quad (1)$$

โดยที่ Pw = ความชื้นในดินโดยน้ำหนัก

Ww = น้ำหนักดินเปียก

Wd = น้ำหนักดินอบแห้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

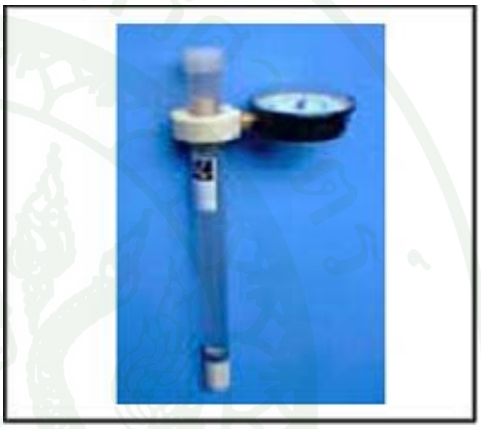
สามารถคำนวณหาร้อยละความชื้นในดินโดยปริมาตรได้จาก

$$PV = Pw \times Bd \quad (2)$$

โดยที่ PV = ความชื้นในดินโดยปริมาตร

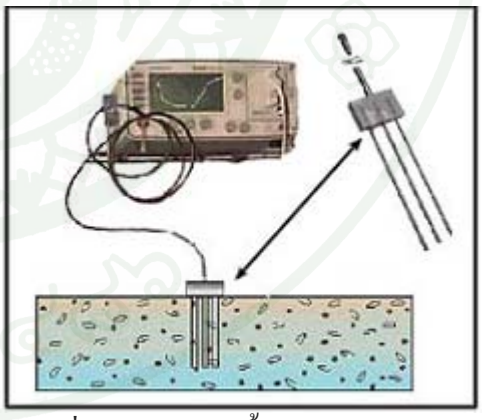
Bd = ความหนาแน่นรวม

(ก) วิธีวัดโดยน้ำหนัก



(ข) เทนซิโอมิเตอร์ (tensiometer)

(ค) เครื่องมือวัดความชื้นในดินด้วยนิวตรอน



(ง) เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบ TDR

ภาพที่ 2 อุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นในดินชนิดต่าง ๆ

ที่มา: ดัดแปลงมาจากมณฑาทิพย์ (2545)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การหาค่าความชื้นในดินโดยวิธีนี้ไม่สะดวกในกรณีที่ต้องมีการเก็บตัวอย่างดินบริเวณนั้นอย่างสม่ำเสมอ โดยต้องทำการขุดหรือเจาะดินตัวอย่างขึ้นมาทุกครั้งที่ทำการศึกษา (นิพนธ์, 2542) ซึ่งทำให้บริเวณที่ทำการเก็บข้อมูลมีความเสียหาย ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลมาก สำหรับการใช้วิธีนี้ควรใช้กับบริเวณแปลงตัวอย่างขนาดเล็ก ๆ และใช้ตรวจสอบกับวิธีอื่นมากกว่า แต่อย่างใดก็ตามวิธีนี้คงใช้กันโดยทั่วไป เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกในการสังเกต อีกทั้งเป็นวิธีการที่ถูกต้องที่สุด

1.2.2 การใช้เทนซิโอมิเตอร์ (tensiometer) เทนซิโอมิเตอร์ออกแบบไว้สำหรับวัดความเครียดเมตริก (metric suction) ของน้ำในดินซึ่งเป็นความเครียดที่เกิดจากอำนาจที่ดึงหรือฉุดของอนุภาคดิน ความเครียดประเภทนี้แปรผกผันกับระดับความชื้นในดินจึงสามารถดัดแปลงเทนซิโอมิเตอร์มาใช้วัดความชื้นได้ ค่าที่อ่านได้จากการใช้เทนซิโอมิเตอร์ไม่ใช่ความชื้นในดิน จึงมีความจำเป็นต้องสร้างเส้นโค้งเปลี่ยนค่าก่อนนำเครื่องไปใช้งาน การสร้างเส้นโค้งเปลี่ยนค่าทำได้โดยเตรียมตัวอย่างดินให้มีระดับความชื้นที่ทราบค่าแน่นอนต่าง ๆ กัน แล้วฝังเทนซิโอมิเตอร์ลงไปอ่านค่าจากเครื่องมือที่ถึงสมดุล ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จากเครื่องมือกับระดับความชื้นในดิน ที่เรียกว่า calibration curve (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

1.2.3 การใช้แท่งวัดความต้านทาน (electric resistance block) ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่ฝังอยู่ในแท่งวัสดุพรุน และมีสายไฟฟ้าเชื่อมต่อออกมาจากภายนอก โดยแท่งวัสดุพรุนอาจเป็นพวกยิปซัม ไฟเบอร์กลาส ไนลอน หรือเทปลอน และมีมิเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้า (Hassett and Banwart, 1992) การวัดความชื้นโดยวิธีนี้ต้องสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่าความต้านทานที่อ่านได้จากการวัด เส้นโค้งที่สร้างขึ้นมาสำหรับดินหนึ่งควรใช้เฉพาะกับดินนั้น ถ้าเปลี่ยนชนิดของดินก็ควรสร้างเส้นโค้งเปลี่ยนค่าขึ้นมาใหม่ เพราะลักษณะเฉพาะตัวทางความชื้นในดิน รวมทั้งปริมาณเกลือในดินแต่ละแห่งจะไม่เหมือนกัน แม้แต่ใช้วัดในดินเดียวกัน แท่งวัสดุพรุนเหมาะกับการใช้งานเมื่อดินมีระดับความชื้นในดินอยู่ระหว่างจุดเหี่ยวเฉาถาวร (permanent wilting point) และจุดซึ่งต่ำกว่าความชื้นระดับสนาม (field capacity) เล็กน้อย ถ้าระดับความชื้นในดินมีค่าต่ำกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวร หรือใกล้เคียงกับความชื้นระดับสนามความไวของเครื่องมือจะลดลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) การวัดความชื้นในดินโดยวิธีนี้จะวัดความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชมากกว่าทำการหาความชื้นในดินหรือปริมาณน้ำที่แท้จริง (นิวัติ, 2514)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.4 เครื่องมือวัดความชื้นในดินด้วยนิวตรอน (neutron moisture meter) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดระดับความชื้นโดยอาศัยหลักการชนระหว่างนิวตรอนความเร็วสูงนิวตรอนความเร็วสูงจะถ่ายทอดพลังงานให้ไฮโดรเจนอะตอม แล้วเป็นนิวตรอนความเร็วต่ำ จำนวนของนิวตรอนจึงผันแปรโดยตรงกับระดับความชื้นดิน ค่าที่ได้จากเครื่องไม่ใช่ค่าความชื้นในดิน จึงทำให้มีการสร้างเส้นโค้งเปลี่ยนค่าสำหรับดินชนิดนั้นขึ้นมาเสียก่อน สำหรับปัจจุบันบางเครื่องก็จะมีหน่วยประเมินผลอยู่ภายใน จึงทำให้สามารถรู้ค่าความชื้นได้ทันที เมื่อนับจำนวนนิวตรอนความเร็วต่ำเสร็จ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

การวัดความชื้นด้วยนิวตรอนเป็นการวัดที่สะดวกในการวัดภาคสนามสามารถวัดได้มากแห่งโดยสภาพดินไม่เสียหาย ปราศจากการเสี่ยงทางด้านข้อมูล แต่ทั้งนี้การวัดด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะต่อการวัดความชื้นตรงผิวดิน เพราะให้ค่าที่คลาดเคลื่อนได้ง่าย รวมทั้งผู้ใช้อาจได้อันตรายจากรังสีนิวตรอนหากขาดมาตรการป้องกันที่ดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; นิพนธ์, 2542) และเมื่อเทียบด้านราคา พบว่าการใช้การวัดความชื้นด้วยนิวตรอนมีราคาสูง เมื่อเปรียบเทียบด้วยการวัดด้วยเทนซิโอมิเตอร์ และแท่งวัดความต้านทาน

1.2.5 เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบ TDR (time domain reflectometry) เป็นเครื่องวัดความชื้นในดินที่มีการทำงานโดยใช้วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโมเลกุลน้ำ เพื่อใช้ประมาณความชื้นในดิน อุปกรณ์ในการวัดความชื้นของ TDR ซึ่งประกอบด้วย แท่งโลหะ (rods) สายส่งสัญญาณ (transmission lines) และส่วนของการแสดงผล (TDR cable tester) การทำงานจะมีการแพร่ของกระแสไฟฟ้าไปสู่ดินและมีการย้อนกับมาที่ปลายของสายส่ง เทคนิคในการวัดของ TDR คือ การวัดความเร็วของการแพร่สัญญาณความถี่สูง โดยความเร็วของการแพร่จะลดลงในวัตถุที่มี dielectric constant ที่สูงกว่า สำหรับค่า dielectric constant ของน้ำมีค่าประมาณ 80 องค์ประกอบที่เป็นของแข็งในดินมีค่า dielectric constant อยู่ระหว่าง 2-7 และอากาศมีค่า dielectric constant เท่ากับ 1 (Topp, 1993)

1.2.6 เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบ FDR (frequency domain reflectometry) วิธีนี้ใช้หลักการเดียวกับ TDR แต่เปรียบเทียบความถี่ของคลื่นสะท้อนที่เปลี่ยนไป แทนเวลาสะท้อนกลับของคลื่น FDR ใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RF) เพื่อวัดความเก็บประจุของดิน วิธีการวัดนี้ยังใช้กระแสไฟฟ้าสลับในการเผยแพร่สัญญาณไฟฟ้าผ่านโลหะเหล็กปลายแหลม หรือคลื่นอื่น ๆ แต่ด้วยวิธีการนี้ใช้ความแตกต่างระหว่างคลื่นที่ออกและคลื่นความถี่กลับ สามารถวัดเพื่อตรวจสอบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความชื้นในดิน เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบ FDR (ภาพที่ 3) ทำให้ได้ค่าที่มีความถูกต้อง และ FDR มีเวลาตอบสนองได้เร็วขึ้นเมื่อเทียบกับ TDR

ภาพที่ 3 เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบ FDR (frequency domain reflectometry)

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก สมศักดิ์ (2554)

1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นในดิน

สิ่งสำคัญต่อปริมาณของความชื้นในดินที่พบอย่างหนึ่ง คือการซึมของน้ำ หรือการเคลื่อนย้ายน้ำลงดิน สำหรับปัจจัยพื้นฐานในการควบคุมการเคลื่อนย้ายของน้ำลงดิน จากการศึกษาของ Donahue *et al.* (1997) ได้กล่าวไว้ดังนี้

1.3.1 เนื้อดิน (soil texture) การที่ดินมีปริมาณอนุภาคทรายหยาบมากก็จะเพิ่มการซึมน้ำลงดิน แต่อย่างไรก็ตามชั้นของดินแต่ละชั้นมีความสามารถในการให้น้ำผ่านแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากทรายมีการจับน้ำได้น้อยกว่าเพราะมีบริเวณผิวน้อยกว่า โดยเฉพาะดินเหนียวจับน้ำได้มากกว่าเพราะมีบริเวณผิวมากกว่า (Miller, 1977) นอกจากนี้ช่องว่างในดินของดินเหนียวมีขนาดเล็กกว่าดินทรายและชั้นของดินที่ให้โอกาสการซึมน้ำน้อยที่สุดจะเป็นตัวจำกัดการซึมน้ำ (วิชา, 2535) และจากการศึกษาของ อุดม (2529) พบว่า ภูมิอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของดินน้อยกว่าสภาพภูมิประเทศ ปริมาณอนุภาคทรายและอนุภาคดินเหนียวใกล้เคียงกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในสภาพภูมิประเทศที่คล้ายคลึงกัน สำหรับดินตอนบนมีอนุภาคใหญ่เป็นจำนวนมากส่วนดินตอนล่างมีการสะสมดินเหนียว

1.3.2 โครงสร้างของดิน (soil structure) ดินที่มีโครงสร้างดีจะมีสัดส่วนของช่องว่างขนาดใหญ่อยู่มากทำให้นำน้ำได้ดี ดินพวกนี้จึงมีอัตราการแทรกซึมสูง ตรงข้ามกับดินเนื้อละเอียดที่มีโครงสร้างไม่ดีคือดินไม่จับตัวกันเป็นก้อนจึงมีสัดส่วนของช่องว่างขนาดเล็กอยู่มากสภาพนำน้ำของดินมีค่าต่ำ ดินก็จะมีอัตราการแทรกซึมต่ำ ปริมาณช่องว่างในดินจะลดลงโดยการอัดตัวของดินและแปรผันกลับกับความลึก ดินบนที่เป็นทรายมีช่องว่างในดินอยู่ในช่วงร้อยละ 35–50 ในขณะที่ดินเนื้อปานกลางถึงละเอียดมีอยู่ในช่วงร้อยละ 40-60 หรือมากกว่า สำหรับในดินล่างที่มีการอัดตัวบางครั้งอาจมีปริมาณช่องว่างเพียงร้อยละ 25-30 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ซึ่งจากการศึกษาของนิพนธ์ (2512) สรุปได้ว่า ในบริเวณป่าดิบเขาซึ่งดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง โครงสร้างของดินเกาะยึดกันดี เนื้อดินร่วนซุย จะเก็บกักน้ำไว้ได้มาก ขณะเดียวกันก็จะระบายลงสู่ลำธารอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ รวมทั้งผลการศึกษาของบุญปลูก (2523) ที่ศึกษาการไหลของน้ำในลุ่มน้ำป่าเบญจพรรณ ที่พบว่าดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อย เมื่อเกิดฝนตกจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็วและใช้ระยะเวลาสั้น

1.3.3 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter) ถ้ามีอินทรียวัตถุในดินมากจะช่วยให้การซึมน้ำลงสู่ดินเร็วขึ้น อินทรียวัตถุมีความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ได้ในปริมาณที่มากคือประมาณ 6-20 เท่าของน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากเป็นอนุภาคขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์ จึงมีบริเวณดูดซับน้ำได้มากเป็นพิเศษ นอกจากนั้นอนุภาคของอินทรียวัตถุประกอบกันมีโครงสร้างลักษณะคล้ายฟองน้ำ มีช่องขนาดเล็กที่ดูดซับได้ดีอยู่มาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) โดยปริมาณอินทรียวัตถุมีมากบริเวณใกล้ผิวดิน และลดลงตามระดับความลึก (เกษม และเพิ่มศักดิ์, 2522)

สำหรับในพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง ทำให้ความจุในการเก็บกักน้ำมีมาก จากการสรุปของ Gotshalk (1939) แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดยึดน้ำของดินป่าไม้ที่มีซากพืชปกคลุม ซึ่งดูดยึดน้ำได้มากกว่าดินป่าไม้ที่ปราศจากพืชคลุมดินประมาณ 3 เท่าเป็นอย่างน้อย ดังนั้นการทำลายป่าไม้ไม่ว่าโดยวิธีใดก็ตาม มีผลทำให้ป่าไม้เก็บกักน้ำได้น้อยลง และการศึกษาของเพิ่มศักดิ์ (2522) ซึ่งได้ศึกษาความชื้นในดินของป่าดิบเขาธรรมชาติดอยปุย จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า การลดลงของความชื้นในดินมักเกิดขึ้นกับดินชั้นใกล้ผิวดินที่มีอินทรียวัตถุสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนดินชั้นลึกลงไปไม่ปรากฏการลดลงของความชื้นในดินเป็นไปอย่างรวดเร็วนักแสดงให้เห็นว่าดินที่มีอินทรียวัตถุสูง ปริมาณความชื้นจะเพิ่มและลดลงอย่างรวดเร็วกว่าดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำ

1.3.4 ความลึกของดิน (soil depth) ดินที่มีความหนาของชั้นดินน้อยจะทำให้น้ำผ่านได้น้อยกว่าชั้นดินที่มีความหนาของชั้นดินที่มากกว่า และความสามารถในการเก็บกักน้ำจะขึ้นอยู่กับชนิดดินและความลึกดิน จากการศึกษาของบุญฤทธิ์ (2525) พบว่า ความหนาแน่นของอนุภาคดินเพิ่มขึ้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความลึกของดิน กล่าวคือความหนาแน่นรวมที่ระดับความลึก 0-5, 5-10 และ 50-70 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นที่ระดับความลึก 20-30 เซนติเมตร ความหนาแน่นรวมของดินชั้นนี้จะผันแปรมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมาก สำหรับความหนาแน่นรวมของดินที่ระดับต่ำที่สุด 50-70 เซนติเมตร ทุกสภาพบริเวณมีค่ามากที่สุดและคล้ายคลึงกัน

1.3.5 ปริมาณน้ำในดิน มีบทบาทอย่างมากเพราะความชื้นในดินมีผลต่อสมรรถนะการซึมน้ำผ่านผิวดินทั้งให้น้ำเข้าเก็บในดิน และความสามารถดูดน้ำของดินอีกด้วย เมื่อเริ่มต้นจะเกิดการซึมน้ำเท่านั้น ถ้าดินแห้งจะให้อัตราการซึมน้ำสูงมาก เนื่องจากแรงดึงดูดภายในเม็ดดินและแรงดูดยึดของโลก ทำให้สมรรถนะการซึมน้ำผ่านผิวดินสูงด้วย ครั้นเมื่อดินเริ่มเปียกสารคอลลอยด์ต่าง ๆ ที่ผสมอยู่เป็นเม็ดดินจะพองตัวซึ่งอาจมีส่วนในการไปอุดรูดินทำให้ลดการซึมน้ำผ่านผิวดิน อีกทั้งมีส่วนทำให้แรงดึงดูดระหว่างเม็ดดินลดน้อยลง (เกษม, 2522) ดินเปียกให้น้ำซึมผ่านน้อยกว่าดินชื้นหรือดินแห้ง เกษม (2515) กล่าวว่า ขณะที่ฝนตกในตอนแรกนั้นดินยังแห้งอยู่การซึมน้ำได้ของดินมีสูง ทำให้น้ำซึมลงสู่ที่ต่ำ และเก็บกักไว้เป็นน้ำใต้ดินอันเป็นส่วนสำคัญในการไหลของน้ำในลำธาร กล่าวคือน้ำในลำธารสูงขึ้น ลักษณะเช่นนี้เป็นเพียงระยะเวลาอันสั้น ครั้นต่อมาเม็ดฝนอาจไปทำลายผิวดินทำให้ผิวดินบริเวณนั้นแตกกระจายและทำให้รูดินตามผิวถูกอัดไว้ ทำให้การซึมน้ำจากผิวดินลงสู่ที่ต่ำลดน้อยลง ทำให้น้ำไหลสู่ลำธารน้อยลงหรืออีกนัยหนึ่ง เมื่อดินอุ้มน้ำสูงที่สุดแล้วมีผลทำให้เม็ดดินพองตัวสูงขึ้น เป็นผลทำให้ปริมาณดินลดลง ความสามารถในการซึมน้ำลดลง

1.3.6 ลักษณะและปริมาณพืชคลุมดิน (vegetal cover) เช่น หญ้า หรือป่ามีแนวโน้มในการทำให้การซึมน้ำผ่านผิวดินสูงและมากขึ้น เพราะพืชคลุมดินนี้นอกจากป้องกันไม่ให้ฝนตกกระทบดินโดยตรงแล้วยังช่วยเสริมสร้างให้เกิดชั้นอินทรียวัตถุ โดยชนิดของพืชคลุมดินมีความสำคัญต่อการซึมน้ำผ่านผิวดินมากกว่าชนิดดิน (เกษม, 2522) จากการศึกษาของพีระชัย (2537) ซึ่งศึกษาการซึมน้ำผ่านผิวดินของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำห้วยหินดาด จังหวัดระยอง พบว่า บริเวณป่าธรรมชาติซึ่งมีพืชปกคลุมหน้าดินไว้ มีอัตราการซึม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำผ่านผิวดินได้สูงกว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น ๆ ซึ่งพออนุมานได้ว่า เมื่ออัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินสูงย่อมทำให้ดินเก็บกักน้ำได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำใต้ดินหรือความชื้นในดินเพิ่มสูงขึ้น

1.3.7 สภาพภูมิประเทศ (topography) สภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกันทำให้การซึมน้ำลงดินแตกต่างกัน (Sampson, 1952) เกิดความผันแปรของน้ำในดินเป็นอย่างมาก โดยสภาพภูมิประเทศที่มีความลาดชันจะมีโอกาสการซึมน้ำได้น้อยกว่าบริเวณราบที่มีชนิดดินเดียวกัน (วิชา, 2535) ในที่ลาดชันมาก ๆ เวลาเกิดฝนตกน้ำซึมลงสู่ดินได้น้อยเกิดเป็นน้ำไหลบ่าหน้าดินรุนแรงตามระดับความลาดชัน ตรงข้ามกับในที่ราบซึ่งน้ำซึมลงดินได้ดีทำให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของจรินทร์ (2516) ได้ศึกษาสมรรถนะการซึมได้ของน้ำผ่านผิวดินบริเวณป่าดิบเขาห้วยคอกม้า จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งสรุปว่าเมื่อความลาดชันของผิวดินเพิ่มขึ้นสมรรถนะการซึมได้มีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะเมื่อความชื้นเดิมของดินสูงขึ้น

1.3.8 ปริมาณฝน (rainfall) ถ้ามีฝนมากการซึมน้ำก็เพิ่มขึ้น (Sukurai *et al.,* 1991) สอดคล้องกับการศึกษาของอมลรัตน์ (2544) พบว่า ความผันแปรความชื้นในดินทุกบริเวณของป่าเบญจพรรณขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน เมื่อมีปริมาณน้ำฝนมากจะทำให้ปริมาณน้ำในดินเพิ่มมากขึ้น และเมื่อปริมาณน้ำฝนน้อยหรือช่วงที่ไม่มีฝนตกลงมาความชื้นในดินมีค่าเพียงเล็กน้อย

1.4 การสูญเสียน้ำจากดิน

การสูญเสียน้ำจากดินเกิดเนื่องจากสาเหตุหลัก 3 ประการ คือ การระบายน้ำ (drainage) การระเหย (evaporation) และการคายน้ำของพืช (transpiration) น้ำที่ถูกระบายออกไปจะกลายไปเป็นน้ำใต้ดิน การระเหยและการคายน้ำเป็นการนำน้ำกลับสู่บรรยากาศ (Kimmis, 1997) การระเหยเกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกมายังพื้นโลกและการเคลื่อนย้ายของน้ำขึ้นสู่ด้านบน บริเวณที่ว่างเปล่ามีการระเหยในตอนแรกรวดเร็วเนื่องจากน้ำที่ระเหยนี้มาจากช่องว่างขนาดใหญ่ และเมื่อน้ำจากช่องว่างนี้หมดไป ต่อมาน้ำในช่องว่างขนาดเล็กก็เกิดการระเหยทำให้การระเหยช้าลง สำหรับการคายน้ำเกิดจากการที่พืชทำการดูดน้ำโดยรากและผ่านลำต้นไปสู่ใบ การคายน้ำของพืชแตกต่างกันไปตามชนิดป่ารวมถึงชนิดพันธุ์พืช ความสามารถของใบในการระเหยน้ำ ความสามารถของน้ำในดิน และความสามารถของแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังใบไม้ ปิยพงษ์ (2544) ได้ทำการศึกษาการคายระเหยน้ำโดยวิธี Bowen ratio ในบริเวณนาข้าว ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2541 ถึงเดือนธันวาคม 2543

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนบริเวณไร่อ้อย บริเวณไร่ข้าวโพด ศึกษาในช่วงเริ่มฤดูเพาะเพาะปลูก และช่วงที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่ และในบริเวณป่าเต็งรังผสมเบญจพรรณศึกษาในช่วงฤดูหนาว และฤดูฝน พบว่า ในบริเวณนาข้าวมีค่าการคายระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 มิลลิเมตร ส่วนในบริเวณไร่อ้อยและข้าวโพดมีค่าการคายระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยในช่วงเริ่มการเพาะเพาะปลูกเท่ากับ 3.80 และ 3.10 มิลลิเมตร ตามลำดับ และในช่วงการเจริญเติบโตเต็มที่มีค่าการคายระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยเท่ากับ 4.10 และ 3.70 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับป่าเต็งรังผสมเบญจพรรณมีค่าการคายระเหยน้ำรายวันในช่วงฤดูหนาวเท่ากับ 4.30 มิลลิเมตร และฤดูฝนเท่ากับ 4.90 มิลลิเมตร

1.5 การศึกษาความชื้นในดิน

เพิ่มศักดิ์ (2522) ได้ทำการศึกษาลักษณะอุทกวิทยาของดินที่สัมพันธ์กับน้ำในลำธารช่วงแล้งฝนของป่าดิบเขาธรรมชาติ ภาคเหนือของประเทศไทย พบว่าปริมาณความชื้นในดินของป่าดิบเขาธรรมชาติในระดับความลึกต่าง ๆ ชั้นของดินที่มีความชื้นสูงที่สุดตลอดเวลา ได้แก่ ระดับความลึกที่ผิวดิน 0-5 เซนติเมตร และความชื้นในดินจะลดต่ำลงตามระดับความลึก

สมเกียรติ (2538) ได้ทำการศึกษาผลการฟื้นฟูสภาพป่าที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช กิ่งอำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา พบว่า ในพื้นที่ป่าดิบแล้งและสวนป่าทดแทน มีปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดปีตามชั้นของดิน (soil profile) มากที่สุดบริเวณผิวดิน 5 เซนติเมตร ส่วนที่ความลึก 20 เซนติเมตร ความชื้นในดินลดลงมากเนื่องจากปริมาณรากพืชมีมากในบริเวณนี้ จากนั้นความชื้นในดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น สำหรับป่าเต็งรังพบว่า ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดปีตามชั้นดินส่วนใหญ่มีความชื้นมากที่สุดบริเวณผิวดิน 5 เซนติเมตร และบริเวณดินที่ลึกลงไปโดยที่ระดับความลึกที่ 20 เซนติเมตร ความชื้นในดินจะลดลงมากเนื่องจากรากพืชมีมากบริเวณใกล้ผิวดิน ความชื้นในดินที่ระดับความลึก 40 และ 60 เซนติเมตร มีการเปลี่ยนแปลงรายเดือนมาก โดยความชื้นที่ระดับความลึก 40 เซนติเมตร มากกว่าที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตร ในเดือนที่ฝนตกมากบางเดือนจะมีความชื้นมากกว่าที่ระดับผิวดิน และในทางตรงกันข้ามความชื้นที่ระดับ 60 เซนติเมตร มากกว่าที่ระดับ 40 เซนติเมตร ในเดือนที่ฝนตกน้อย ทั้งนี้เนื่องจากมาจากลักษณะของเนื้อดินที่ค่อนข้างแน่น คือความพรุนของดินมีน้อยทำให้เมื่อฝนตกลงมาน้ำซึมผ่านชั้นดินไม่ถึงชั้นดินที่ลึกกว่า ในส่วนของป่าเบญจพรรณ ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร มีความชื้นในดินต่ำกว่าป่าเต็งรัง และป่าดิบแล้ง แต่ที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร ปริมาณความชื้นในดินของป่าเบญจพรรณมากกว่า ส่วนในสวนป่าฟื้นฟู

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และไร่ร้าง พบว่า บริเวณที่ระดับผิวดิน 5 เซนติเมตร มีความชื้นสูงใกล้เคียงกันในแต่ละเดือน และบริเวณที่ความลึก 20 เซนติเมตรความชื้นในดินลดลงมาก เนื่องจากพบรากพืชในชั้นความลึกนี้

Harding *et al.* (1992) ได้ทำการศึกษาความผันแปรของความชื้นในดินภายใต้สวนป่ายูคาลิปตัส สนทะเล และกระถินยักษ์ในประเทศอินเดียเปรียบเทียบกับพื้นที่เกษตร พบว่า ในป่าธรรมชาติ ความชื้นในดินถูกใช้จนเกือบหมดสิ้นเมื่อสิ้นฤดูร้อน โดยดินในทุกรูปแบบการใช้ที่ดินจะเปียกในช่วงฤดูฝน แต่หลังหมดฤดูฝนแล้ว ความชื้นในดินของป่าธรรมชาติลดลง 3-5 มิลลิเมตร โดยในสวนป่าทั้ง 3 ชนิด มีอัตราการลดลงของความชื้นในดินคล้ายคลึงกันแต่แตกต่างจากพื้นที่เกษตรซึ่งมีอัตราการลดลงต่ำกว่ามาก

วารินทร์ และคณะ (2531) ได้ทำการศึกษาความชื้นในดินใต้สวนยูคาลิปตัสและบริเวณว่างเปล่า บริเวณบ้านห้วยมะเฟือง จังหวัดระยอง พบว่า ความชื้นในดินภายใต้สวนป่ายูคาลิปตัสอายุ 3 ปี ในช่วงฤดูฝนเปรียบเทียบกับบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่ใกล้เคียงกัน มีความชื้นน้อยกว่าประมาณ 6 เซนติเมตร หรือประมาณร้อยละ30-35 ของบริเวณใกล้เคียง

ทรงธรรม (2530) ได้ทำการศึกษาความชื้นในดินของสวนยูคาลิปตัสอายุ 3 ปี กับบริเวณว่างเปล่าที่อยู่โดยรอบบริเวณบ้านห้วยมะเฟือง พบว่า น้ำที่เกิดจากการตกของฝนแต่ละครั้งจะแทรกซึมลงไปได้ยากบริเวณสวนป่ายูคาลิปตัส เนื่องจากเศษซากของใบยูคาลิปตัสที่ล่วงลงสู่ดินและระบบรากที่หนาแน่นของยูคาลิปตัส ทำให้หน้าดินพรุนและระบายน้ำได้ดี ก่อให้เกิดการชะล้างอนุภาคดินเหนียวลงมาสะสมบริเวณส่วนล่างของชั้นดินที่เป็นที่อยู่ของราก น้ำจึงอยู่ในดินเหนือชั้นนี้ ยูคาลิปตัสนำไปใช้ในการเจริญเติบโตจนหมด การสูญเสียน้ำในลักษณะนี้มีมากในช่วงต้นฤดูฝน แต่หลังจากที่ดินมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวลดลง

นิพนธ์ และ ทรงธรรม (2537) ได้ทำการศึกษาความชื้นในดินของสวนสัก สวนซ้อ ป่าธรรมชาติ และไร่ร้าง บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี พบว่า ความชื้นในดินในสวนสักและสวนซ้อต่ำกว่าในไร่ร้างและป่าธรรมชาติในช่วงฤดูฝน ส่วนในฤดูแล้ง สวนสักมีความชื้นต่ำกว่าสวนซ้อและไร่ร้างแต่ใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติ และอัตราการลดลงของความชื้นในดินเมื่อหมดฤดูฝนในสวนสักใกล้เคียงกับสวนซ้อ โดยอัตราการลดลงสูงที่สุดเป็นป่าธรรมชาติ แต่เมื่อพิจารณาการสูญเสียน้ำจากกระบวนการน้ำพืชยึด (interception) และกระบวนการคายระเหยน้ำ (evapotranspiration) แล้ว พบว่า สวนสักมีการสูญเสียน้ำมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกษม และ สามัคคี (2522) ได้ทำการศึกษาความชื้นในดินในป่าดิบแล้งที่ถูกแผ้วถางบริเวณสถานีสะแกราช พบว่า ปริมาณน้ำในดินตลอดปีของป่าดิบแล้งที่สะแกราช มีปริมาณ 29.92 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าพื้นที่โล่งซึ่งมีปริมาณน้ำในดินตลอดปีเท่ากับ 29.48 เซนติเมตร ปกติแล้วความชื้นในดินหรือปริมาณน้ำในดินในพื้นที่โล่งบริเวณผิวดินมีน้อยและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อความลึกของดินเพิ่มขึ้น แต่ในพื้นที่ป่าไม้หรือสวนป่าความชื้นในดินมีมากที่บริเวณผิวดิน และลดลงเมื่อความลึกของดินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ป่ามีการทับถมของซากพืช มีผลทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุมีมากบริเวณใกล้ผิวดิน และลดลงเมื่อความลึกของดินมากขึ้น

อมลรัตน์ (2544) ได้ทำการศึกษาความผันแปรของความชื้นในดินของป่าเบญจพรรณที่สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ในบริเวณที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลตามความลาดชัน 4 ระดับคือ ส่วนล่าง ส่วนกลางตอนล่าง ส่วนกลางตอนบน และส่วนบนความลาดชัน ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0-15, 15-30, 30-60, 60-90, และ 90-120 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณความชื้นในดินเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ในช่วงฤดูฝนปริมาณความชื้นดินมีค่าอยู่ระหว่าง 20-40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และในช่วงฤดูแล้งมีค่าน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร การลดลงของความชื้นดินมีการลดลงอย่างช้า ๆ ช่วงปลายฤดูฝน และมีค่าคงที่ในฤดูแล้ง ความชื้นในดินเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อฝนตกลงมา บริเวณที่มีความผันแปรของความชื้นในดินมากที่สุด คือที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นอกจากนี้ ยังพบว่าปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดความชื้นในดินบริเวณพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณฝน และปริมาณอนุภาคดินเหนียว

2. การสำรวจระยะไกล (remote sensing)

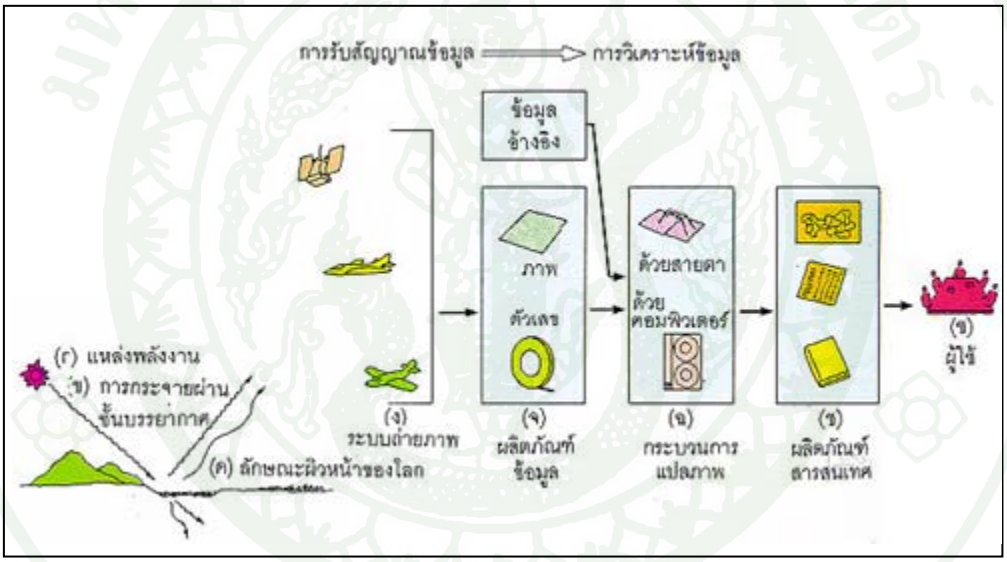
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2540) รายงานไว้ว่าการสำรวจข้อมูลระยะไกล เป็นวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงหนึ่งที่ใช้ในการบ่งบอกจำแนก หรือวิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุต่าง ๆ โดยปราศจากการสัมผัสโดยตรง โดยต้นกำเนิดของข้อมูลการสำรวจระยะไกลส่วนใหญ่เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์ที่สะท้อนหรือแผ่ออกจากวัตถุ อย่างไรก็ตามอาจใช้ตัวกลางอื่นเป็นต้นกำเนิดข้อมูลได้ เช่น เสียง ความโน้มถ่วง หรือสนามแม่เหล็ก เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กระบวนการสำรวจจากระยะไกล แสดงได้ดังภาพที่ 4 ประกอบด้วย

1) การรับและการบันทึกสัญญาณข้อมูล (data acquisition) เป็นกระบวนการบันทึกพลังงานที่สะท้อนหรือส่งผ่านของวัตถุโดยเครื่องมือข้อมูลบนยานสำรวจ (platform) หรือส่งข้อมูลเหล่านั้นไปยังสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน เพื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตเป็นข้อมูลทั้งในรูปแบบภาพถ่ายและข้อมูลเชิงตัวเลข

2) การวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis) ประกอบด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสายตา (visual interpretation) และด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (digital analysis)



ภาพที่ 4 กระบวนการสำรวจจากระยะไกล

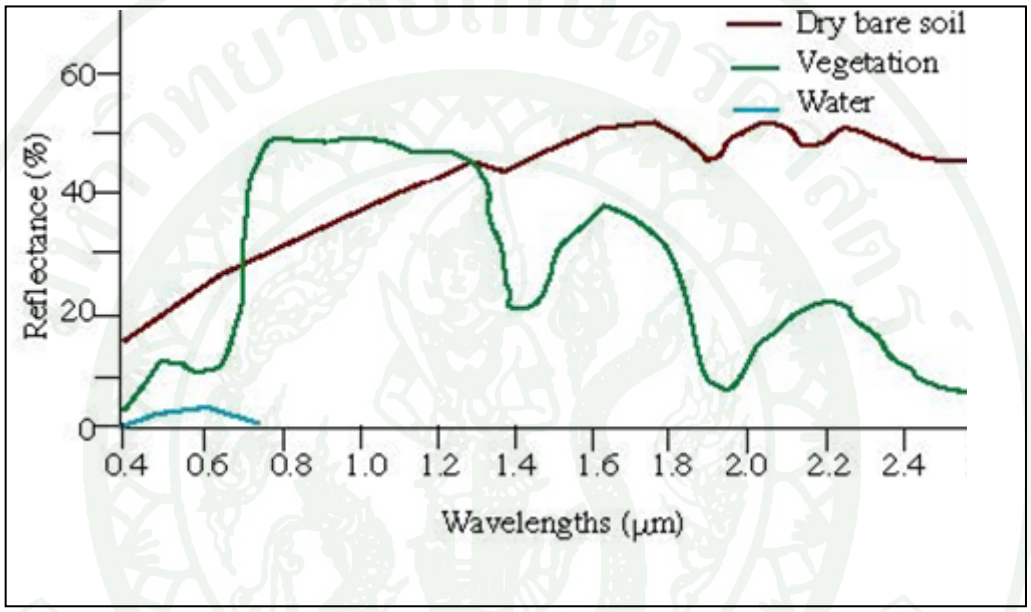
ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2540)

องค์ประกอบที่สำคัญของการสำรวจจากระยะไกลทั้งทางธรรมชาติและมนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น คือ คลื่นแสงที่เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่เสมือนสื่อกลางส่งผ่านระหว่างวัตถุเป้าหมายและอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบบันทึกที่ใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าทางธรรมชาติ เช่น พลังงานจากดวงอาทิตย์ เรียกว่า ระบบพาสซีฟ (passive remote sensing) ส่วนระบบที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นและส่งไปยังวัตถุเป้าหมาย เรียกว่า ระบบแอคทีฟ (active remote sensing) เช่น ระบบเรดาร์ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การสะท้อนพลังงานของพืชพรรณ ดิน และน้ำ

การสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ ดินและน้ำ (spectral reflectance of vegetation, soil and water) ดังแสดงในภาพที่ 5 จากภาพ Lillesand and Kiefer (1994) ได้กล่าวถึง ค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงดังนี้



ภาพที่ 5 การสะท้อนช่วงคลื่นแสงของพืชพรรณ ดิน และน้ำ

ที่มา: Lillesand and Kiefer (1994)

3.1 การสะท้อนพลังงานของพืช

ช่วงคลื่นเห็นได้ด้วยตาเปล่า คลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานที่ช่วงความยาวคลื่น 0.45 ไมโครเมตร และ 0.65 ไมโครเมตร สะท้อนพลังงานที่ช่วงความยาวคลื่น 0.5 ไมโครเมตร ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นในพืชสีเขียวเพราะใบพืชดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและสีแดง และสะท้อนสีเขียว หากว่าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น แห้งเหี่ยว หรือปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีเขียวลดลงปรากฏเป็นสีอื่นแทนใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ 0.7-1.3 ไมโครเมตร ใบพืชสะท้อนพลังงานสูงประมาณร้อยละ 50 การสะท้อนพลังงานของพืชที่ความยาวคลื่นในช่วง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อินฟราเรดใกล้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของใบพืชที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ทำให้สามารถจำแนกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชในช่วงคลื่นเห็นได้ด้วยตาเปล่าใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันการสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบแตกต่างกันจากการสะท้อนที่ความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์ ดังนั้นการสำรวจจากระยะไกลที่สามารถบันทึกค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้สามารถใช้สำรวจอาการผิดปกติของพืชได้ในช่วงคลื่นที่มีขนาดสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร พลังงานส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อนโดยใบพืชแทบจะไม่มีการทะลุทะลวง มักพบค่าต่ำลงที่ 1.4, 1.9 และ 2.7 ไมโครเมตร เพราะว่าน้ำในใบพืชจะดูดกลืนความยาวดังกล่าวเรียกว่า water absorption band และค่าสูงขึ้นที่ความยาวคลื่น 1.6 และ 2.2 ไมโครเมตร ตลอดช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร ค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชแปรผกผันกับปริมาณน้ำทั้งหมดในใบพืช

3.2 การสะท้อนพลังงานของดิน

Keith (1995) กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสะท้อนแสงของดินประกอบด้วย

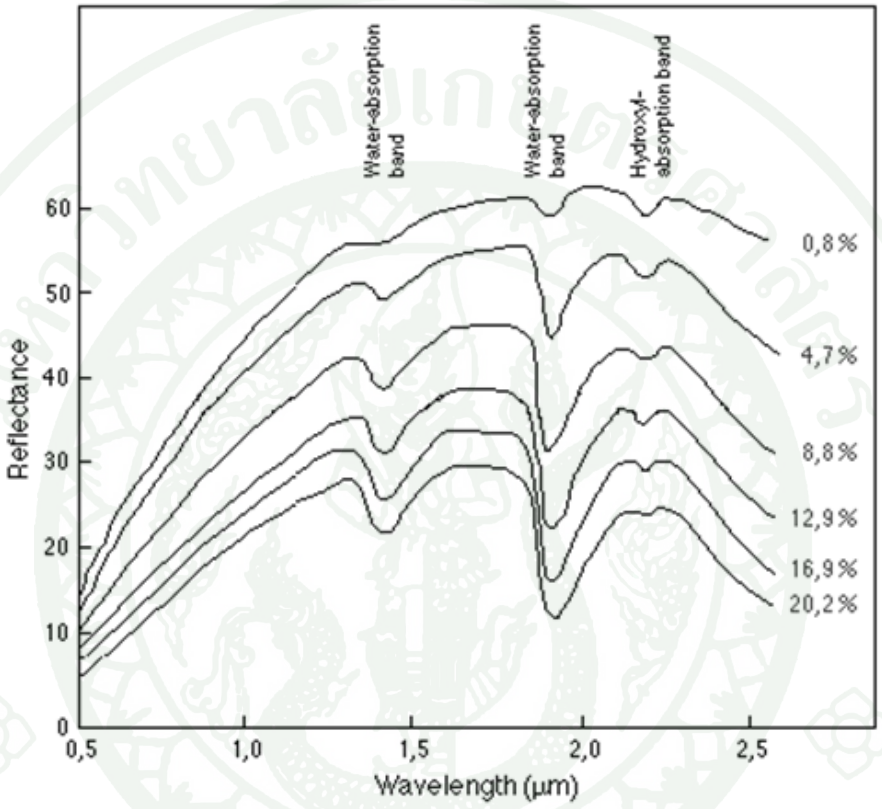
3.2.1 องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) องค์ประกอบทางเคมีภายในดินมีผลต่อสีของดิน สารเคมีแต่ละชนิดดูดซับแสงแต่ละช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน โดยส่วนมากจะสะท้อนแสงมากในช่วงคลื่นสีแดง อันเนื่องมาจากธาตุเหล็กในดิน และดูดซับมากในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน

3.2.2 องค์ประกอบของซากพืชซากสัตว์ (humus content) ซากพืชซากสัตว์โดยส่วนมากจะดูดซับแสงในทุก ๆ ช่วงคลื่นที่มองเห็น และจะดูดซับแสงมากในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน และสีเขียวปริมาณของซากพืชซากสัตว์ในดินที่แตกต่างกันจะมีผลกระทบต่อการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันไปด้วย

3.2.3 ความชื้นของผิวดิน (soil surface) น้ำดูดซับแสงในทุก ๆ ช่วงคลื่น และดูดซับแสงมากในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ โดยมากผลกระทบต่อการสะท้อนแสงของความชื้นในดิน มีผลต่อเฉพาะความชื้นที่อยู่ในดินชั้นบน (top soil) เท่านั้น ถ้าหากความชื้นน้อยจะสะท้อนแสงมาก และหากความชื้นมากก็จะสะท้อนน้อยและสามารถแสดงภาพการสะท้อนแสงของวัตถุที่แปรผันตามความชื้นของดินได้ดังภาพที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2.4 ความขรุขระของดิน (surface roughness) จากความขรุขระของดินรวมกันมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ทำให้เกิดเงาขึ้น จึงมีผลต่อการสะท้อนของแสง ขนาดของก้อนดินและความหยาบละเอียดของดินที่แตกต่างกันก็มีผลกระทบต่อการสะท้อนแสงด้วย



ภาพที่ 6 ค่าการสะท้อนของวัตถุที่แปรผันตามความชื้นในดิน

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก ศุทธินี (2549)

3.3 การสะท้อนพลังงานของน้ำ

การสะท้อนพลังงานของน้ำมีลักษณะที่แตกต่างจากวัตถุอื่นอย่างชัดเจนโดยเฉพาะในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ สามารถเขียนเส้นขอบเขตของน้ำได้ง่ายดาย น้ำที่ปรากฏบนผิวโลกมีหลายสภาพด้วยกัน เช่น น้ำขุ่น น้ำใส น้ำมีวัชพืชปะปน มีค่าแตกต่างกัน บางครั้งบริเวณที่รองรับน้ำอาจจะมีผลต่อการสะท้อนพลังงานของน้ำ น้ำใสดูดพลังงานเล็กน้อยที่ช่วงคลื่นต่ำกว่า 0.6 ไมโครเมตร การส่งผ่านพลังงานเกิดขึ้นสูงในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน เขียว แต่น้ำที่มีตะกอนหรือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิ่งเจือปนการสะท้อนและการส่งผ่านพลังงานเปลี่ยนไป เช่น น้ำตะกอนดินแขวนลอย สะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นเห็นได้ด้วยตาเปล่ามากกว่าน้ำใส ถ้ามีสารคลอโรฟิลล์ในน้ำมากขึ้น การสะท้อนช่วงคลื่นสีน้ำเงินลดลง และเพิ่มขึ้นในช่วงคลื่นสีเขียว

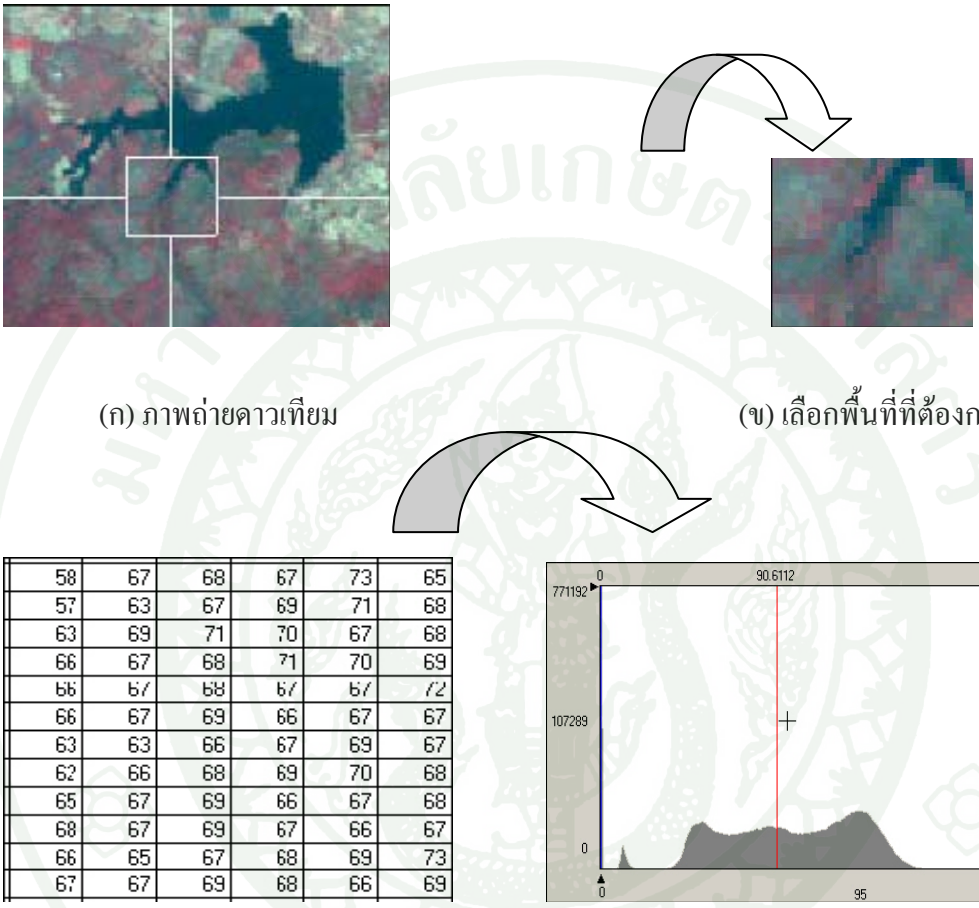
4. ภาพถ่ายจากดาวเทียม (satellite imageries)

ดาราศรี (2533) การใช้ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร และสภาพแวดล้อมของโลก เป็นการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีการถ่ายภาพและโทรคมนาคม ซึ่งเอื้ออำนวยให้การเก็บและบันทึกค่าการสะท้อนแสง ณ ศูนย์ปฏิบัติการรับสัญญาณภาคพื้นดินเป็นไปในลักษณะใกล้เวลาจริงที่ดาวเทียมถ่ายภาพ ข้อมูลเหล่านี้นอกจากจะได้มาอย่างรวดเร็วและยังครอบคลุมบริเวณกว้างไกล ทำให้การศึกษาวิเคราะห์เป็นไปได้อย่างรวดเร็วและกว้างขวาง การโคจรย้อนกลับมาถ่ายภาพของบริเวณเดิมด้วยระยะเวลาที่สม่ำเสมอทำให้สามารถเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงต่างช่วงเวลา เพื่อติดตามดูการเปลี่ยนแปลง ตลอดจนคาดทำนายเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างดี และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในลักษณะรูปถ่าย ในการผลิตข้อมูลรูปถ่ายค่าการสะท้อนแสงตัวเลขถูกเปลี่ยนเป็นระดับสีเทาแล้วบันทึกลงบนฟิล์มต้นฉบับ เพื่อนำไปอัดขยายในห้องแล็บให้อยู่ในลักษณะตามความต้องการของผู้ใช้ต่อไป รูปถ่ายของแต่ละช่วงคลื่นของการถ่ายภาพจึงอยู่ในลักษณะภาพขาวดำ โดยมีระดับสีเทาเป็นตัวชี้บ่งถึงการสะท้อนแสงจากสีขาว ซึ่งแสดงค่าการสะท้อนสูงที่สุด คือ 100 เปอร์เซ็นต์ จนถึงสีดำ ซึ่งมีค่าการสะท้อน 0 เปอร์เซ็นต์ (นั้นคือ เกิดการดูดกลืน 100 เปอร์เซ็นต์) ที่ช่วงคลื่นนั้น ๆ การทำภาพสีเป็นการเน้นภาพประเภทหนึ่ง สามารถทำได้โดยการให้สีแต่ละช่วงคลื่นเลียนระบบแสงธรรมชาติ แล้วนำภาพที่ให้แสงสีแล้วนี้มารวมกันอย่างน้อย 3 ภาพ จะเกิดเป็นภาพสีผสมขึ้น

ข้อมูลภาพเชิงตัวเลข ข้อมูลดาวเทียมเป็นข้อมูลภาพเชิงตัวเลข (digital image data) ค่าการสะท้อนแสงผิวโลกที่ได้จากการถ่ายภาพจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรต่าง ๆ มิใช่ภาพโดยตรง หากแต่เป็นสัญญาณภาพหรือข้อมูลภาพ (image data) (กันยา, 2533) ซึ่งแต่ละจุดภาพ (pixel) บันทึกค่าเป็นค่าระดับสีเทา (gray level) มีระดับมากน้อยตามจำนวนของบิต (bits) ซึ่งบิตแต่ละบิตมีเลขฐาน 2 อยู่ (มีเพียง 2 ค่า คือ 1 เท่ากับ เปิด หรือ 0 เท่ากับ ปิด) โดยการนำบิตมาเรียงต่อกันเป็นกลุ่มก็สามารถนำเสนอค่าระดับสีเทาได้มากขึ้นตามความต้องการ ภายใต้ข้อจำกัดจำนวนบิตของเครื่องคอมพิวเตอร์ ถ้ามี k บิตต่อ pixel ค่าระดับสีเทาทั้งหมดจะเท่ากับ 2k ระดับ โดยอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 2k - 1 เช่น ถ้า k เท่ากับ 8 บิตต่อ pixel ค่าระดับสีเทาทั้งหมดเท่ากับ 256 ระดับ โดยอยู่ในช่วงตั้งแต่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

0 ถึง 255 ข้อมูลภาพเชิงตัวเลขของข้อมูลภาพดาวเทียมสามารถนำไปวิเคราะห์และประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไปได้ (Schowengerdt, 1983) ดังภาพที่ 7



(ก) ภาพถ่ายดาวเทียม (ข) เลือกพื้นที่ที่ต้องการ

(ค) ค่าการสะท้อนแสง (digital number; DN) (ง) ค่าการกระจายข้อมูล (histogram)

ภาพที่ 7 ข้อมูลภาพเชิงตัวเลขของข้อมูลภาพดาวเทียม

ที่มา: Schowengerdt (1983)

5. ดาวเทียม LANDSAT

องค์กรการบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Aeronautic and Administration; NASA) ได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกดวงแรก คือ ERTS-1 (earth resource

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

technology satellites) ขึ้นโคจรรอบโลกเป็นผลสำเร็จ เมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม 2515 (ต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น LANDSAT-1) และภายใต้โครงการ LANDSAT ได้มีการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรอย่างต่อเนื่องตามลำดับ สำหรับข้อมูลจากดาวเทียมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยส่วนใหญ่แล้วเป็นข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม LANDSAT ซึ่งปัจจุบันนี้โครงการดาวเทียม LANDSAT ได้ส่งดาวเทียมขึ้นโคจรรอบโลกแล้ว 7 ดวง ดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง LANDSAT-3 มีรูปร่างลักษณะและโครงสร้างเหมือนกันโดยมีการดัดแปลงและพัฒนามาจากดาวเทียม NIMBUS ซึ่งเป็นดาวเทียมสมุทรศาสตร์และอุตุนิยมวิทยา โดยดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง LANDSAT-3 มีระบบการบันทึกข้อมูลเหมือนกันคือ ระบบ return beam vidicon (RBV) และ multispectral scanner (MSS) แต่ดาวเทียม LANDSAT-3 แตกต่างจาก 2 ดวงแรกเล็กน้อยในด้านของจำนวนกล้องในระบบ RBV และจำนวนแบนด์ในระบบ MSS ดาวเทียมดังกล่าวทั้งสามดวงเลิกปฏิบัติการแล้ว สำหรับกำหนดการส่งดาวเทียม LANDSAT ขึ้นสู่วงโคจรดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การส่งดาวเทียมชุด LANDSAT ขึ้นสู่วงโคจร และระบบบันทึกข้อมูลที่ติดตั้ง

ดาวเทียม	วันส่งขึ้นโคจร	วันหมดอายุ	ระบบบันทึกข้อมูล
LANDSAT-1	23 กรกฎาคม 2515	6 มกราคม 2521	RBV และ MSS
LANDSAT-2	22 มกราคม 2518	25 กุมภาพันธ์ 2525	RBV และ MSS
LANDSAT-3	5 มีนาคม 2521	31 มีนาคม 2526	RBV และ MSS
LANDSAT-4	16 กรกฎาคม 2525	หยุดการบันทึกข้อมูล	MSS และ TM
LANDSAT-5	1 มีนาคม 2527	ยังปฏิบัติการอยู่	MSS และ TM
LANDSAT-6	5 ตุลาคม 2536	ขึ้นสู่วงโคจรไม่สำเร็จ	ETM
LANDSAT-7	15 เมษายน 2542	ปฏิบัติการ	ETM+

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2546)

ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีรูปร่างและโครงสร้างต่างไปจาก 3 ดวงแรก มีระบบการบันทึกข้อมูลที่สำคัญคือระบบ multispectral scanner (MSS) และ thematic mapper (TM) ซึ่งพัฒนาให้มีความละเอียดเชิงบริเวณ (spatial resolution) มากขึ้น ซึ่งปัจจุบันนี้ดาวเทียม LANDSAT-4 ได้หยุดการบันทึกข้อมูลแล้วแต่ยังโคจรรอบโลกอยู่ ส่วนดาวเทียม LANDSAT-6 และ 7 มีลักษณะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รูปร่างและโครงสร้างที่ต่างจาก LANDSAT-4 และ 5 โดยดาวเทียม LANDSAT-6 มีการพัฒนาระบบบันทึกข้อมูล คือ ระบบ ETM (enhance thematic mapper) แต่เนื่องจากไม่ประสบผลสำเร็จในการส่งขึ้นโคจรรอบโลกทางสหรัฐอเมริกาจึงดำเนินโครงการดาวเทียม LANDSAT-7 ที่มีระบบบันทึกข้อมูลที่มีการพัฒนาดีขึ้นคือ ระบบ ETM+ (enhanced thematic mapper plus) ขึ้นปฏิบัติการแทน เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานต่อเนื่องจากดาวเทียม LANDSAT-5 ซึ่งคาดว่าจะปฏิบัติงานต่อไปได้อีกไม่นาน เพราะมีอายุการใช้งานเกือบ 20 ปีแล้ว

5.1 อุปกรณ์การบันทึกภาพ

เครื่องบันทึกภาพของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มี 2 ระบบ คือ 1) ระบบเครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (multispectral scanner; MSS) และ 2) ระบบธีแมติคแมบเปอร์ หรือ ระบบทำแผนที่เฉพาะกิจ (thematic mapper; TM)

ระบบบันทึกข้อมูลทั้งสองระบบใช้การแกว่งของกระจกรับแสงสะท้อนจากพื้นผิวโลกในแนวระดับตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียม

1) ระบบเครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (multispectral scanner; MSS)

ระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีคุณสมบัติและการทำงานด้านต่างๆ เหมือนกับดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3 แต่จากการที่ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีวิถีโคจรต่ำกว่า จึงจำเป็นต้องปรับระบบบางอย่างให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ความละเอียดของภาพ หรือ instantaneous field of view (IFOV) คือ 80 x 80 เมตร และภาพหนึ่งให้ครอบคลุมบริเวณ 185 x 185 ตารางกิโลเมตรเท่าเดิม นอกจากนี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงระบบการเรียงตัวเลขของแบนด์ต่าง ๆ ใหม่ โดยช่วงคลื่นในแบนด์ 4, 5, 6 และ 7 ของดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3 จะเปลี่ยนเป็นแบนด์ 1, 2, 3 และ 4 ใน LANDSAT 4 และ 5 แต่ความยาวของช่วงคลื่นและคุณสมบัติต่าง ๆ ยังคงเหมือนเดิม

2) ระบบธีแมติคแมบเปอร์ (thematic mapper; TM)

เป็นระบบ MSS ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อบันทึกรายระเอียดให้ดียิ่งขึ้น คือ มีจำนวนแบนด์มากกว่าและมีความกว้างของช่วงคลื่น (band width) แคบกว่าระบบ MSS นอกจากนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยังมีความละเอียดของภาพถึง 30 เมตร (ยกเว้นแบนด์ 6 ที่มีความละเอียด 120 เมตร) และให้ความถูกต้องทางเรขาคณิตสูงกว่าระบบ MSS ซึ่งสามารถทำให้ศึกษาหรือจำแนกสิ่งต่าง ๆ ได้ง่ายและละเอียดขึ้น โดยระบบ TM ประกอบด้วย 7 แบนด์ และมีการนำไ ปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่บันทึกในแต่ละช่วงคลื่นของระบบ TM และ ETM+ ในดาวเทียม LANDSAT-4, 5 และ 7

แบนด์	ช่วงคลื่น	ความละเอียด	การประยุกต์ใช้
1	0.45-0.52 μm (blue-green)	30 m.	สามารถทะลุน้ำได้โดยเฉพาะบริเวณที่ขุ่นน้อย เป็นประโยชน์ในการทำแผนที่บริเวณชายฝั่ง แสดงความแตกต่างระหว่างดินและพืชพรรณ ความแตกต่างระหว่างป่าผลัดใบและป่าไม่ผลัดใบ เช่น ป่าสน (การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์) มีไวต่อการมีหรือไม่มีคลอโรฟิลล์ และแสดงดินประเภทต่างๆ
2	0.52-0.60 μm (green)	30 m.	ให้รายละเอียดค่าการสะท้อนสีเขียวเป็นประโยชน์ในการหาอัตราการเจริญเติบโตของพืช (แสดงการสะท้อนพลังงานสีเขียวของพืชที่เจริญเติบโตแล้ว) การประเมินความแข็งแรงของพืช (สูงที่สุด ที่ 0.55 ไมโครมิเตอร์) ประเมินการตกตะกอน และสามารถทะลุน้ำที่ค่อนข้างขุ่นได้
3	0.63-0.69 μm (red)	30 m.	ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณชนิดต่าง ๆ (ช่วยในการแยกชนิดของพืชพรรณ)
4	0.76-0.90 μm (near IR)	30 m.	ตรวจวัดปริมาณมวลชีวะ (biomass) แสดงความหนาแน่นของพืชพรรณ และศึกษาความเครียดของพืชพรรณ (เช่น ขาดน้ำ, แมลงทำลาย) รวมทั้งดูความแตกต่างของส่วนที่เป็นน้ำและไม่ใช่น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

แบนด์	ช่วงคลื่น	ความละเอียด	การประยุกต์ใช้
5	1.55-1.75 μm (short wave IR)	30 m.	ให้รายละ เอียดปริมาณความชื้นของพืชพรรณ และความชื้นของดิน พืชที่มีความเครียด (stress) และแร่ธาตุ ตลอดจนเป็นประโยชน์ในการแยกความแตกต่างระหว่างหิมะกับเมฆ
6	10.4- 12.5μm (thermal IR)	120 m. (60 m เฉพาะ LANDSAT 7)	ใช้หาอุณหภูมิของพื้นผิว จำแนกแหล่งชุมชน จำแนกบริเวณที่ถูกเผาไหม้จากแหล่งน้ำและการหาแหล่งความร้อน ใช้ตรวจการเหี่ยวเ ฉา อันเนื่องจากความร้อนในพืช แสดงความแตกต่างของความชื้นของดิน
7	2.08-2.35μm (short wave IR)	30 m.	มีศักยภาพในการจำแนกชนิดของหินในการหาแหล่งแร่ธาตุ จำแนกชนิดของดินและจำแนกบริเวณหรือแหล่งน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ (hydrothermally altered zones)
8 (LANDSAT 7)	0.52-0.90 μm (green - near IR)	15 m.	ความสามารถคล้ายภาพถ่ายทางอากาศ เนื่องจากมีความละเอียดของ บริเวณ มาก โดยเฉพาะข้อมูลเชิงเส้น ทำให้สามารถนำไปศึกษาด้านการทำแผนที่ได้

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก ชรัตน์ (2549)

ปัจจุบันมีแต่ดาวเทียม LANDSAT-5 และ 7 เท่านั้นที่โคจรปฏิบัติการอยู่ สำหรับดาวเทียม LANDSAT-4 ได้หยุดการบันทึกข้อมูลแต่ยังโคจรอยู่ ส่วนดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 หยุดปฏิบัติการไปแล้ว แต่ข้อมูลจากดาวเทียมที่หยุดปฏิบัติการเหล่านี้ยังนำมาใช้ประโยชน์อยู่ปัจจุบัน โดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากระบบ MSS ของดา วเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ในอดีตที่ผ่านมา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณค่าอัตราส่วนระหว่างช่วงคลื่นของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (indices) สำหรับค่าดัชนีต่าง ๆ ของข้อมูลการสำรวจระยะไกลที่นักวิทยาศาสตร์ใช้เป็นเครื่องมือในการค้นหาข้อมูลที่ต้องการ ดังเช่น พืชพรรณ โดย Jenson (2000) ได้พัฒนาและเรียกค่าดัชนีนี้ว่า “ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ” (normalized difference vegetation index; NDVI) โดยค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเป็นค่าดัชนีที่ใช้หาความสัมพันธ์ของพืชพรรณที่ปกคลุมบนพื้นผิวโลก และยังใช้ค่าดัชนีนี้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่ามวลชีภาพ

ค่าดัชนีที่ใช้ไม่เพียงแต่พืชพรรณเท่านั้นที่สามารถหาความสัมพันธ์ได้จากข้อมูลการสำรวจระยะไกลยังมีค่าดัชนีอื่นอีกเช่น ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (enhanced vegetation index; EVI) ได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสัญญาณพืชที่มีความไวเพิ่มขึ้นในมวลชีวภาพสูงและผ่านการตรวจสอบปรับปรุงพืชให้มีความสัมพันธ์กันของสัญญาณพื้นหลังท้องฟ้าและมีผลต่อบรรยากาศลดลง

ค่าดัชนีผลต่างความชื้น (normalized difference water index; NDWI) ได้จากดัชนี near-infrared (NIR) และ short wave infrared (SWIR) ที่สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงทั้งในโครงสร้างน้ำของพืชและโครงสร้าง mesophyll ใน canopies พืชร่วมกัน NIR กับ SWIR ช่วยลดรูปแบบที่ซักชวนโดยใบโครงสร้างภายในและปรับปรุงความถูกต้องในการเรียกข้อมูลโครงสร้างน้ำของพืช

อุณหภูมิพื้นผิว (land surface temperature; LST) หมายถึง ความร้อนที่สะท้อนจากผิวพื้นของสภาพภูมิประเทศ รวมทั้งส่วนยอดของทรงพุ่มของพืชพรรณที่ปกคลุมดินและบริเวณที่ไม่มีพืชปกคลุมดิน อุณหภูมิพื้นผิวจากภาพถ่ายดาวเทียมได้จากค่ารังสีความร้อนที่ตรวจวัดโดยดาวเทียมแสดงรูปแบบของอุณหภูมิ

อุณหภูมิพื้นผิวที่มีพืชพรรณปกคลุมมีความสัมพันธ์ทางอ้อมกับปริมาณความชื้นในดินบริเวณรากพืชแต่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าศักย์การคายระเหย ถ้าในดินมีความชื้นเพียงพอทำให้พืชมีการคายน้ำ มีผลทำให้ค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำ ในทางตรงกันข้ามถ้าหากในดินไม่มีปริมาณความชื้นทำให้พืชขาดแคลนน้ำ พืชเหี่ยวเฉาหรือคายน้ำได้น้อยทำให้อุณหภูมิบริเวณดังกล่าวสูง ซึ่งสามารถตีความได้ว่าบริเวณดังกล่าวมีโอกาสเกิดภัยแล้ง ค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS/Terra ได้จากค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดร้อน (thermal infrared bands) แบนด์ 20, 22, 23, 29, 31 และ 32

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Donald (2000) ได้ศึกษาถึงขีดความสามารถและข้อจำกัดของข้อมูลดาวเทียม ERS-2ในช่วงคลื่นเรดาร์ C-band ในการตรวจสอบความชื้นในดินในบริเวณข้าวนาปี ทางตะวันตกของจังหวัดสุโขทัย ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินและค่าการสะท้อนแสงแบบกระจัดกระจายกลับหมด (backscattering) และศึกษาข้อจำกัดของการศึกษาสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดิน-ช่วงคลื่นเรดาร์การกระเจิงของพลังงานย้อนกลับโดยพิจารณาปัจจัยทางด้านพืชพรรณ มวลชีวภาพและพื้นผิวที่ขรุขระ ใช้การวัดความชื้นในดินและสำรวจพืชพรรณ ในภาคสนามประกอบกับภาพถ่ายจากดาวเทียม ผลการศึกษาปรากฏว่า ดาวเทียม ERS-2 ช่วงคลื่น C-band สามารถใช้ในการติดตามตรวจสอบความชื้นในดินในระดับ 5 เซนติเมตรในนาข้าวได้ในระดับที่น่าเชื่อถือ สมการความชื้นในดินที่ประเมินได้จากดาวเทียม ERS -2 คือ $SM = 5S_o + 63.75$ ($R^2 = 0.91$) เมื่อ S_o คือ ค่าการสะท้อนแสงแบบกระจัดกระจายย้อนกลับ สมการที่กำหนดขึ้นอยู่ภายใต้เงื่อนไข 2 ประการ คือ

ประการแรกนาข้าวเปิดโล่งจนกระทั่งปกคลุมด้วยข้าวคือ ตั้งแต่ข้าวเริ่มเจริญเติบโตถึงความสูง 38 เซนติเมตร หรือน้ำหนักของมวลชีวภาพเปียก 425 กรัมต่อตารางเมตร และน้ำหนักแห้ง 102 กรัมต่อตารางเมตร

ประการที่สอง เมื่อผิวขรุขระซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธ์ตัวกำหนด (R^2) คือ R^2 มีค่าประมาณ 0.91 สามารถอธิบายสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างพืชพรรณกับค่าการสะท้อนแสงแบบกระจัดกระจายกลับหมดเป็นไปอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ดาราศรี (2533) กล่าวว่า ดินมีค่าอัลบิโด หรือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงอยู่ระหว่างร้อยละ 8-30 ขึ้นอยู่กับความชื้นยิ่งชื้นมากค่าการสะท้อนยิ่งต่ำ เพราะน้ำมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงได้ดี สามารถหาความชื้นของดินได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงคลื่นไมโครเวฟซึ่งมีความสามารถในการทะลุผ่านผิวดินสู่ชั้นดินเบื้องล่างในระดับลึกพอสมควร การศึกษาดังกล่าวต้องอาศัยข้อมูลอื่น ๆ ทางภาคสนามประกอบ เพื่อให้ได้ผลในเชิงปริมาณและมีความถูกต้อง เพราะความชื้นในดินในส่วนผิวหน้าเป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศตลอดจนสิ่งปกคลุมดิน ข้อมูลระดับความชื้นที่นำมาเทียบเคียงกับภาพถ่ายดาวเทียมจึงควรเป็นเวลาเดียวกันกับที่ดาวเทียมถ่ายภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รมณีย์ (2540) ได้ทำการศึกษาการจัดทำแผนที่ความชื้นในดิน ในบริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมากจากพระราชดำริ จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยการประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลการสำรวจจากระยะไกล โดยมีวิธีการศึกษา คือ จัดทำฐานข้อมูลความชื้นของดิน การเก็บตัวอย่างดินและวัดค่าความชื้นในดิน การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินกับค่าการสะท้อนพลังงานของวัตถุจากข้อมูลดาวเทียมและปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยวิธีวิเคราะห์ถดถอย และจัดทำแผนที่ความชื้นในดินโดยใช้โปรแกรม ILWIS (integrated land and watershed management information system) ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ชุดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความสูงจากระดับน้ำทะเล ความลาดชัน ปริมาณน้ำฝน ค่าศักย์การคายระเหย และค่าการสะท้อนพลังงานของวัตถุจากดาวเทียม LANDSAT 5 ระบบ TM ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีต่อปริมาณความชื้นในดิน พบว่า ความสูงจากระดับน้ำทะเล ความลึกของดิน เนื้อดิน ฤดูกาล ปริมาณน้ำฝน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นในดิน จากผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของดินกับปัจจัยดังกล่าว โดยการวิเคราะห์การถดถอยได้ผลดังสมการ

$$Y = 7.0424-0.3244\ (band\ 4) + 0.000693\ (band\ 4)^2 - 0.7058\ (elev) + 0.0082\ (elev)^2 \qquad (3)$$

เมื่อ Y = ความชื้นในดิน (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)

$elev$ = ความสูงจากระดับน้ำทะเล (เมตร)

ความคาดเคลื่อนจากการประมาณค่าความชื้นในดินมีค่าเท่ากับ 1.877 ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลมีอิทธิพลต่อความชื้นมากที่สุดคือ ร้อยละ 79.64

Gao (1996) เสนอดัชนีผลต่างความชื้น (NDWI) เพื่อตรวจวัดความชื้นในพืชพรรณด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลโดยใช้รูปแบบสมการ

$$NDWI = (\rho 0.86 - \rho 1.24) / (\rho 0.86 + \rho 1.24) \qquad (4)$$

โดยที่ NDWI = normalized difference water index

ρ = ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งช่วงคลื่น 0.86 ถึง 1.24 ไมโครเมตร มีผลกระทบจากการกระจัดกระจายเนื่องจากละอองลอยในชั้นบรรยากาศต่ำ ทำ ให้ NDWI ไวต่อละอองลอยในชั้นบรรยากาศน้อยกว่า NDVI ผลลัพธ์พบว่า NDWI ไวต่อการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในเรือนยอดพืช

Lawrence and Ripple (1998) ศึกษาเปรียบเทียบดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices; VIs) หลายดัชนีกับการถดถอยของคลื่นในภูมิประเทศที่มีความแตกต่างและถูกรบกวนสูง เพื่อการทำนายความเปลี่ยนแปลงทางนิเวศวิทยาจากร้อยละการปกคลุมของพืชพรรณและดัชนีบริเวณใบ (leaf area index; LAI) Huete *et al.* (2002) ศึกษาคุณสมบัติทั้งด้านคลื่นและลักษณะทางกายภาพของพืชในดัชนีพืชพรรณ (VIs) สองดัชนี คือ NDVI และ EVI ที่ได้จากดาวเทียม MODIS/Terra (moderate resolution imaging spectroradiometer) ที่ความแยกชัด 500 และ1000 เมตร เปรียบเทียบกับดัชนีที่ได้จากดาวเทียม NOAA-AVHRR (advanced very high resolution radiometer) ที่ความแยกชัด 1000 เมตร พบว่าดัชนีที่ได้จาก MODIS มีความแม่นยำสูงกว่า และพบว่า NDVI มีความอิ่มตัวที่ไม่สิ้นสุด (asymptotically saturate) ในบริเวณที่มีชีวมวลสูง ขณะที่ EVI ไวต่อความแตกต่างของชั้นเรือนยอด

Chen *et al*. (2005) ศึกษาการประเมินปริมาณน้ำในพืช (ข้าวโพดและถั่วเหลือง) โดยใช้ช่วงคลื่น NIR และ SWIR จากดาวเทียม MODIS/Terra โดยใช้ข้อมูลในช่วงคลื่นที่เป็นไปได้ 7 ช่วงคลื่นสำหรับการสร้างดัชนีพืชพรรณ (VIs) จาก MODIS แบนด์ 1 ถึง แบนด์ 7 (ค่าการสะท้อนที่ 0.64, 0.85, 0.47, 0.55, 1.24, 1.64 และ 2.13 ไมโครเมตร ตามลำดับ) และประเมินแต่ละดัชนีโดยคำนวณความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในพืช (vegetation water content; VWC) พบว่าดัชนี NDVI และดัชนี NDWI เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด

Volcani *et al.* (2005) ศึกษาการประเมินความแห้งแล้งโดยการวิเคราะห์สถานะทางกายภาพของพืชที่มีผลมาจากสภาวะแห้งแล้งในบริเวณป่าสนชายขอบทะเลทรายในประเทศอิสราเอลโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI ตรวจวัดสภาวะความเครียดของพืช และประยุกต์การตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูกาลและระหว่างปีในพืชพรรณด้วยเทคนิคผลต่างภาพ (image differencing technique) สำหรับดัชนี NDVI จากการศึกษาพบความสอดคล้องระหว่างกิจกรรมการสังเคราะห์แสงกับพลวัตรของค่า NDVI ตลอดฤดูกาลเจริญเติบโต

Gu *et al.* (2007) ทำการประเมินความแห้งแล้งของทุ่งหญ้าใน Central Great Plains ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลห้าปีของ NDVI และ NDWI ที่ได้จากข้อมูลจาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดาวเทียมระบบ MODISได้ผลลัพธ์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI, NDWI และสภาวะความแห้งแล้ง และได้เสนอดัชนี NDDI (normalized different drought index) ที่พบว่ามีการตอบสนองต่อความแห้งแล้งในฤดูร้อนได้ดีกว่าค่าความแตกต่างทั่วไประหว่าง NDVI กับ NDWI และยังเป็นตัวชี้วัดความแห้งแล้งในทุ่งหญ้าได้ดีกว่าดัชนี NDVI เพียงอย่างเดียว

Cheng *et al.* (2008) ศึกษาการประเมินปริมาณน้ำในพืชโดยใช้ภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นและดัชนีที่ได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียมระบบ MODIS ประกอบด้วยดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) ดัชนีผลต่างความชื้น (NDWI) ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (EVI) และดัชนีผลต่างอินฟราเรด (normalized difference infrared index; NDII) ในบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของรัฐแอริโซนา เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากข้อมูลปริมาณน้ำในใบพืช (leaf area content) และดัชนีบริเวณใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

ณกร (2551) ทำการศึกษาการตรวจวัดความแห้งแล้งในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลดัชนีพืชพรรณ NDVI จากข้อมูลภาพถ่ายหลายช่วงเวลาจากดาวเทียม MODIS/Terra เพื่อหาความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนและการวิเคราะห์ความแห้งแล้งด้วยดัชนี standardized precipitation index (SPI) และดัชนี standardized vegetation index (SVI) ดัชนีเชิงคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับสภาพกายภาพของพืชพรรณ ปริมาณน้ำในพืชและปริมาณน้ำในดินซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงสภาพความแห้งแล้งที่ได้มีการนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความแห้งแล้งในช่วงเวลาที่ผ่านมา

7. ความรู้เกี่ยวกับมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง มีชื่อสามัญว่า cassava โดยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Manihot esculenta Crantz จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกา โดยเฉพาะในอเมริกาใต้ แถบประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา และฮอนดูรัส ต่อมาได้ขยายไปทั่วเขตร้อนของทวีปอเมริกา และได้ขยายไปสู่แหล่งอื่น ๆ ของโลกโดยชาวโปตุเกสและชาวสเปน นำมันสำปะหลังจากประเทศเม็กซิโกมายังประเทศฟิลิปปินส์ประมาณคริสต์ศตวรรษที่17 และชาวฮอนแลนด์นำมายังอินโดนีเซียเมื่อประมาณคริสต์วรรษที่ 18 สำหรับประเทศไทยนั้นไม่มีหลักฐานที่แน่ชัดว่า มีการนำมันสำประหลังเข้ามาเพาะปลูกเมื่อใด แต่คาดว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้าสู่ประเทศไทยจากประเทศมาเลเซียเมื่อราว พ.ศ. 2329 โดยเรียกชื่อต่าง ๆ ในระยะต่อมาว่ามันไม้ มัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำโรง คำว่า “สำปะหลัง” นั้น ภาษามาเลเซียและอินโดนีเซียเรียกว่า ubikayu แปลว่าพืชที่มีรากขยายใหญ่ (ดนัย, 2537)

มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน โดยทั่วไปบริเวณเพาะปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีมากกว่า 1,000 มิลลิเมตร และสามารถปรับตัวได้ดีในเขตที่มีฝนตกอยู่ระหว่าง 1,000-1,300 มิลลิเมตรต่อปี แต่ทั้งนี้ในบริเวณที่ฝนตกชุก ต้องมีการระบายน้ำดีเพราะหากมีน้ำท่วมเพียงวันเดียวอาจทำให้เสียหายได้ (Cock, 1985) มันสำปะหลังเป็นพืชทนแล้งได้ดีหลังจากเพาะปลูกและต้นมันสำปะหลังตั้งตัวได้แล้ว แม้ขาดฝนเป็นระยะเวลานานติดต่อกัน 3-4 เดือน ก็ทนอยู่ได้โดยไม่ตาย มันสำปะหลังจึงเป็นพืชที่สำคัญในเขตที่มีฤดูแล้งยาวนานถึง 6 เดือนต่อปี ทั้งนี้ต้องเป็นบริเวณที่มีฝนตกไม่ต่ำกว่า 600 มิลลิเมตรต่อปี โดยทั่วไปมันสำปะหลังขึ้นได้ดีในดินทุกชนิด ชอบดินร่วนปนทราย มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง มี pH อยู่ระหว่าง 5.5-8.0 เป็นพืชวันสั้น ผลผลิตลดลงถ้าช่วงแสงของวันยาวเกิน 10-12 ชั่วโมง (เจริญศักดิ์, 2532) สำหรับประเทศไทยเพาะปลูกมันสำปะหลังได้ตั้งแต่ใต้สุดจนถึงเหนือสุดของประเทศ แหล่งที่เพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,200-1,500 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนไม่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส บริเวณเพาะปลูกอยู่บริเวณที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 0-200 เมตร (โสภณ, 2526) มันสำปะหลังที่เกษตรกรทำการเพาะเพาะปลูกในบริเวณศึกษาได้แก่ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีลักษณะประจำพันธุ์ คือ มียอดอ่อนสีม่วง ไม่มีขน ใบที่เจริญเต็มที่มีสีเขียวอมม่วง แผ่นใบเป็นแบบใบหอก (lanceolate) ต้นสูงประมาณ 2.0-3.0 เมตร ลำต้นโค้งมีสีเทาเงิน แตกกิ่งน้อย หัวมีขนาดสม่ำเสมอ เปลือกสีน้ำตาล เนื้อสีขาว โดยเกษตรกรเริ่มทำการเพาะเพาะปลูกในเดือนพฤษภาคม มันสำปะหลังเริ่มลงหัวเมื่ออายุประมาณ 3 เดือนเป็นต้นไป โดยหัวเจริญเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ โดยการสะสมแป้งมากขึ้น และหลังจาก 6 เดือนไปแล้วเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันไม่เปลี่ยนแปลงมากนักแต่ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักหัวสดเพิ่มขึ้น เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 8 เดือน เกษตรกรเริ่มทำการเก็บเกี่ยวในเดือนมกราคมเป็นต้นไป จากนั้นเกษตรกรจะทำการพักดินมีการนำปุ๋ยมาใส่ในบริเวณเพาะเพาะปลูกและทำการไถ่พรวนทิ้งไว้รอจนกว่าฝนตกประมาณเดือนเมษายนถึงพฤษภาคมจึงทำการเพาะเพาะปลูกอีกครั้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

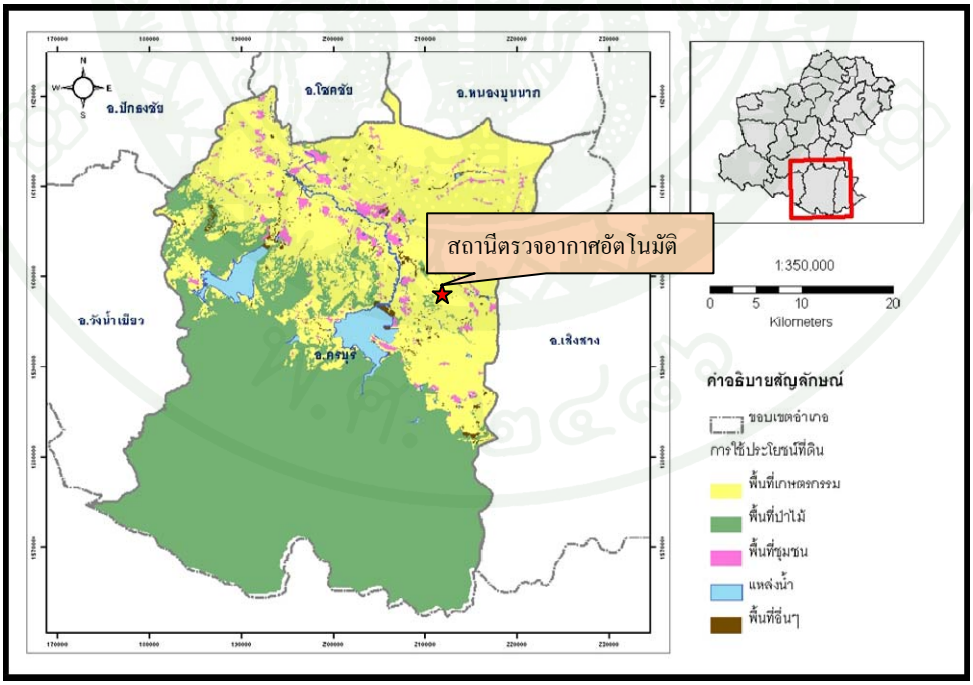
8. สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

8.1 ที่ตั้ง

บริเวณไร่มันสำปะหลังตั้งอยู่ในเขตอำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา (ภาพที่ 8) มีอาณาเขตครอบคลุมพิกัดเชิงพื้นที่ระหว่าง 216494 E ถึง 218484 E และ 1599856 N ถึง 1601894 N แผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด L 7018 มาตราส่วน 1:50,000 หมายเลขระวาง 5437 I, 5437 II, 5437 III, และ 5437 IV มีความสูง 280 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลางลักษณะบริเวณเป็นบริเวณลูกคลื่นลอนลาด ความลาดชันของบริเวณอยู่ระหว่างร้อยละ 2-5

8.2 ลักษณะด้านปฐพีวิทยา

ดินบริเวณบริเวณศึกษาจัดอยู่ในชุดดินโชคชัย (chokchai series; Ck) ซึ่งลักษณะของดินชุดนี้เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ช้า ดินบนเป็นดินเหนียวสี



ภาพที่ 8 ตำแหน่งและที่ตั้งสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เข้มของน้ำตาลปนแดงปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ถึงเป็นกรดเล็กน้อย ดินล่างเป็นดินเหนียวสีแดงเข้ม หรือสีแดง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดหรือกรดปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติปานกลาง ร้อยละการอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ปานกลางในดินบน แต่ในดินล่างมีต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2527)

8.3 ลักษณะภูมิอากาศ

จากข้อมูลลักษณะอากาศของสถานีตรวจอากาศโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา เฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) พบว่ามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 1,095.6 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงที่สุดเฉลี่ยในเดือนเมษายนเท่ากับ 35.7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำที่สุดเฉลี่ยในเดือนมกราคมเท่ากับ 16.9 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 74 เปอร์เซ็นต์ และมีการระเหยน้ำเฉลี่ยรายปี 1,792.8 มิลลิเมตร (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2546)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกร์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ชุด L 7018 ระบบ UTM ระวางที่ 5437I ครอบคลุมบริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

2. สถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ (automatic weather station; AWS) ประกอบด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ (ภาพที่ 9 และ ภาพที่ 10) ดังนี้

ภาพที่ 9 สถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ (automatic weather station; AWS)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ก) เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ (thermistor, hygrometer)

(ข) เครื่องมือวัดความเร็วลม (three cup anemometer)

(ค) เครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์ (radiometer)

(ง) เครื่องมือวัดปริมาณฝน (standard rain gage)

ภาพที่ 10 เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ ของสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ

3. ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ จากดาวเทียม LANDSAT 5 TM ความละเอียด 30x30 เมตร

4. แผนที่ธรณีวิทยา (geological map) มาตราส่วน 1 : 250,000 จากกรมทรัพยากรธรณี และแผนที่ดิน (soil map) มาตราส่วน 1 : 50,000 จากกรมพัฒนาที่ดิน

5. คอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์ (soft ware) ประกอบด้วย ซอฟต์แวร์ทางด้านการสำรวจจากระยะไกลได้แก่ Erdas imagine สำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลในรูปแบบข้อมูลราสเตอร์ ซอฟต์แวร์ทางด้านการผลิตแผนที่ ได้แก่ ArcGIS โปรแกรมการประมวลผลทางสถิติ Minitab 16

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. เครื่องกำหนดตำแหน่งพิกัดด้วยดาวเทียม (global positioning system; GPS) ชนิดพกพา และเข็มทิศ

7. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน ประกอบด้วย กระบอกเก็บดิน เครื่องวัดความชื้นในดิน แบบ FDR (frequency domain reflectometry) ตู้อบตัวอย่างดิน และเครื่องชั่งน้ำหนัก (ภาพที่ 11)

(ก) กระบอกเก็บดิน (soil core)

(ข) เครื่องวัดความชื้นในดิน แบบ FDR (frequency domain reflectometry)

(ค) ตู้อบตัวอย่างดิน

(ง) เครื่องชั่งน้ำหนัก

ภาพที่ 11 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. การเลือกบริเวณ

การศึกษาครั้งนี้เลือกบริเวณบริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา เดิมเป็นบริเวณติดตั้งสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติภายใต้โครงการวิจัย GEWEX Asian Monsoon Experiment Tropics (GAME-T) และ Coordinated Enhanced Observational Period (CEOP) ซึ่งโครงการนี้ได้เสร็จสิ้นไปเมื่อปี พ.ศ. 2552 จึงได้ขอความอนุเคราะห์ขอใช้สถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติต่อตั้งแต่ ปี 2552 – 2553 โดยเกษตรกรได้ทำการเพาะปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2552 มีระยะเพาะปลูกเท่ากับ 120 x 60 เซนติเมตร ใช้วิธีการเพาะปลูกแบบปักตรง ด้วยท่อนพันธุ์ที่มีความยาวประมาณ 25 เซนติเมตร ที่ระดับความลึก 10 - 15 เซนติเมตร เมื่อโตเต็มที่มีความสูงประมาณ 2 - 3 เมตร และทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ประมาณ 8 เดือน ได้ทำการกำหนดจุดวัดความชื้นในดิน และทำการวัดความชื้นในดินโดยใช้เครื่องวัดความชื้นในดินแบบ FDR ที่ระดับความลึก 0 - 5 เซนติเมตร

2. การเก็บตัวอย่างข้อมูล

2.1 การเก็บตัวอย่างข้อมูลความชื้นในดิน

กำหนดบริเวณจุดเก็บตัวอย่างดินในภาคสนาม เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความชื้นในดินในห้องปฏิบัติการ โดยกำหนดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล เป็น 6 ช่วงเวลา คือ เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม ตุลาคม ธันวาคม มกราคม และมีนาคม กำหนดช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างดินต้องเป็นวันและช่วงเวลาที่ตรงหรือใกล้เคียงที่สุดกับวัน-เวลาที่มีการบันทึกภาพข้อมูลจากดาวเทียม ใช้เครื่องมือกำหนดตำแหน่งพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS) เก็บข้อมูลค่าพิกัดตำแหน่งบนผิวโลกในตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 เก็บข้อมูลตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการ

ทำการเก็บตัวอย่างดินบริเวณไร่มันสำปะหลังในเดือนพฤษภาคม 2552 ซึ่งเป็นช่วงที่มันสำปะหลังอยู่ในระยะตั้งตัว โดยการสุ่มให้ทั่วบริเวณบริเวณบริเวณที่ศึกษา โดยใช้หลักการสุ่มแบบเป็นระบบ (systematic random sampling) ทำการเก็บตัวอย่างดิน 2 รูปแบบ คือ

2.2.1 การเก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวน (undisturbed sample) เป็นวิธีการเก็บตัวอย่างดินที่ไม่ให้ดินเสียโครงสร้าง เก็บโดยใช้กระบอกเก็บดิน (soil core) เพื่อนำไปวิเคราะห์ความชื้นในห้องปฏิบัติการ จำนวน 6 ตัวอย่าง

2.2.2 การเก็บตัวอย่างดินแบบถูกรบกวน (disturbed sample) เป็นวิธีการเก็บตัวอย่างดินที่ไม่คำนึงถึงโครงสร้างของดินว่าจะทำลายหรือไม่ เพื่อนำดินไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่างของดิน ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดิน

2.3 ปริมาณความชื้นในดิน

การเก็บข้อมูลความชื้นในดินด้วยเครื่องวัดความชื้นในดินแบบ frequency domain reflectometry (FDR) ทำการเลือกบริเวณที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุด 160 จุด โดยยึดเสาของสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติเป็นจุดศูนย์กลาง และเก็บตัวอย่างดินไปทางทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก ทิศละ 40 จุด รวมทั้งหมด 160 จุด โดยแต่ละจุดห่างกันจุดละ 25 เมตร โดยเก็บที่ระดับความลึก 0–10 เซนติเมตร ทำการเก็บเดือนเว้นเดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2552 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2553 เป็นระยะเวลา 1 ปี นำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนในแต่ละเดือน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลความชื้นในดินในห้องปฏิบัติการ จัดทำเป็นฐานข้อมูลความชื้นในดิน

2.4 การติดตั้งสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ (AWS)

ข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ (automatic weather station; AWS) ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และปริมาณฝน โดยสัญลักษณ์ต่าง ๆ และหน่วยที่ใช้วัด ดังตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 สัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในการประเมินค่าความชื้นในดิน โดยใช้การสำรวจระยะไกล บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
T	อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส
R_s	รังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด	วัตต์ต่อตารางเมตร
W	ความเร็วลม	เมตรต่อวินาที
RH	ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์
R	ปริมาณฝน	มิลลิเมตร

2.5 การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

เตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ที่มีความละเอียด 30 x 30 เมตร ครอบคลุมบริเวณศึกษา และวันที่บันทึกภาพใกล้เคียงกับวันที่เก็บความชื้นในดิน จำนวน 6 ภาพ คือ

1) วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2553 เป็นตัวแทนระยะเตรียมดิน

2) วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เป็นตัวแทนระยะเพาะเพาะปลูก

3) วันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 เป็นตัวแทนระยะเจริญเติบโต แต่เนื่องจากภาพมีเมฆมากจึงไม่สามารถนำข้อมูลภาพมาใช้วิเคราะห์ได้

4) วันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2552 เป็นตัวแทนระยะลงหัว

5) วันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ. 2552 เป็นตัวแทนก่อนเก็บเกี่ยว

6) วันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2553 เป็นตัวแทนระยะเก็บเกี่ยว

2.5.1 จัดหาข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยมีคุณสมบัติดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1) ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM ต้องเป็นข้อมูลต้นฉบับที่ยังไม่ผ่านการปรับแก้ทางคลื่นและทางเรขาคณิต เพราะเป็นการศึกษาที่ต้องพิจารณาค่าของจุดภาพ (pixel) ที่เป็นค่า (digital number; DN) ที่ต้องมีความถูกต้องของพิกัดทางภูมิศาสตร์สูง และมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิมมากเกินไปโดยกระบวนการสุ่มซ้ำ (resampling)

2) ต้องปราศจากเมฆหรือหมอกปกคลุมบริเวณในขณะที่มีการบันทึกข้อมูลภาพ เพราะจะทำให้ค่า DN ของจุดภาพผิดเพี้ยนไปอันเนื่องมาจากอิทธิพลของค่าการแผ่รังสีของเมฆ หมอกและเงาของฝน

3) ต้องไม่มีสัญญาณเสียในภาพมากเกินไป

2.5.2 การปรับแก้ความผิดพลาดของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม นำภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ครอบคลุมบริเวณศึกษามาทำการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต (geometric correction) กำหนดพิกัดอ้างอิงให้เข้ากับแผนที่ภูมิศาสตร์ในระบบ universal transverse mercrator (UTM) โซน 48, spheroid everest และ datum indian 1975 โดยวิธี image to map ใช้สมการควบคุมความผิดพลาดเฉลี่ย (root mean squre error; RMSE) ที่ไม่เกินครึ่งจุดภาพ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากภาพต้นฉบับมากนัก (กาญจน์เขจร, 2546) ใช้วิธีสุ่มซ้ำ (resampling) แบบ nearest neighborhood

2.5.3 ทำการตัดภาพข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม (subset image) ให้เล็กลง เฉพาะบริเวณบริเวณศึกษา เพื่อให้การประมวลผลได้ใช้เวลารวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

2.5.4 ทำการอ่านค่า DN ของจุดภาพ ตามจุดพิกัดเดียวกันกับจุดเก็บข้อมูลดินในภาคสนาม

2.5.5 นำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต แล้วไปคำนวณค่าอัตราส่วนระหว่างช่วงคลื่น เพื่อหาค่าดัชนีเชิงคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับสภาพกายภาพของพืชพรรณและความชื้นในดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 วิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices) จากภาพถ่ายดาวเทียมนำข้อมูลภาพถ่าย LANDSAT 5 TM ทั้ง 5 ภาพ มาหาค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ค่าคือ ratio vegetation index (RVI), normalized difference vegetation Index (NDVI), transformed normalized difference vegetation index (TNDVI), infrared percentage vegetation index (IPVI), green normalized difference vegetation index (GNDVI), difference vegetation index (DVI), vegetation index (VI) และ normalized difference water index (NDWI) ด้วย Erdas imagine โดยมีรูปแบบสมการ คือ

3.1.1 ratio vegetation index (RVI) เป็นดัชนีพืชพรรณที่ถูกอธิบายโดย Jordan (1969) ซึ่งในการศึกษาคุณภาพการปกคลุมของพืชพรรณโดยใช้ RVI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT TM ทำการคำนวณโดยใช้แบนด์อินฟราเรด (แบนด์ 4) มาหาสัดส่วนกับแบนด์สีแดง (แบนด์ 3) ตามสมการที่ 5 โดยดัชนี RVI มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0 และสูงที่สุดเท่ากับ 255

$$RVI = band\ 4 / band\ 3 \quad (5)$$

โดยที่ RVI = ratio vegetation index
band 3 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.63 – 0.69 μm (red)
band 4 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.76 – 0.90 μm (near IR)

3.1.2 normalized difference vegetation Index (NDVI) เป็นดัชนีพืชพรรณที่ถูกอธิบายโดย Rose *et al.* (1975) ซึ่งในการศึกษาคุณภาพการปกคลุมของพืชพรรณโดยใช้ NDVI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT TM ทำการคำนวณโดยใช้ผลต่างแบนด์อินฟราเรด (แบนด์ 4) กับแบนด์สีแดง (แบนด์ 3) หารด้วยผลรวมแบนด์อินฟราเรด (แบนด์ 4) กับแบนด์สีแดง (แบนด์ 3) ตามสมการที่ 6 โดยดัชนี NDVI มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ -1 และสูงที่สุดเท่ากับ 1

$$NDVI = (band\ 4 - band\ 3) / (band\ 4 + band\ 3) \quad (6)$$

โดยที่ NDVI = normalized difference vegetation index
band 3 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.63 – 0.69 μm (red)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

band 4 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.76 – 0.90 μm (near IR)

3.1.3 transformed normalized difference vegetation index (TNDVI) เป็นดัชนีพืชพรรณที่ถูกอธิบายโดย Deering *et al.* (1975) ซึ่งในการศึกษาคุณภาพการปกคลุมของพืชพรรณโดยใช้ TNDVI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT TM โดยใช้การคำนวณภายใต้รากที่สองที่มีการนำเอาผลต่างแบนด์อินฟราเรด (แบนด์ 4) กับแบนด์สีแดง (แบนด์ 3) หารด้วยผลรวมแบนด์อินฟราเรด (แบนด์ 4) กับแบนด์สีแดง (แบนด์ 3) แล้วบวกด้วยค่าคงที่ 0.5 ตามสมการที่ 7 โดยดัชนี TNDVI มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0 และสูงที่สุดเท่ากับ 1.2247

$$TNDVI = \sqrt{((band\ 4 - band\ 3) / (band\ 4 + band\ 3) + 0.5)} \quad (7)$$

โดยที่ TNDVI = transformed normalized difference vegetation index
band 3 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.63 – 0.69 μm (red)
band 4 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.76 – 0.90 μm (near IR)

3.1.4 infrared percentage vegetation index (IPVI) เป็นดัชนีพืชพรรณที่ถูกอธิบายโดย Crippen (1990) ซึ่งในการศึกษาคุณภาพการปกคลุมของพืชพรรณโดยใช้ IPVI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT TM ทำการคำนวณโดยใช้แบนด์อินฟราเรด (แบนด์ 4) หารกับผลรวมระหว่างอินฟราเรด (แบนด์ 4) กับแบนด์สีแดง (แบนด์ 3) ตามสมการที่ 8 โดยดัชนี IPVI มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0 และสูงที่สุดเท่ากับ 1

$$IPVI = band\ 4 / (band\ 4 + band\ 3) \quad (8)$$

โดยที่ IPVI = infrared percentage vegetation index
band 3 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.63 – 0.69 μm (red)
band 4 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.76 – 0.90 μm (near IR)

3.1.5 difference vegetation index (DVI) เป็นดัชนีพืชพรรณที่ถูกอธิบายโดย Lillesand and Kiefer (1987) ซึ่งในการศึกษาคุณภาพการปกคลุมของพืชพรรณโดยใช้ DVI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT TM ทำการคำนวณโดยใช้ผลต่างระหว่างข้อมูลประจำจุดภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(DN) แบนด์อินฟราเรด (แบนด์ 4) กับแบนด์สีแดง (แบนด์ 3) ตามสมการที่ 9 โดยดัชนี DVI มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ -255 และสูงที่สุดเท่ากับ 255

$$DVI = band\ 4 - band\ 3 \quad (9)$$

โดยที่ DVI = difference vegetation index
band 3 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.63 – 0.69 μm (red)
band 4 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.76 – 0.90 μm (near IR)

3.1.6 green normalized difference vegetation index (GNDVI) เป็นดัชนีพืชพรรณที่ถูกอธิบายโดย Gitelson *et al.* (1996) ซึ่งในการศึกษาคุณภาพการปกคลุมของพืชพรรณโดยใช้ GNDVI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT TM ทำการคำนวณโดยใช้ผลต่างของข้อมูลแบนด์อินฟราเรด (แบนด์ 4) กับแบนด์สีเขียว (แบนด์ 2) มาหาสัดส่วนกับผลรวมระหว่างของข้อมูลแบนด์อินฟราเรด (แบนด์ 4) กับแบนด์สีเขียว (แบนด์ 2) ตามสมการที่ 10 โดยดัชนี GNDVI มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ -1 และสูงที่สุดเท่ากับ 1

$$GNDVI = (band\ 4 - band\ 2) / (band\ 4 + band\ 4) \quad (10)$$

โดยที่ GNDVI = green normalized difference vegetation index
band 2 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.52 – 0.60 μm (green)
band 4 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.76 – 0.90 μm (near IR)

3.1.7 normalized difference water index (NDWI) เป็นดัชนีพืชพรรณที่ถูกอธิบายโดย Rose *et al.* (1975) ซึ่งในการศึกษาคุณภาพการปกคลุมของพืชพรรณโดยใช้ NDWI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT TM ทำการคำนวณโดยใช้ผลต่างข้อมูลแบนด์อินฟราเรด (แบนด์ 4) กับแบนด์อินฟราเรดกลาง (แบนด์ 5) หารด้วยผลรวมของข้อมูลแบนด์อินฟราเรด (แบนด์ 4) กับแบนด์อินฟราเรดกลาง (แบนด์ 5) ตามสมการที่ 11 โดยดัชนี NDWI มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ -1 และสูงที่สุดเท่ากับ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$NDWI = (band\ 4 - band\ 5) / (band\ 4 + band\ 5) \quad (11)$$

โดยที่ NDWI = normalized difference water index
band 4 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 0.76 – 0.90 μm (near IR)
band 5 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 1.55 – 1.75 μm (short wave IR)

3.1.8 vegetation index (VI) เป็นดัชนีพืชพรรณที่ถูกอธิบายโดย Richards and Jia (2006) ซึ่งในการศึกษาคุณภาพการปกคลุมของพืชพรรณโดยใช้ VI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT TM ทำการคำนวณโดยใช้ผลต่างของแบนด์อินฟราเรดกลาง (แบนด์ 7) กับแบนด์อินฟราเรดกลาง (แบนด์ 5) หารด้วยผลรวมของแบนด์อินฟราเรดกลาง (แบนด์ 7) กับแบนด์อินฟราเรดกลาง (แบนด์ 5) ตามสมการที่ 12 โดยดัชนี VI มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ -1 และสูงที่สุดเท่ากับ 1

$$VI = (band\ 7 - band\ 5) / (band\ 7 + band\ 5) \quad (12)$$

โดยที่ VI = vegetation index
band 5 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 1.55 – 1.75 μm (short wave IR)
band 7 = แบนด์ที่อยู่ในช่วงคลื่น 2.08 – 2.35 μm

3.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินที่ได้จากเครื่องวัดความชื้นในดินแบบ FDR มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร กำหนดให้เป็นตัวแปรตาม กับค่าดัชนีพืชพรรณ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นเชิงพหุ (multiple regression) และหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ด้วยโปรแกรม Minitab 16 โดยแยกการวิเคราะห์ดังนี้

3.2.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกำหนดให้เป็นตัวแปรตามกับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนี ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินช่วงน้ำหลาก (wet period) ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม กำหนดให้เป็นตัวแปรตามกับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนี ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ

3.2.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินฝนแล้ง (dry period) ระหว่างเดือนธันวาคม ถึงเดือนมีนาคม กำหนดให้เป็นตัวแปรตามกับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนี ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ

3.2.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช โดยแบ่งเป็นระยะ ดังนี้ (1) ระยะเตรียมดิน (2) ระยะเพาะปลูก (3) ระยะลงหัว (4) ระยะก่อนเก็บเกี่ยว (5) ระยะเก็บเกี่ยว กำหนดให้เป็นตัวแปรตามกับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนี ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ

3.3 การตรวจสอบค่าความถูกต้องของสมการความชื้นในดินที่ได้ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 จัดหาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้เพื่อตรวจสอบสมการความชื้นในดินที่ได้ มี 3 ภาพ คือ (1) วันที่ 2 มกราคม 2546 (2) วันที่ 23 มีนาคม 2546 และ(3) วันที่ 6 พฤษภาคม 2546

3.3.2 นำภาพที่ได้มาปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต (geometric correction) กำหนดพิกัดอ้างอิงให้เข้ากับแผนที่ภูมิศาสตร์ในระบบ universal transverse mercrator (UTM) โซน 48 spheroid everest และ datum indian 1975 โดยวิธี image to map

3.3.3 ทำการตัดภาพข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม (subset image) ให้เล็กลง เฉพาะบริเวณบริเวณศึกษา เพื่อให้การประมวลผลได้ใช้เวลารวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยใช้บริเวณเดียวกัน ซึ่งเป็นบริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

3.3.4 นำภาพถ่ายดาวเทียมทั้งหมดมาหาค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนี ตามสมการที่ 5 ถึงสมการที่ 12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3.5 จัดหาข้อมูลความชื้นในดิน โดยต้องให้วันเวลาตรงกันหรือใกล้เคียงกับภาพถ่ายดาวเทียมมากที่สุด โดยใช้ข้อมูลความชื้นในดินของรัชชนีวรรณ (2547) ที่ได้ศึกษาความผันแปรของความชื้นในดิน บริวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา โดยได้ทำการศึกษาความผันแปรความชื้นในดินลึก 0 – 5 เซนติเมตร

3.3.6 นำค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ปี 2546 แทนค่าในแต่ละตัวแปรเข้าไปในสมการความชื้นในดินที่ได้ในครั้งแรก แล้วทดสอบความเที่ยงตรงของสมการ (validation)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การศึกษาความผันแปรความชื้นในดิน โดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกล บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ปรากฏผลการศึกษาดังนี้

1. สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดิน

การศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดิน ได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน อินทรียวัตถุ และค่า pH ของดินบริเวณไร่มันสำปะหลัง ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร พบว่า เนื้อดินเป็นดินเหนียว ปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าร้อยละ 1.8 และค่า pH 5.1 จัดเป็นกรดแก่ ส่วนความอุดมสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับปานกลาง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดิน บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

ความลึก (ซม.)	เนื้อดิน	pH	อินทรียวัตถุ (%)	ฟอสฟอรัส (ppm.)	โพแทสเซียม (ppm.)	แคลเซียม (ppm.)	แมกนีเซียม (ppm.)
0-5 ระดับ	เหนียว	5.1 (กรดแก่)	1.8 (ปานกลาง)	9 (ต่ำ)	320 (สูงมาก)	680 (สูง)	160 (สูง)

หมายเหตุ: ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ดินที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1 เนื้อดิน (soil texture)

จากการศึกษาลักษณะเนื้อดินบริเวณไร่มันสำปะหลัง ที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร พบว่า ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว สอดคล้องกับ รัชนีวรรณ (2547) ศึกษาความผันแปรความชื้นในดิน บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา มีลักษณะของเนื้อดินเป็นดินเหนียวในทุกระดับความลึก ซึ่งแตกต่างจากเนื้อดินป่าดิบเขาและป่าดิบแล้ง โดยที่เนื้อดินป่าดิบเขามีลักษณะเป็นดินร่วนทรายค่อนข้างเหนียวในทุกระดับความลึก (เพิ่มศักดิ์, 2522) เนื้อดินป่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดิบแล้งที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช ดินชั้นบนมีลักษณะเป็นดินร่วนทราย ดินชั้นล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (สมเกียรติ, 2538) ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุต้นกำเนิดดินต่างชนิดกัน โดยวัตถุต้นกำเนิดดินบริเวณไร่มันสำปะหลังเกิดจากการสลายตัวผุพังของหินเนื้อละเอียดทั้งหินอัคนีและหินชั้น เมื่อเกิดการผุพังอยู่กับที่จึงเกิดเป็นเนื้อดินเหนียวในขณะที่ดินป่าดิบเขาเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินแกรนิตปรากฏร่วมกับหินควอทไซด์ (วีระศักดิ์, 2524) เมื่อเกิดการผุพังอยู่กับที่เกิดเป็นดินร่วนทรายค่อนข้างเหนียวจนถึงดินร่วนเหนียว (พิบูลย์, 2526)

1.2 อินทรียวัตถุ (organic matter)

ปริมาณอินทรียวัตถุมีความสำคัญต่อองค์ประกอบของดินเป็นอย่างมาก เนื่องจากอินทรียวัตถุจัดว่าเป็นแหล่งสำรองของธาตุอาหารในดินและมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างสมบัติของดินทางเคมีและกายภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้อินทรียวัตถุยังเป็นแหล่งสำรองของธาตุอาหารไนโตรเจนในดิน กิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดิน การทำการเกษตร การเพาะปลูกพืช มีอิทธิพลในการสะสมอินทรียวัตถุ ดินที่ใช้ทำการเกษตรต้องมีการไถพรวน ตลอดจนมีการเพิ่มความชื้นให้แก่ดิน และอาจมีการใส่ปุ๋ยเพื่อปรับความเป็นกรด-ด่างของดิน ทำให้ดินมีความเหมาะสมต่อการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายฮิวมัสได้ดีขึ้น ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุบริเวณไร่มันสำปะหลัง (ตารางที่ 4) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุมีค่า 1.8 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงตามลำดับความลึกซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ จุมพล (2535) และ ชัยฤกษ์ (2536) ที่พบว่า การลดลงของอินทรียวัตถุเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงระดับความลึก 5-60 เซนติเมตรจากผิวดิน แต่เมื่อลึกลงไปมากกว่านั้นปริมาณอินทรียวัตถุจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย จากการที่ดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าดินล่าง เนื่องมาจากลักษณะของดินบนเป็นส่วนที่มีการย่อยสลายของเศษใบไม้โดยตรง และยังมีการย่อยสลายของรากพืชอีกด้วย (เกษม และเพิ่มศักดิ์, 2522)

2. ความผันแปรของความชื้นในดินเฉลี่ยตามระยะการเจริญเติบโตของพืช

ความผันแปรของความชื้นในดินเฉลี่ยตามระยะการเจริญเติบโตของพืชบริเวณไร่มันสำปะหลัง พิจารณาในช่วงระดับความลึกที่ 0-5 เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับความลึกดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากรากและหัวของมันสำปะหลังที่อยู่ในระดับความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร ความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดปีมีค่าเท่ากับ 15.07 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยมีปริมาณความชื้นในดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เฉลี่ยตามระยะการเจริญเติบโตของพืชสูงที่สุดเท่ากับ 24.98 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นระยะลงหัว และมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 7.25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นระยะเตรียมดิน ทั้งนี้เนื่องจากระยะลงหัวเป็นระยะที่มีปริมาณฝนมากขึ้นประกอบกับบริเวณผิวใบปกคลุมหนาแน่น ส่งผลให้มีการระเหยน้ำจากผิวดินได้น้อยลง อีกทั้งมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่ใช้น้ำเพื่อการเจริญเติบโตน้อยเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นจึงทำให้ความชื้นในดินมีค่าสูงที่สุด ส่วนระยะเตรียมดินเป็นระยะที่เกษตรการทำการไถพรวน เปิดหน้าดิน เพื่อทำให้ดินได้มีการสัมผัสอากาศได้มากขึ้น ดินมีความร่วนซุยมากขึ้น การไถพรวนดินเป็นการรบกวนโครงสร้างของดิน ประกอบกับระยะนี้เป็นช่วงฤดูแล้ง จึงส่งผลให้ความชื้นในดินมีค่าต่ำที่สุด และความชื้นในดินเฉลี่ยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 8.88, 9.28, 18.71 และ 21.32 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในช่วงระยะก่อนเก็บเกี่ยว เจริญเติบโต เพาะปลูก และระยะเก็บเกี่ยว ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา และความชื้นในดิน บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

เดือน ปี	ระยะการเจริญเติบโตของพืช	ความชื้นในดิน (%โดยปริมาตร)				ความชื้นในดินเฉลี่ย (%โดยปริมาตร)	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา		
		ทิศ					T (°C)	Rs (watt/m^2)	R* (mm)
		เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก				
มี.ค. 2553	เตรียมดิน	6.00	6.81	7.43	8.75	7.25	28.5	389.82	38.4
พ.ค. 2552	เพาะปลูก	20.20	17.24	18.10	19.31	18.71	26.38	380.02	150.0
ก.ค. 2552	เจริญเติบโต	10.00	9.02	8.80	9.28	9.28	27.05	357.28	114.9
ต.ค. 2552	ลงหัว	26.30	25.04	24.05	24.53	24.98	25.42	327.23	156.1
ธ.ค. 2552	ก่อนเก็บเกี่ยว	8.70	8.85	8.69	9.26	8.88	24.30	322.70	3.5
ม.ค. 2553	เก็บเกี่ยว	21.80	21.49	22.37	19.60	21.32	25.66	360.39	2.6
เฉลี่ย		15.50	14.70	14.91	15.12	15.07	26.22	356.24	77.58

หมายเหตุ: T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

Rs = รังสีดวงอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

R = ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)

* = ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศโชคชัย ปี 2552-2553

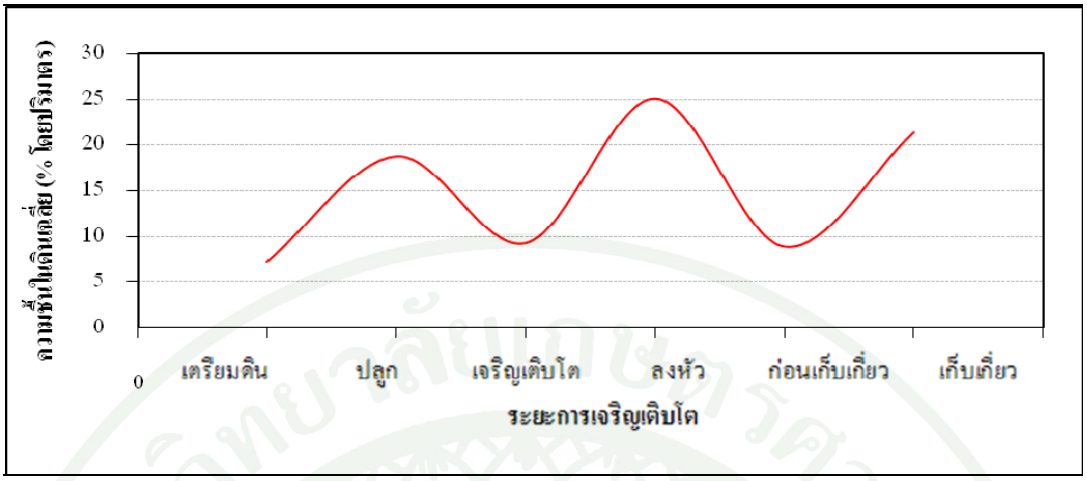
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อพิจารณาความผันแปรของความชื้นในดินเฉลี่ยตามระยะการเจริญเติบโตของพืชบริเวณไร่มันสำปะหลัง พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความชื้นในดิน คือ ปริมาณฝนและรังสีดวงอาทิตย์ สอดคล้องกับ คชา (2551) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการผันแปรของความชื้นในดินที่พบสะสมต่อเนื่องรายสัปดาห์หรือรายเดือน โดยตัวแปรสำคัญที่ใช้คือ ปริมาณฝนเฉลี่ย อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินชั้นบน และ อัตราการคายระเหยของดินและพืชพรรณในพื้นที่

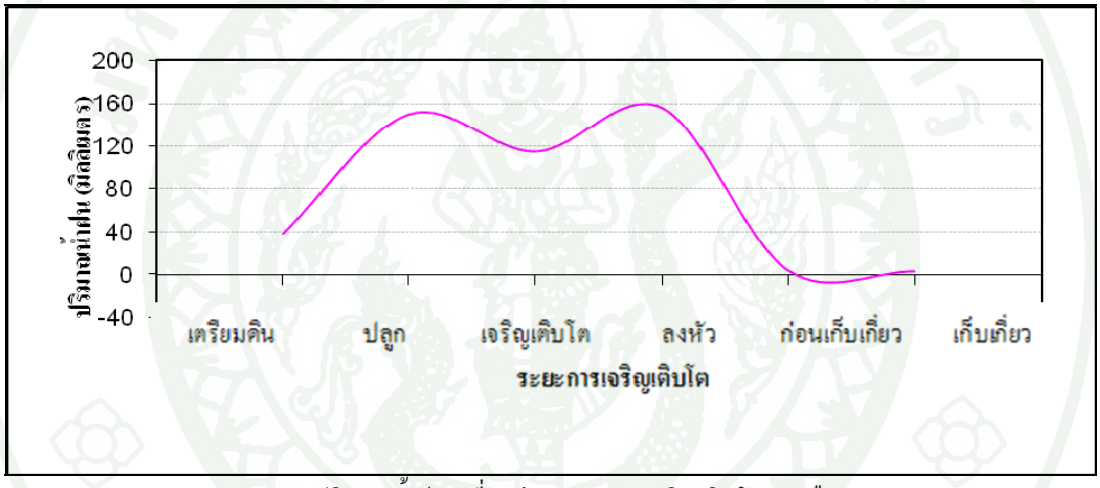
จากการศึกษา พบว่า ในช่วงระยะเตรียมดิน เกษตรกรทำการพักดินและไถพรวนดินทิ้งไว้จนกว่าฝนตกประมาณเดือนพฤษภาคม จึงทำการปลูกมันสำปะหลังอีกครั้งในฤดูกาลต่อไป การที่ช่วงระยะเตรียมดินมีความชื้นในดินต่ำที่สุดทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรมีการใช้รถไถพรวนดิน เปิดหน้าดินให้โล่ง มันสำปะหลังเป็นพืชหัว ส่วนของผลผลิตที่เก็บเกี่ยวคือ ส่วนของหัวที่เกิดจากการขยายใหญ่ของราก ดังนั้น การเตรียมดินที่ดีโดยการไถให้ลึก และพรวนดินให้ร่วนซุยนอกจากจะช่วยทำลายวัชพืชในแปลงปลูกเดิมให้หมดสิ้นแล้ว ยังช่วยให้ดินมีการระบายน้ำได้ดี และมีผลทำให้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่เพาะปลูกสัมผัสกับดินได้มาก เจริญงอกงามดีจำนวนต้นอยู่รอดสูง มันสำปะหลังสามารถลงหัวได้ดี ผลผลิตที่ได้จึงสูงขึ้นด้วย อีกทั้งเป็นช่วงเดือนมีนาคมมีอุณหภูมิและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 28.5 องศาเซลเซียส และ 389.82 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 12 และการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันไป ดังภาพที่ 13 ก และสามารถอธิบายได้ดังนี้

ระยะเพาะปลูก (ภาพที่ 13 ข) ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยเท่ากับ 18.71 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นกว่าระยะเตรียมดินทั้งนี้เนื่องจากเริ่มต้นเข้าสู่ฤดูฝน ปริมาณฝนเฉลี่ยมีค่าสูงมากกว่าในระยะเตรียมดินโดยมีค่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร โดยความชื้นในดินเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของฝน หากมีปริมาณฝนมากอัตราการซึมน้ำก็จะเพิ่มขึ้น (Sukurai *et al.*, 1991) สอดคล้องกับการศึกษาของอมลรัตน์ (2544) พบว่า ความผันแปรความชื้นในดินทุกบริเวณของป่าเบญจพรรณขึ้นอยู่กับปริมาณฝน เมื่อมีปริมาณฝนมากจะทำให้ปริมาณน้ำในดินเพิ่มมากขึ้น และเมื่อปริมาณฝนน้อยลงหรือช่วงที่ไม่มีฝนตกลงมาความชื้นในดินมีค่าเพียงเล็กน้อย ประกอบกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีค่าสูงขึ้นจากระยะแรก

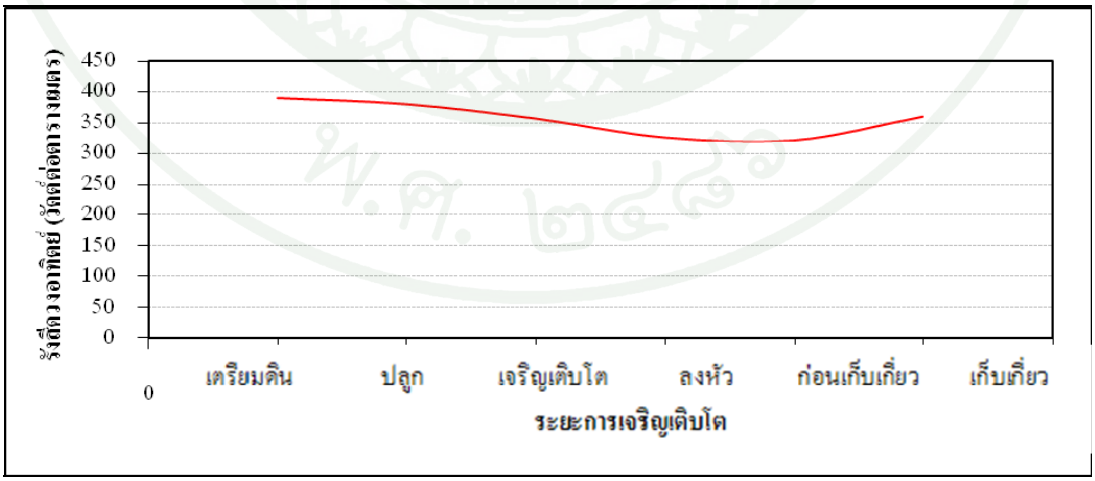
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก) ความชื้นในดินเฉลี่ยแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช



(ข) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช



(ค) รังสีดวงอาทิตย์แต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช

ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยากับความชื้นในดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ก) ระยะเตรียมดิน (ก.พ.-มี.ค.)

(ข) ระยะเพาะปลูก (เม.ย.-พ.ค.)

(ค) ระยะเจริญเติบโต (มิ.ย.-ก.ย.)

(ง) ระยะลงหัว (ต.ค.-พ.ย.)

(จ) ระยะก่อนเก็บเกี่ยว (ธ.ค.-ม.ค.)

(ฉ) ระยะเก็บเกี่ยว (ม.ค.-ก.พ.)

ภาพที่ 13 ระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเจริญเติบโต (ภาพที่ 13 ค) ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยเท่ากับ 9.28 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีค่าต่ำลงกว่าระยะเพาะปลูก เนื่องจากเป็นช่วงที่มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก จึงนำน้ำที่มีอยู่ในดินไปใช้มากกว่าปกติจึงทำให้ความชื้นในดินเฉลี่ยต่ำ อีกทั้งปริมาณฝนเฉลี่ยในระยะนี้ลดลงจากระยะเพาะปลูก

พอเข้าสู่ระยะลงหัว (ภาพที่ 13 ง) ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยในระยะนี้มีค่าเพิ่มขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับทุกช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณฝนเฉลี่ยสูงขึ้นกว่าระยะเจริญเติบโตแต่มีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ต่ำกว่าในระยะเจริญเติบโต โดยความชื้นในดินที่ผันแปรนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของฝนที่ผิวดินได้รับ (เกษม และ เพิ่มศักดิ์, 2522; วีระและธรรมนูญ, 2536; Sukurai *et al*., 1991) ประกอบกับระยะลงหัวดังกล่าวนี้เกษตรกรทำการใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักต่าง ๆ เพื่อเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งการที่ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มมากขึ้นช่วยในการซึมน้ำลงสู่ดิน โดยอินทรียวัตถุมีความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ได้ในปริมาณที่มาก คือ ประมาณ 6 - 20 เท่าของน้ำหนัก เนื่องจากเป็นอนุภาคขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์ จึงมีบริเวณดูดซับน้ำได้มากเป็นพิเศษ นอกจากนั้นอนุภาคของอินทรียวัตถุประกอบกันมีโครงสร้างลักษณะคล้ายฟองน้ำมีช่องขนาดเล็กที่ดูดซับได้ดีอยู่มาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ระยะก่อนเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง (ภาพที่ 13 จ) ความชื้นในดินเฉลี่ย มีค่า 8.88 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาว มีอุณหภูมิเฉลี่ย 24.3 องศาเซลเซียสประกอบกับใบมันสำปะหลังเริ่มร่วงและมีแมลงกัดกินใบ เกิดโรคเพลี้ยแป้ง ทำให้เหลือบริเวณใบปกคลุมน้อย จึงเกิดการระเหยของน้ำจากผิวดินได้ง่าย ส่วนความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์มีค่าค่อนข้างสูงโดยมีค่าเท่ากับ 76.07 เปอร์เซ็นต์ และ 322.70 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ จึงทำให้ความชื้นในดินเฉลี่ยในช่วงนี้มีค่าค่อนข้างต่ำ และฝนตกน้อยมาก ความชื้นในดินเฉลี่ยจึงต่ำเมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาอื่น

ระยะเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง (ภาพที่ 13 ฉ) เป็นช่วงที่มีความชื้นในดินเฉลี่ยค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับในช่วงระยะก่อนเก็บเกี่ยว ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรไม่ได้ทำการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด เพราะในระยะก่อนเก็บเกี่ยวเกิดโรคกับใบ ทำให้เกษตรกรต้องทำการฉีดยาฆ่าแมลงลงไป ส่งผลให้เกษตรกรไม่ได้เก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง แล้วปล่อยให้มันสำปะหลัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เจริญเติบโตอีกครั้ง ทำให้มีบริเวณผิวใบปกคลุมผิวหน้าดินไว้ ทำให้ผิวดินไม่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง การระเหยน้ำจากผิวดินจึงลดลง

จากการศึกษาความผันแปรของความชื้นในดินบริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา สามารถนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนเพื่อการเพาะเพาะปลูกในบริเวณลุ่มน้ำให้เหมาะสมกับความชื้นในดิน โดยเกษตรกรควรเริ่มทำการเพาะเพาะปลูกประมาณเดือนพฤษภาคมทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณความชื้นในดินค่อนข้างสูงในระดับความลึกที่ 0-5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับความลึกที่รากและหัวมันสำปะหลังสามารถนำน้ำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ตลอดช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืช หลังจากนั้นควรเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นในดินที่ระดับความลึกดังกล่าวเริ่มต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่า ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวซึ่งสามารถดูดยึดน้ำได้มากและในขณะเดียวกันความสามารถในการปลดปล่อยน้ำของดินเหนียวก็ต่ำ มากเช่นกัน ดังนั้นมันสำปะหลังจึงจัดได้ว่าเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี ตลอดจนสามารถเพาะปลูกได้ในดินทุกชนิด นอกจากนี้แล้วการศึกษาความผันแปรของความชื้นในดินยังสามารถใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยในสาขาที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี ซึ่งควรดำเนินการศึกษาในเรื่องนี้ต่อไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น และควรศึกษาเพิ่มเติมในบริเวณอื่น ๆ ต่อไปด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM

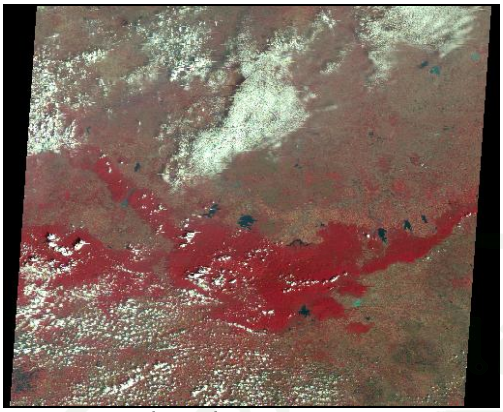
3.1 การปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

การประเมินค่าความชื้นในดิน โดยใช้การสำรวจระยะไกล ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ทั้งหมด 6 ระวาง โดยเป็นภาพถ่ายในช่วง part 128 row 50 บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2553 วันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2553 วันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 วันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2552 และวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2552 โดยภาพทั้งหมดเป็นภาพที่มีร้อยละการปกคลุมของเมฆน้อยกว่า 10 ซึ่งเป็นภาพจากจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ผลจากกรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตด้วยวิธีภาพเริ่มต้นไปยังแผนที่ภูมิประเทศอ้างอิง (image to map) ที่มีระบบพิกัดเป็น WGS 1984 UTM ZONE 47 โดยอาศัยจุดควบคุม (control points) ทั้งหมด 20 จุด ที่กำหนดจากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อน เท่ากับ 0.2358, 0.3465, 0.3443, 0.4658 และ 0.4435 ตามลำดับ ดังตารางที่ 6 และแสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของแต่ละเดือนในบริเวณบริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ดังภาพที่ 14

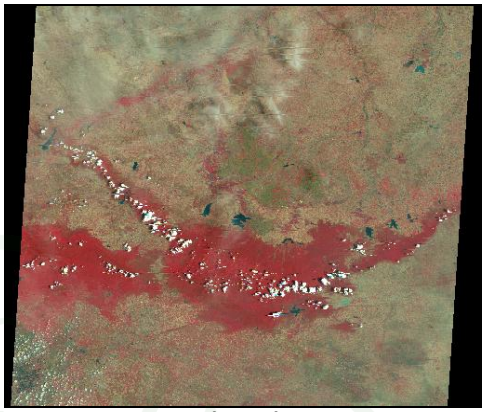
ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการปรับแก้ความคาดเคลื่อนทางเรขาคณิตของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM ในบริเวณศึกษา

ระวาง	บันทึกเมื่อวันที่	จำนวนจุดควบคุม	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (pixel)	ความคลาดเคลื่อน (เมตร)
part 128 row 50	วันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2553	4	0.2358	5.8950
part 128 row 50	วันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2553	4	0.3465	8.6625
part 128 row 50	วันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2552	4	0.3443	8.6075
part 128 row 50	วันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2552	4	0.4658	11.6450
part 128 row 50	วันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2552	4	0.4435	11.0875

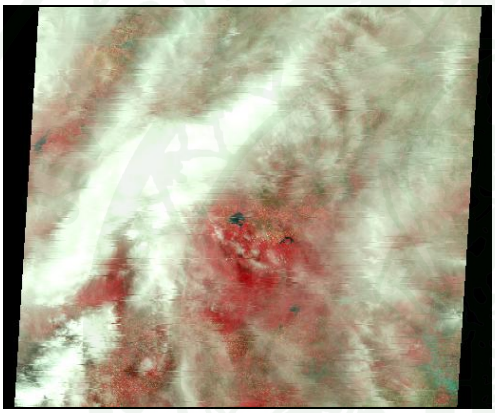
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



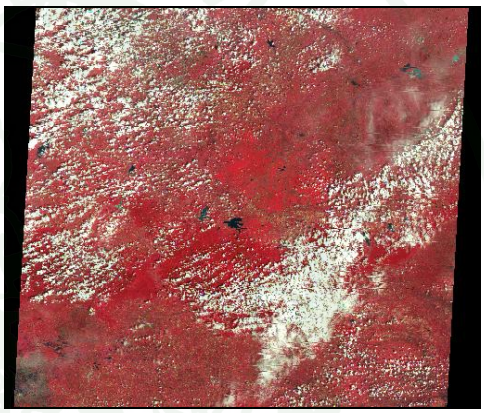
(ก) บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2553



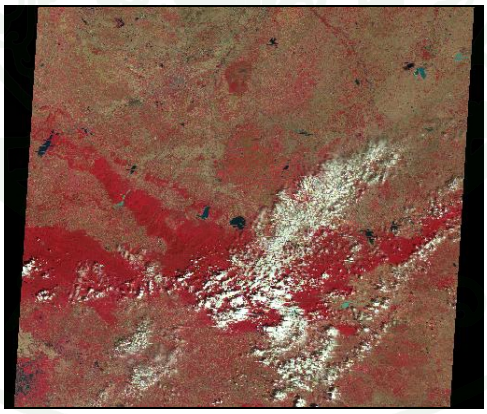
(ข) บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2553



(ค) บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2552



(ง) บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2552



(จ) บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2552

ภาพที่ 14 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM (path 128 row 50)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 การวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM

การศึกษานี้ใช้ดัชนีพืชพรรณที่แตกต่างกัน 8 ดัชนี เนื่องจากเป็นดัชนีที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดิน สอดคล้องกับการศึกษาของ ชรัตน์ (2549) ที่ใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลดาวเทียมหลายช่วงเวลาติดตามตรวจสอบสภาพความแห้งแล้งของป่า ในการประเมินค่าความชื้นในดิน บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ผลการหาค่าดัชนีพืชพรรณของบริเวณไร่มันสำปะหลังทั้งหมด (ตารางภาคผนวกที่ 1 ถึงตารางภาคผนวกที่ 5) โดยได้ข้อมูลภาพดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณศึกษา ดังตารางที่ 7

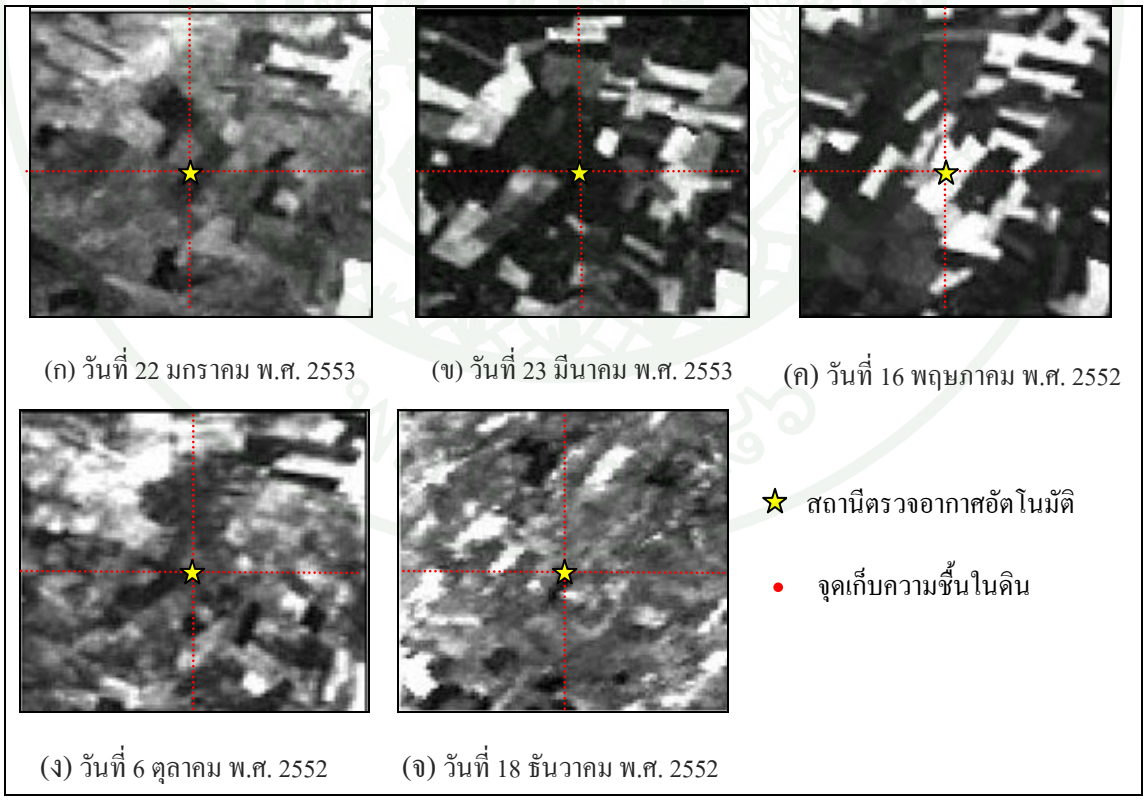
ตารางที่ 7 ข้อมูลภาพดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

เดือน		ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)								
		SM	DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
มกราคม	ค่าสูงที่สุด	32.00	108.84	0.85	0.84	0.85	-0.046	18.06	1.08	-0.20
	ค่าต่ำที่สุด	14.30	21.25	0.28	0.30	0.30	-0.322	1.08	0.30	-0.82
	ค่าเฉลี่ย	22.82	68.30	0.48	0.51	0.53	-0.152	4.07	0.54	-0.45
มีนาคม	ค่าสูงที่สุด	10.90	11.84	0.19	0.30	0.18	0.265	1.90	0.15	-0.00
	ค่าต่ำที่สุด	3.00	-5.93	0.04	0.06	0.04	-0.118	0.16	0.05	-0.06
	ค่าเฉลี่ย	7.25	-0.81	0.14	0.18	0.10	0.059	0.73	0.10	-0.01
พฤษภาคม	ค่าสูงที่สุด	34.00	119.22	0.65	0.78	0.83	-0.002	2.62	0.68	-0.20
	ค่าต่ำที่สุด	12.00	10.83	0.23	0.22	0.10	-0.329	1.00	0.23	-0.85
	ค่าเฉลี่ย	18.65	44.13	0.36	0.41	0.39	-0.110	1.62	0.38	-0.32
ตุลาคม	ค่าสูงที่สุด	32.70	117.28	0.84	0.84	0.87	-0.083	10.81	1.08	-0.30
	ค่าต่ำที่สุด	18.70	43.05	0.34	0.40	0.38	-0.290	1.36	0.25	-0.88
	ค่าเฉลี่ย	24.98	83.21	0.51	0.57	0.60	-0.168	5.16	0.62	-0.54
ธันวาคม	ค่าสูงที่สุด	12.70	18.97	0.26	0.30	0.19	0.037	1.37	0.26	-0.00
	ค่าต่ำที่สุด	6.50	-2.64	0.11	0.12	0.08	-0.059	0.60	0.08	-0.09
	ค่าเฉลี่ย	8.86	3.62	0.17	0.21	0.13	-0.022	0.90	0.14	-0.03

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 7 ค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM กับค่าความชื้นในดินแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช ปรากฏเป็นค่าการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันที่เห็นได้จากภาพถ่ายดาวเทียม แต่ในการศึกษายังอาจต้องมีการปรับเน้นข้อมูลเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน หรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของข้อมูลให้แสดงความชัดเจนในสิ่งที่ทำการศึกษามากขึ้น เรียกการปรับเน้นข้อมูลลักษณะนี้ว่า ดัชนี (index) (ชรัตน์, 2549) สามารถอธิบายค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM บริเวณไร่สำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ดังนี้

1) ค่า difference vegetation index (DVI) มีช่วงของค่าข้อมูลอยู่ระหว่าง -255 ถึง +255 โดยค่าสถิติที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณไร่มันสำปะหลัง พบว่า DVI มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 83.21 ในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นค่าที่สูงปานกลาง เนื่องจากเป็นระยะลงหัว มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ทำให้การสะท้อนแสงของค่า DVI ในเดือนนี้สูงที่สุด บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษาที่มีค่า DVI สูง บริเวณนั้นแสดงออกเป็นสีขาว (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ภาพ difference vegetation index (DVI) บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษา

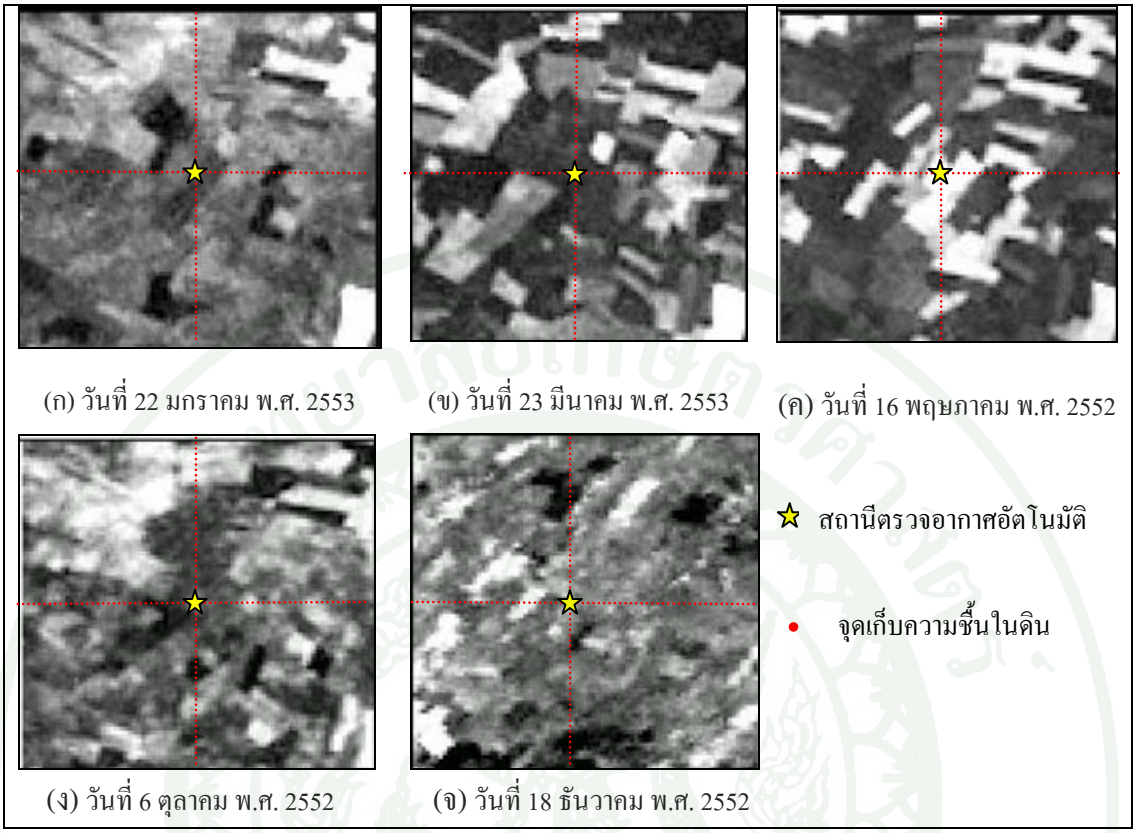
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งแสดงถึงบริเวณที่มีใบของมันสำปะหลังอุดมสมบูรณ์ (เพ็ญประไพ, 2552) และมีความชื้นมาก เช่นบริเวณที่มีมันสำปะหลังอายุมาก ก็มีกิ่งก้านแผ่ปกคลุมปริมาณมาก

ส่วน DVI ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ -0.81 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำปานกลาง เนื่องจากเป็นเดือนมีนาคม และเป็นระยะเตรียมดิน ไถพรวนดิน ทำให้ไม่มีพืชปกคลุมผิวดิน การสะท้อนแสงของค่า DVI จึงต่ำ บริเวณที่มีค่า DVI ต่ำ หรือติดลบ บริเวณนั้นแสดงออกเป็นสีเทาหรือสีดำซึ่งแสดงถึงบริเวณที่มีมันสำปะหลังที่ไม่สมบูรณ์ มีความชื้นน้อย เช่น มันสำปะหลังที่มีอายุน้อย ๆ ไม่ค่อยมีกิ่งก้านมาก และไม่ค่อยมีบริเวณใบปกคลุมดินมาก ค่า DVI เป็นค่าที่ได้จากผลต่างระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ซึ่งแบนด์ 3ใช้ตรวจสอบความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ ส่วนแบนด์ 4 ใช้ตรวจสอบปริมาณมวลชีวภาพได้ และค่า DVI ในเดือนมกราคม พฤษภาคม และธันวาคมมีค่าต่ำลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 68.3, 44.13 และ3.62 ตามลำดับ

2) ค่า green normalized difference vegetation index (GNDVI) มีช่วงของค่าข้อมูลระหว่าง -1 ถึง +1 โดยค่าสถิติที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณไร่มันสำปะหลัง พบว่า GNDVI มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.51 ในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นค่าที่สูงปานกลาง เนื่องจากเป็นระยะลงหัว มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ทำให้การสะท้อนแสงของค่า GNDVI ในเดือนนี้สูงที่สุด บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษาที่มีค่า GNDVI สูง หรือเข้าใกล้ 1 ปรากฏเป็นสีขาวซึ่งแสดงว่าเป็นบริเวณที่มีความชื้นมาก เช่นบริเวณที่มีมันสำปะหลังอายุมาก ก็มีกิ่งก้านแผ่ปกคลุมปริมาณมาก (ภาพที่ 16) ส่วน GNDVI ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.14 ในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นค่าที่ต่ำปานกลาง เนื่องจากเป็นระยะเตรียมดิน ไถพรวนดิน ทำให้ไม่มีพืชปกคลุมผิวดิน การสะท้อนแสงของค่า GNDVI จึงต่ำ บริเวณที่มีค่า GNDVI ต่ำ หรือติดลบ บริเวณนั้นแสดงออกเป็นสีเทาหรือสีดำซึ่งแสดงถึงบริเวณที่มีมันสำปะหลังที่ไม่สมบูรณ์ มีความชื้นน้อย เช่นมันสำปะหลังที่มีอายุน้อย ๆ ไม่ค่อยมีกิ่งก้านมาก และไม่ค่อยมีบริเวณใบปกคลุมดินมาก ค่า GNDVI เป็นค่าที่ได้จากสัดส่วนของผลต่างระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 2 และ ผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 4 ซึ่งแบนด์ 2 ใช้แยกชนิดพืช ส่วนแบนด์ 4 ใช้ตรวจสอบปริมาณมวลชีวภาพได้ และค่า GNDVI ในเดือนมกราคม พฤษภาคม และธันวาคมมีค่าต่ำลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.48, 0.36 และ0.17 ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลคล้ายกับค่า DVI ในทุก ๆ เดือน

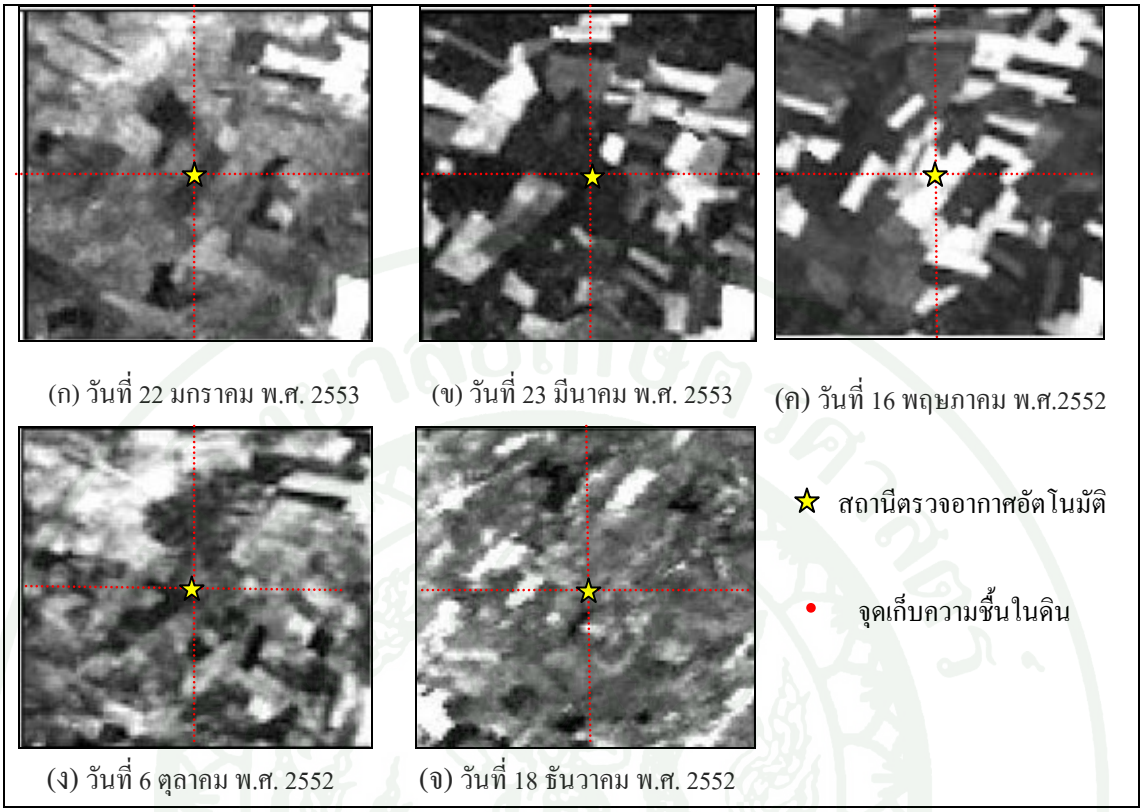
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 16 ภาพ green normalized difference vegetation index (GNDVI) บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษา

3) ค่า infrared percentage vegetation index (IPVI) มีช่วงของค่าข้อมูลระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่าสถิติที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณไร่มันสำปะหลัง พบว่า IPVI มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.57 ในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นค่าที่สูงปานกลาง เนื่องจากเป็นระยะลงหัว มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ทำให้การสะท้อนแสงของค่า IPVI ในเดือนนี้สูงที่สุด บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษาที่มีค่า GNDVI สูง หรือเข้าใกล้ 1 ปรากฏเป็นสีขาวซึ่งแสดงว่าเป็นบริเวณที่มีความชื้นมาก เช่นบริเวณที่มีมันสำปะหลังอายุมาก ก็มีกิ่งก้านแผ่ปกคลุมปริมาณมาก (ภาพที่ 17) ส่วน IPVI ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.18 ในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก เนื่องจากเป็นระยะเตรียมดิน ไถพรวน ทำให้ไม่มีพืชปกคลุมผิวดิน การสะท้อนแสงของค่า IPVI จึงต่ำ บริเวณที่มีค่า IPVI ต่ำ หรือเข้าใกล้ 0 บริเวณนั้นแสดงออกเป็นสีเทาหรือสีดำซึ่งแสดงถึงบริเวณที่มีมันสำปะหลังที่ไม่สมบูรณ์ มีความชื้นน้อย เช่นมันสำปะหลังที่มีอายุน้อย ๆ ไม่ค่อยมีกิ่งก้านมาก และไม่ค่อยมีบริเวณใบปกคลุมดินมาก ค่า IPVI เป็นค่าที่ได้จาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

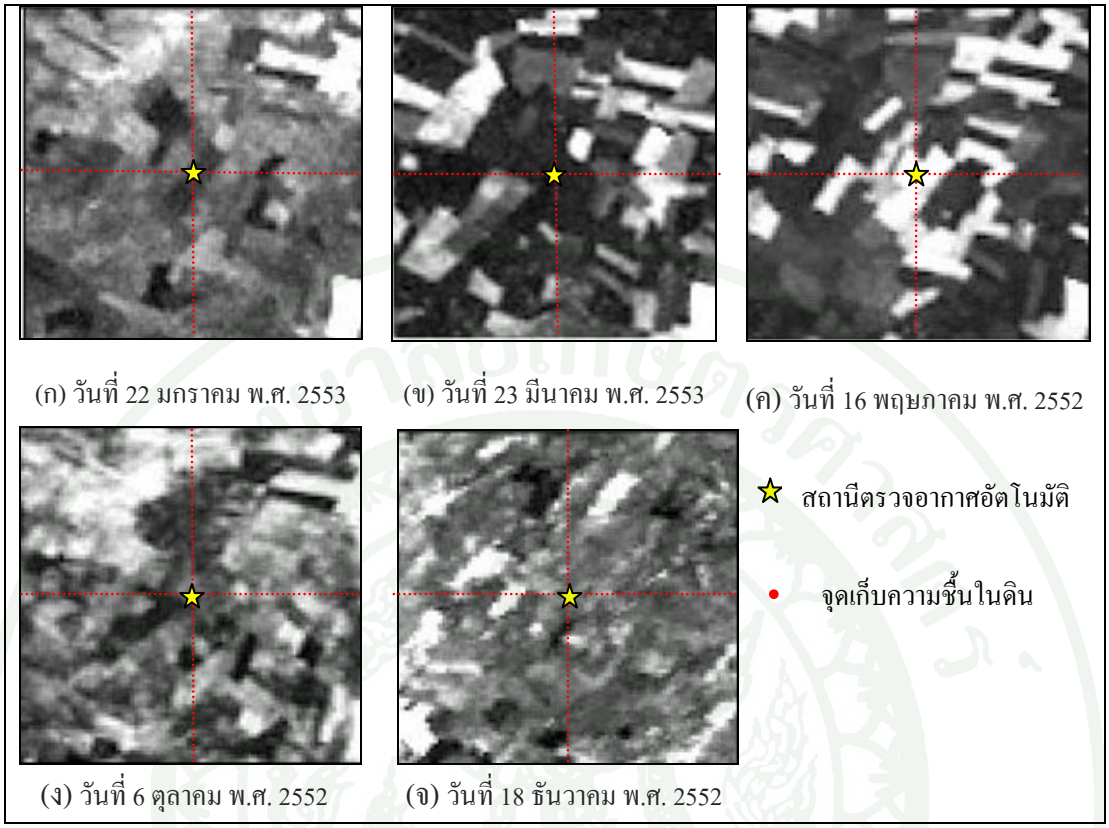


ภาพที่ 17 ภาพ infrared percentage vegetation index (IPVI) บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษา

สัดส่วนของ แบนด์ 4 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ซึ่งแบนด์ 3ใช้ตรวจสอบความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ ส่วนแบนด์ 4 ใช้ตรวจสอบปริมาณมวลชีวภาพได้ และค่า IPVI ในเดือนมกราคม พฤษภาคม และธันวาคมมีค่าต่ำลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.53, 0.41 และ0.21 ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลคล้ายกับค่า DVI และ GNDVI ในทุก ๆ เดือน

4) ค่า normalized difference vegetation index (NDVI) มีช่วงของค่าข้อมูลระหว่าง -1 ถึง +1 โดยค่าสถิติที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณไร่มันสำปะหลัง พบว่า NDVI มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.6 ในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นค่าที่สูงปานกลาง เนื่องจากเป็นระยะลงหัว มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ทำให้การสะท้อนแสงของค่า NDVI ในเดือนนี้สูงที่สุด บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษาที่มีค่า NDVI สูง หรือเข้าใกล้ 1 ปรากฏเป็นสีขาวซึ่งแสดงว่าเป็นบริเวณที่มีความชื้นมาก เช่นบริเวณที่มีมันสำปะหลังอายุมาก ก็มีกิ่งก้านแผ่ปกคลุมปริมาณมาก (ภาพที่ 18) ส่วน NDVI ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.1 ในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นค่าที่ต่ำปานกลาง เนื่องจาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 ภาพ normalized difference vegetation index (NDVI) บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษา

เป็นระยะเตรียมดิน ไถพรวนดิน ทำให้ไม่มีพืชปกคลุมผิวดิน การสะท้อนแสงของค่า NDVI จึงต่ำ บริเวณที่มีค่า NDVI ต่ำ หรือเข้าใกล้ -1 บริเวณพื้นที่นั้นแสดงออกเป็นสีเทาหรือสีดำซึ่งแสดงถึงบริเวณที่มีมันสำปะหลังที่ไม่สมบูรณ์ มีความชื้นน้อย เช่นมันสำปะหลังที่มีอายุน้อย ๆ ไม่ค่อยมีกิ่งก้านมาก และไม่ค่อยมีบริเวณใบปกคลุมดินมาก ค่า NDVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากสัดส่วนของผลต่างระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 3 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ซึ่งแบนด์ 3ใช้ตรวจสอบความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ ส่วนแบนด์ 4 ใช้ตรวจสอบปริมาณมวลชีวภาพได้ และค่า NDVI ในเดือนมกราคม พฤษภาคม และธันวาคมมีค่าต่ำลงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.53, 0.39 และ0.13 ตามลำดับ และแสดงผลคล้ายกับค่า DVI, GNDVI และ IPVI ในทุก ๆ เดือน

Jenson (2000) อธิบายว่าตามปกติพืชพรรณที่สมบูรณ์จะมีการดูดซับรังสีในช่วงแสงขาวไว้เป็นอย่างมากโดยตัวรงควัตถุที่มีอยู่ในตัวพืชที่สำคัญที่สุดคือคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และสะท้อนรังสีช่วง NIR ออกไปสูงมากเช่นกัน จากการหักเหภายในของตัวรังสีจากใบพืชที่สมบูรณ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ด้วยเหตุนี้ การสะท้อนของรังสีช่วง NIR ของพืชที่สมบูรณ์จึงมักสูงกว่าของช่วงสีแดงมาก ทำให้ได้ค่าของ NDVI ตามนิยามที่กำหนดขึ้นสูงกว่าตามไปด้วย จากนิยามดังกล่าวค่า NDVI ที่คำนวณได้จะเป็นค่ามาตรฐานอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 เท่านั้น โดยค่าที่เป็นบวกและเข้าใกล้ 1 มากกว่า แสดงว่ามีความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณอยู่มากกว่า ส่วนค่าใกล้ศูนย์หรือค่าที่ติดลบแสดงว่ามีพืชพรรณสมบูรณ์อยู่น้อยหรือว่าไม่มีเลย ส่วนการวิเคราะห์ค่า NDVI จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-TM / ETM+ มักนำข้อมูลที่ได้จากภาพแบนด์ 4 (NIR) ซึ่งตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 0.78-0.90 ไมโครเมตรและแบนด์ 3 (Red) ที่ความยาวคลื่น 0.63-0.69 ไมโครเมตร มาใช้ในการคำนวณ เนื่องจากความสมบูรณ์เชิงโครงสร้างของพืช มีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับของความชื้นในดิน ซึ่งจำเป็นสำหรับใช้ในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะในเขตแห้งแล้งหรือกึ่งแห้งแล้ง ดังนั้น NDVI จึงมักถูกนำไปใช้ในการศึกษาผลกระทบของสภาพความแห้งแล้ง ต่อการเจริญเติบโตของพืชพรรณ โดยส่วนใหญ่มักวิเคราะห์การผันแปรของดัชนี NDVI อย่างต่อเนื่องตามเวลาเปรียบเทียบกับข้อมูลการผันแปรของปริมาณฝนหรือดัชนีความแห้งแล้งบางค่าในช่วงเดียวกัน เช่น ดัชนีน้ำฝ้ามาตรฐาน (SPI) เพื่อดูถึงระดับของความสอดคล้องที่เกิดขึ้น โดยข้อมูลที่ใช้ส่วนใหญ่คิดมาจากภาพถ่ายดาวเทียม NOAA-AVHRR, Terra-MODIS และ LANDSAT-TM/ETM+

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาจำนวนมากบ่งชี้ว่า การผันแปรของค่า NDVI ตามเวลา มักสอดคล้องกับการผันแปรของปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกิดก่อนหน้าตั้งแต่ระดับ 3 เดือน (3-month time lag) ขึ้นไป จนถึงระดับปี เช่น Ji and Peters (2003); Lotsch *et al.* (2003); Herrmann *et al.* (2005); Volcani *et al* (2005) เป็นต้น แต่ความสัมพันธ์ดังกล่าว มักไม่ปรากฏเป็นเชิงเส้นตรงที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ Ji and Peters (2003) ได้ศึกษารูปแบบที่ผันแปรไปตามลักษณะหรือชนิดของพืชพรรณที่ศึกษา และตามฤดูกาลด้วย

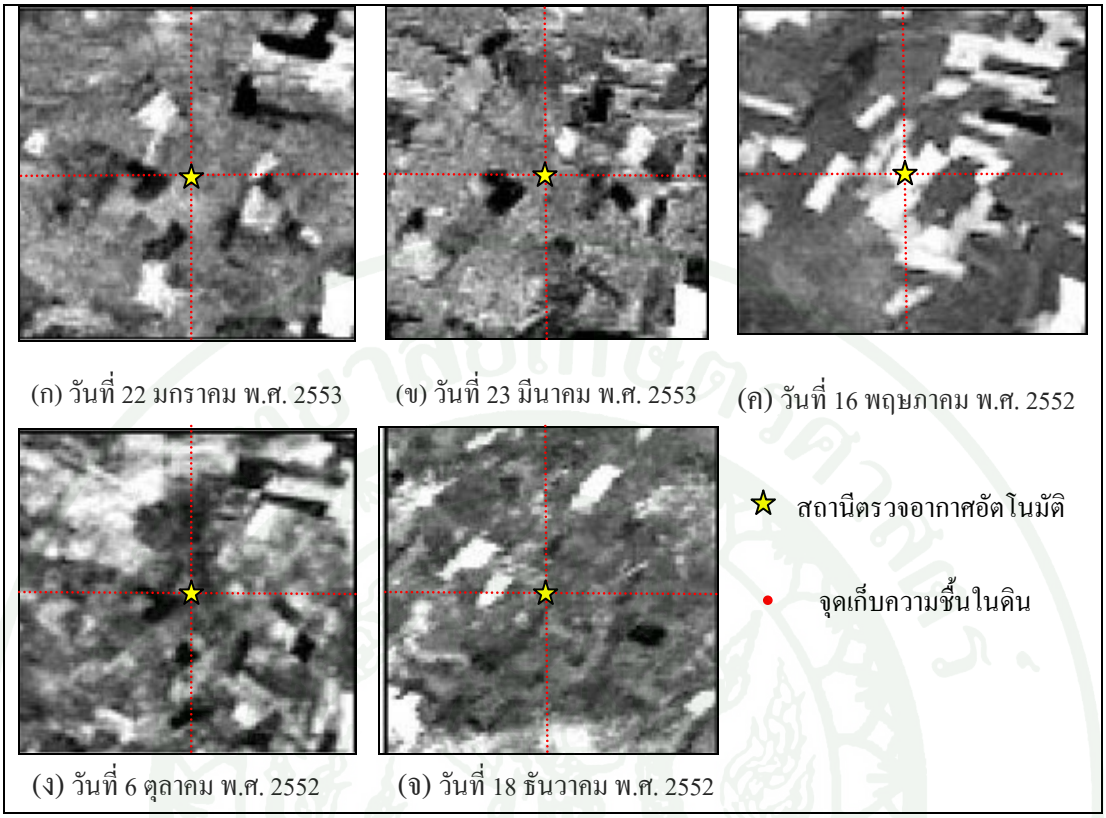
5) ค่า normalized difference water index (NDWI) มีช่วงของค่าข้อมูลระหว่าง -1 ถึง +1 โดยค่าสถิติที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณไร่มันสำปะหลัง พบว่า NDWI มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ -0.16 ในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก เนื่องจากเป็นระยะลงหัว มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ทำให้การสะท้อนแสงของค่า NDWI ในเดือนนี้ต่ำที่สุด บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษาที่มีค่า NDWI ต่ำ หรือเข้าใกล้ -1 ปรากฏเป็นสีเทาหรือสีดำซึ่งแสดงว่าเป็นบริเวณที่มีความชื้นมาก เช่น บริเวณที่มีมันสำปะหลังอายุมาก ก็มีกิ่งก้านแผ่ปกคลุมปริมาณมาก (ภาพที่ 19) ส่วน NDVI ที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.05 ในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นค่าที่สูงน้อย เนื่องจากเป็นระยะเตรียมดิน ไถพรวนดิน ทำให้ไม่มีพืช ปกคลุมผิวดิน การสะท้อนแสงของค่า NDWI จึงสูง บริเวณที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีค่า NDWI สูง หรือเข้าใกล้ 1 บริเวณนั้นแสดงออกเป็นสีขาวซึ่งแสดงถึงบริเวณที่มีมันสำปะหลังที่ไม่สมบูรณ์ มีความชื้นน้อย เช่นมันสำปะหลังที่มีอายุน้อย ๆ ไม่ค่อยมีกิ่งก้านมาก และไม่ค่อยมีบริเวณใบปกคลุมดินมาก ค่า NDWI เป็นค่าที่ได้จากสัดส่วนผลต่างระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 5 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 5 ซึ่งแบนด์ 4 ใช้ตรวจสอบปริมาณมวลชีวภาพได้ ส่วนแบนด์ 5 ให้รายละเอียดปริมาณความชื้นของพืชพรรณและความชื้นของดิน พืชที่มีความเครียดและแร่ธาตุ ค่า NDVI ในเดือนมกราคม พฤษภาคม และธันวาคมมีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.15, -0.11 และ-0.02 ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลที่แตกต่างกับค่า DVI, GNDVI, IPVI และ NDVI

สำหรับ NDWI (normalized difference water index) เป็นดัชนีที่มักถูกใช้ในการตรวจสอบระดับความชื้นในดินหรือในพืชพรรณ Jackson (2004) นิยามตามสมการที่ 11 โดยที่ MIR และ NIR แทนปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากดินหรือพืชพรรณในช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง (Mid-IR หรือ SWIR) ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1.3-3.0 ไมโครเมตร และในช่วงอินฟราเรดใกล้ที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.75-1.30 ไมโครเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้หากมีปริมาณน้ำในดินหรือในพืชพรรณมากทำให้รังสีในช่วง MIR ถูกดูดซับมากตามไปด้วย โดยเฉพาะรังสีช่วงความยาวคลื่น ประมาณ 1.4, 1.97 และ 2.7 ไมโครเมตร ซึ่งเรียกว่า ช่วงการดูดซับของน้ำ (water absorption band) (Bhuiyan, 2004) ทำให้มีปริมาณรังสีสะท้อนออกมาในช่วงนี้น้อยลง ส่งผลให้ดัชนี NDWI ที่คำนวณได้มีค่าสูงขึ้นจากนิยามดังกล่าวค่า NDWI ที่คำนวณได้จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 เท่านั้น (คล้ายกับค่าดัชนีNDVI) โดยค่าที่เป็นบวกและเข้าใกล้ 1 มากกว่า แสดงว่ามีความชุ่มชื้นปรากฏอยู่มากกว่า ส่วนค่าที่ใกล้ศูนย์หรือค่าที่ติดลบแสดงว่ามีความชื้นปรากฏอยู่น้อยหรือไม่มีเลย สำหรับภาพถ่ายดาวเทียมLANDSAT-TM / ETM+ มักนำข้อมูลจากแบนด์ 5 (MIR) ที่ช่วงคลื่น 1.55-1.75 ไมโครเมตร และแบนด์ 4 (NIR) ที่ช่วงคลื่น 0.78-0.90 ไมโครเมตร มาใช้ในการคำนวณหาค่า NDWI ตามสูตร ทั้งนี้ มีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของ NDVI และ NDWI ในการประมาณค่าความชื้นในพืชพรรณ และได้ข้อสรุปที่สอดคล้องกันว่าดัชนี NDWI มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำหรือระดับความชื้นในตัวพืชพรรณมากกว่า NDVI อย่างเห็นได้ชัด เช่น Yilmaz *et al*. (2008) และ Wang *et al*. (2003) เป็นต้น

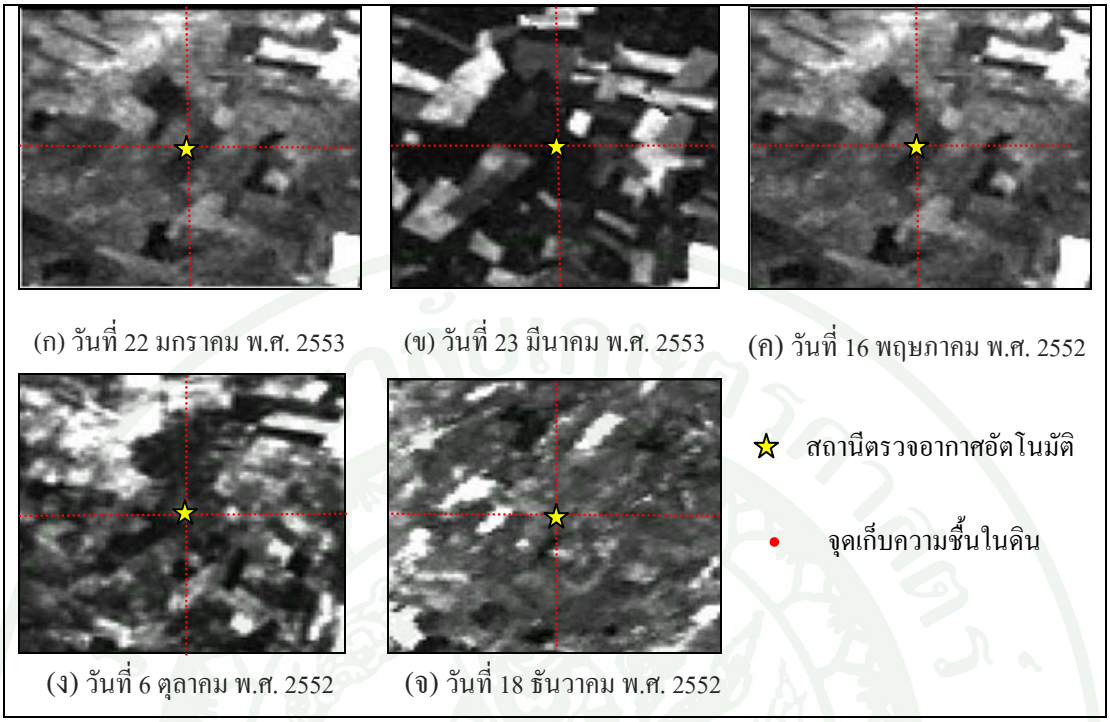
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 19 ภาพ normalized difference water index (NDWI) บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษา

6) ค่า ratio vegetation index (RVI) มีช่วงของค่าข้อมูลระหว่าง 0 ถึง 255 โดยค่าสถิติที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณไร่มันสำปะหลัง พบว่า RVI มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 5.16 ในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นค่าที่สูงน้อย เนื่องจากเป็นระยะลงหัว มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ทำให้การสะท้อนแสงของค่า RVI ในเดือนนี้สูงที่สุด บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษาที่มีค่า RVI สูง หรือเข้าใกล้ 255 ปรากฏเป็นสีขาวซึ่งแสดงว่าเป็นบริเวณที่มีความชื้นมาก เช่นบริเวณที่มีมันสำปะหลังอายุมาก ก็มีกิ่งก้านแผ่ปกคลุมปริมาณมาก (ภาพที่ 20) ส่วน RVI ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.73 ในเดือนมีนาคม ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก เนื่องจากเป็นระยะเตรียมดิน ไถพรวนดิน ทำให้ไม่มีพืชปกคลุมผิวดิน การสะท้อนแสงของค่า RVI จึงต่ำ บริเวณที่มีค่า RVI ต่ำ หรือเข้าใกล้ 0 บริเวณนั้นแสดงออกเป็นสีเทาหรือสีดำ (เพ็ญประไพ, 2552) ซึ่งแสดงถึงบริเวณที่มีมันสำปะหลังที่ไม่สมบูรณ์ มีความชื้นน้อย เช่นมันสำปะหลังที่มีอายุน้อย ๆ ไม่ค่อยมีกิ่งก้านมาก และไม่ค่อยมีบริเวณใบปกคลุมดินมาก ค่า RVI เป็นค่าที่ได้จากสัดส่วนของแบนด์ 4 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

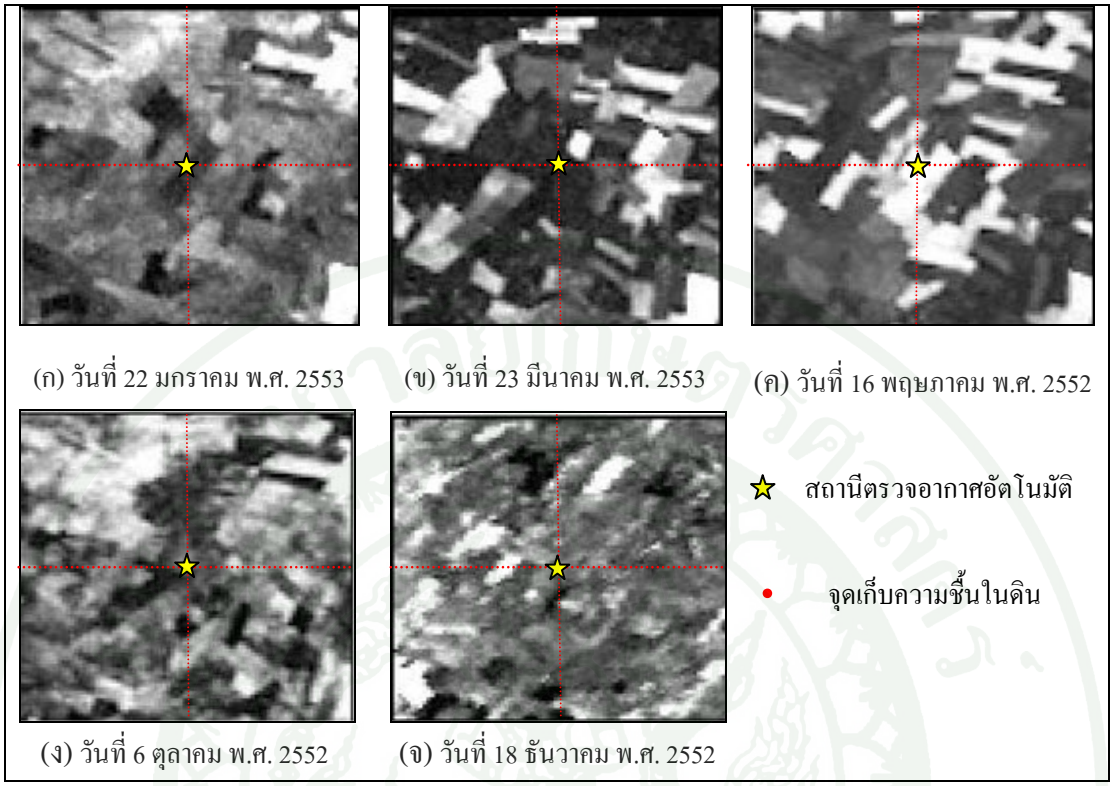


ภาพที่ 20 ภาพ ratio vegetation index (RVI) บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษา

แบนด์ 3 ซึ่งแบนด์ 3 ใช้ตรวจสอบความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ ส่วนแบนด์ 4 ใช้ตรวจสอบปริมาณมวลชีวภาพได้ และค่า NDVI ในเดือนมกราคม พฤษภาคม และธันวาคมมีค่าต่ำลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.07, 1.62 และ0.9 ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลคล้ายกับค่า DVI, GNDVI, NDVI และ IPVI ในทุก ๆ เดือน

7) ค่า transformed normalized difference vegetation index (TNDVI) มีช่วงของค่าข้อมูลระหว่าง 0 ถึง 1.2247 โดยค่าสถิติที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณไร่มันสำปะหลัง พบว่า TNDVI มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.62 ในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นค่าที่สูงปานกลาง เนื่องจากเป็นระยะลงหัว มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ทำให้การสะท้อนแสงของค่า TNDVI ในเดือนนี้สูงที่สุด บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษาที่มีค่า TNDVI สูง หรือเข้าใกล้ 1.2247 ปรากฏเป็นสีขาวซึ่งแสดงว่าเป็นบริเวณที่มีความชื้นมาก เช่นบริเวณที่มีมันสำปะหลังอายุมาก ก็มีกิ่งก้านแผ่ปกคลุมปริมาณมาก (ภาพที่ 21) ส่วน TNDVI ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.1 ในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก เนื่องจากเป็นระยะเตรียมดิน ไถพรวนดิน ทำให้ไม่มีพืชปกคลุมผิวดิน การสะท้อนแสงของค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



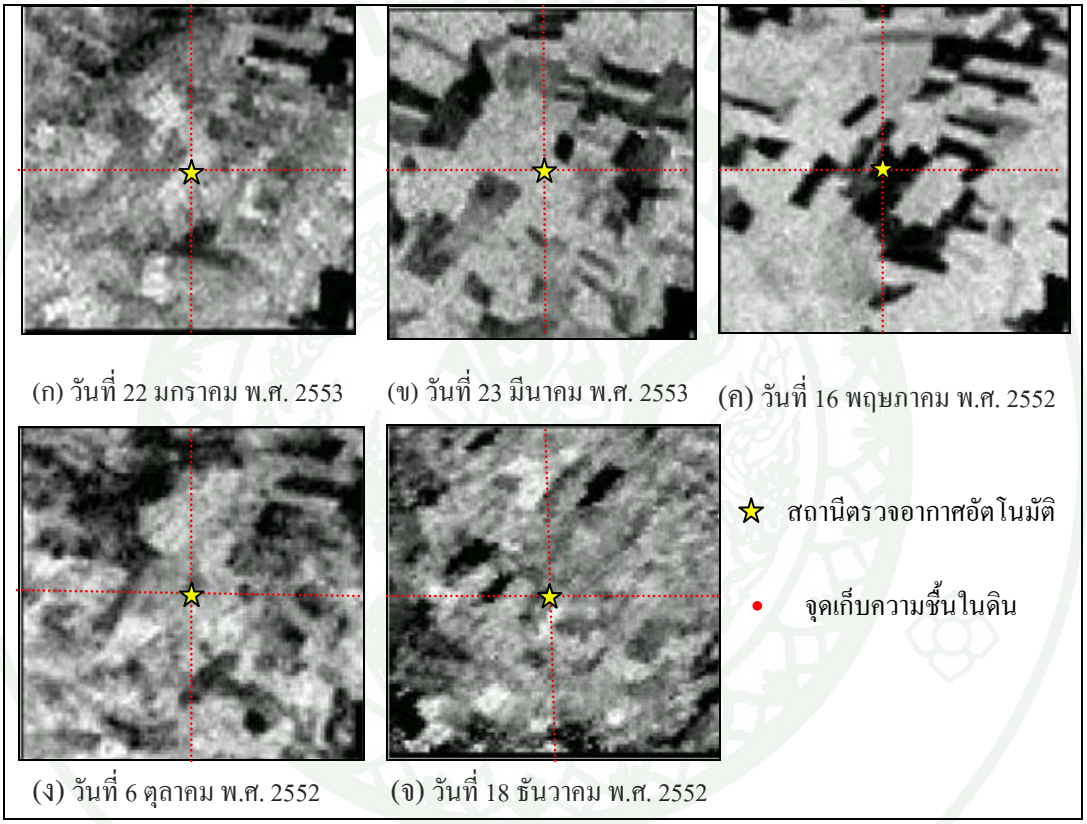
ภาพที่ 21 ภาพ transformed normalized difference vegetation index (TNDVI) บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษา

TNDVI จึงต่ำ บริเวณที่มีค่า TNDVI ต่ำ หรือเข้าใกล้ 0 บริเวณนั้นแสดงออกเป็นสีเทาหรือสีดำ (เพ็ญประไพ, 2552) ซึ่งแสดงถึงบริเวณที่ มีมันสำปะหลังที่ไม่สมบูรณ์ มีความชื้นน้อย เช่นมันสำปะหลังที่มีอายุน้อย ๆ ไม่ค่อยมีกิ่งก้านมาก และไม่ค่อยมีบริเวณใบปกคลุมดินมาก ค่า TNDVI เป็นค่าที่ได้จากการถอดรากที่สองของสัดส่วนของ ผลต่างระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 3 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 3 แล้วรวมกับ 0.5 ซึ่งแบนด์ 3 ใช้ตรวจสอบความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ ส่วนแบนด์ 4 ใช้ตรวจสอบปริมาณมวลชีวภาพได้ และค่า NDVI ในเดือนมกราคมพฤษภาคม และธันวาคมมีค่าต่ำลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.54, 0.38 และ0.14 ตามลำดับ และแสดงผลคล้ายกับค่า DVI, GNDVI, NDVI, RVI และ IPVI ในทุก ๆ เดือน

8) ค่า vegetation index (VI) มีช่วงของค่าข้อมูลระหว่าง -1 ถึง +1 โดยค่าสถิติที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณไร่มันสำปะหลัง พบว่า VI มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ -0.54 ในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก เนื่องจากเป็นระยะลงหัว มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ทำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ให้การสะท้อนแสงของค่า VI ในเดือนนี้ต่ำที่สุด บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษาที่มีค่า VI ต่ำ หรือเข้าใกล้ -1 ปรากฏเป็นสีเทาหรือสีดำซึ่งแสดงว่าเป็นบริเวณที่มีความชื้นมาก เช่นบริเวณที่มีมันสำปะหลังอายุมาก ก็มีกิ่งก้านแผ่ปกคลุมปริมาณมาก (ภาพที่ 22) ส่วน VI ที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ -0.01 ในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นค่าที่สูงน้อยมาก เนื่องจากเป็นระยะเตรียมดิน ไถพรวนดิน ทำให้ไม่มีพืชปกคลุมผิวดิน การสะท้อนแสงของ



ภาพที่ 22 ภาพ vegetation index (VI) บริเวณไร่มันสำปะหลังที่ศึกษา

ค่า VI จึงสูง บริเวณที่มีค่า VI สูง หรือเข้าใกล้ 1 บริเวณนั้นแสดงออกเป็นสีขาวซึ่งแสดงถึงบริเวณที่มีมันสำปะหลังที่ไม่สมบูรณ์ มีความชื้นน้อยเช่นมันสำปะหลังที่มีอายุน้อย ๆ ไม่ค่อยมีกิ่งก้านมากและไม่ค่อยมีบริเวณใบปกคลุมดินมาก ค่า VI เป็นค่าที่ได้จากสัดส่วนผลต่างระหว่าง แบนด์ 7 กับแบนด์ 5 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 7 กับแบนด์ 5 ซึ่งแบนด์ 5 ให้รายละเอียดปริมาณความชื้นของพืชพรรณและความชื้นของดิน พืชที่มีความเครียดและแร่ธาตุ ส่วนแบนด์ 7 มีศักยภาพในการจำแนกชนิดหินในการหาแหล่งแร่ธาตุ จำแนกชนิดของดิน และจำแนกบริเวณหรือแหล่งน้ำที่มีการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ ค่า VI ในเดือนมกราคม พฤษภาคม และธันวาคมมีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.45, -0.32 และ-0.03 ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลคล้ายกับค่า VI ในทุกเดือน

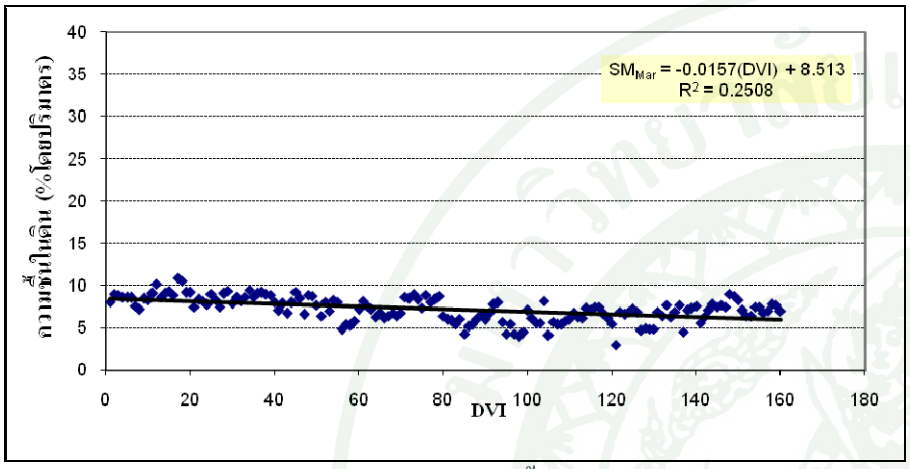
4. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช กับค่าดัชนีพืชพรรณ

การเจริญเติบโตของพืชในแต่ละระยะมีลักษณะของพืชพรรณที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น เวลา ลักษณะเม็ดดิน ปริมาณฝน เป็นต้น ซึ่งมีผลทำให้มีการสะท้อนแสงของคลื่นที่แตกต่างกัน ดัชนีพืชพรรณที่ใช้ในการประเมินค่าความชื้นในดิน เป็นดัชนีที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของข้อมูลให้แสดงความชัดเจนมากขึ้น เนื่องจากความชื้นเป็นปรากฏการณ์ที่มีความซับซ้อน จึงเป็นไปได้ยากที่จะใช้ดัชนีพืชพรรณเพียงดัชนีเดียวให้สามารถครอบคลุมการศึกษาได้ทั้งปริมาณ ความหนาแน่น รวมถึงความเป็นไปได้ของผลกระทบที่มีต่อกลุ่มต่าง ๆ ได้เพียงพอ (Heim, 2002) ดังนี้

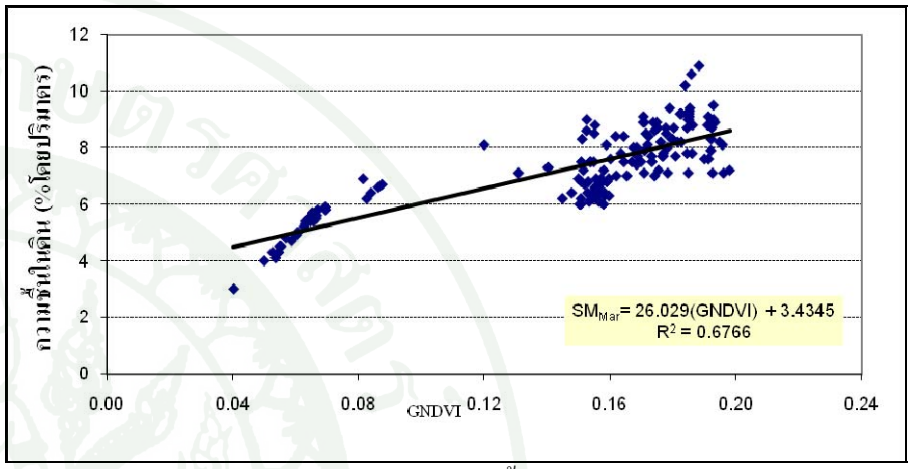
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะเตรียมดินกับค่าดัชนีพืชพรรณ

จากการศึกษา พบว่าค่า NDVI และ TNDVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะเตรียมดินสูงที่สุดเท่ากัน (ภาพที่ 23) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.78 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากค่า NDVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 และผลรวมระหว่าง แบนด์4 กับแบนด์ 3 และค่า TNDVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากรากที่สองของสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 และผลรวมระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 แล้วรวมกับ 0.5 ค่า NDVI และค่า TNDVI นั้นมีความสัมพันธ์กับแบนด์ 3 ใช้ตรวจสอบความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ มีความไวต่อการมีและไม่มีคลอโรฟิลล์ และแสดงดินประเภทต่าง ๆ ส่วนแบนด์ 4 ใช้ศึกษาความแตกต่างของพื้นดินส่วนที่เป็นน้ำและส่วนที่ไม่ใช่น้ำได้ โดยค่า NDVI และค่า TNDVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะเตรียมดินค่อนข้างมาก เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่มีการไถพรวนดิน เปิดหน้าดิน ทำให้บริเวณนี้เป็นบริเวณที่ไม่มีน้ำ ทำให้ค่าการสะท้อนแสงเกิดจากดินโดยตรง ซึ่งแบนด์ 3 และแบนด์ 4 เป็นแบนด์ที่มีความสัมพันธ์ทั้งต่อดินและพืช แต่ไม่สามารถสะท้อนน้ำได้ (Keith, 1995) ส่วนค่า DVI มีความสัมพันธ์กับความชื้น

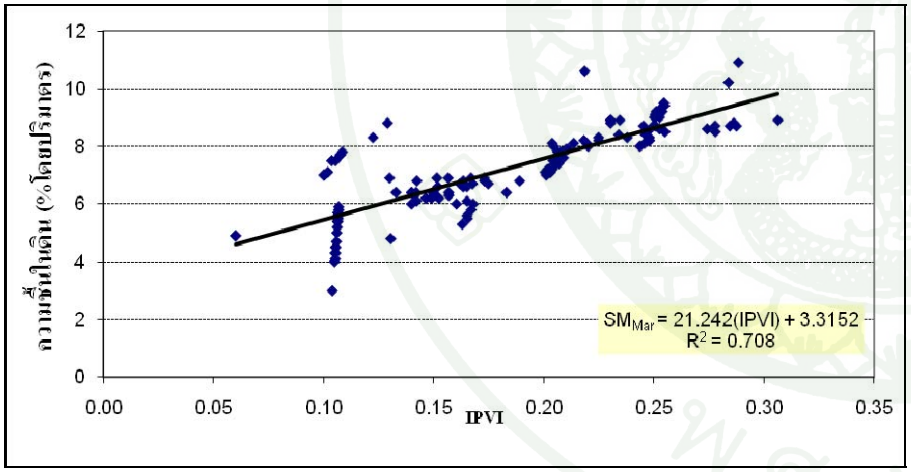
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



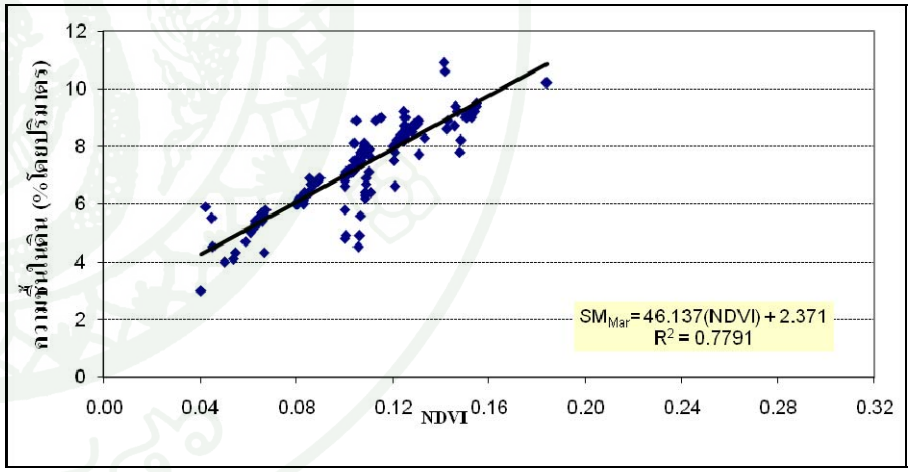
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า DVI



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI



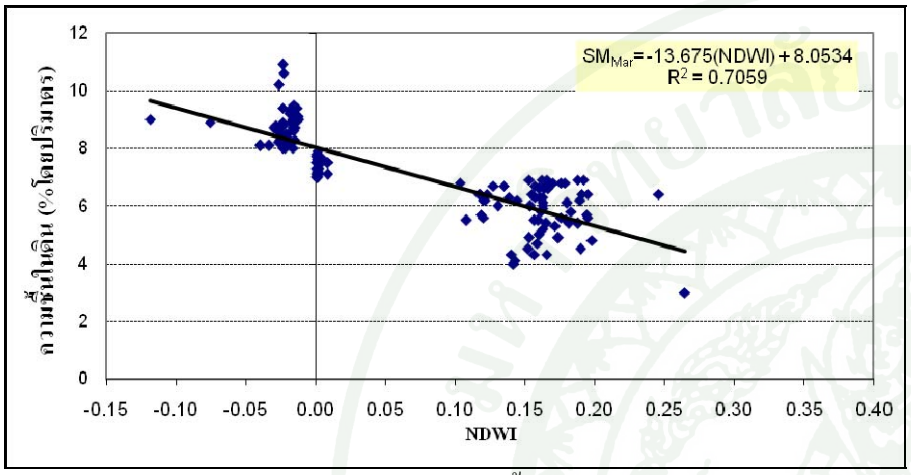
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า IPVI



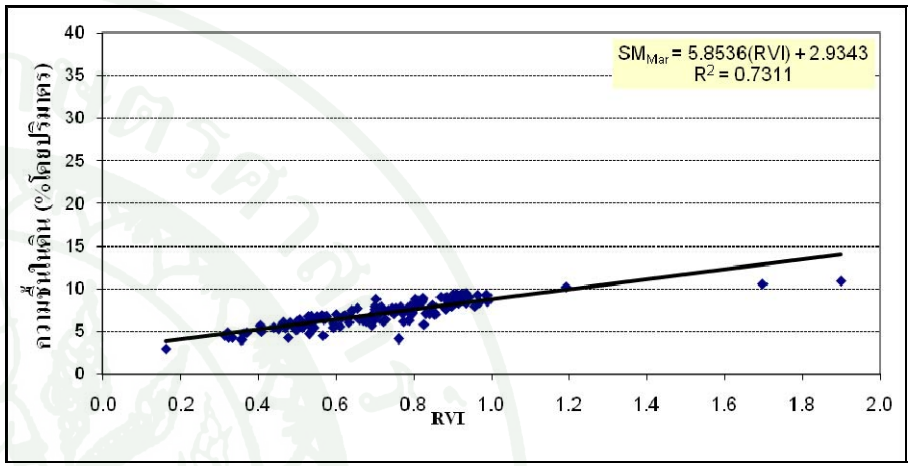
(ง) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI

ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะเตรียมดินกับค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม

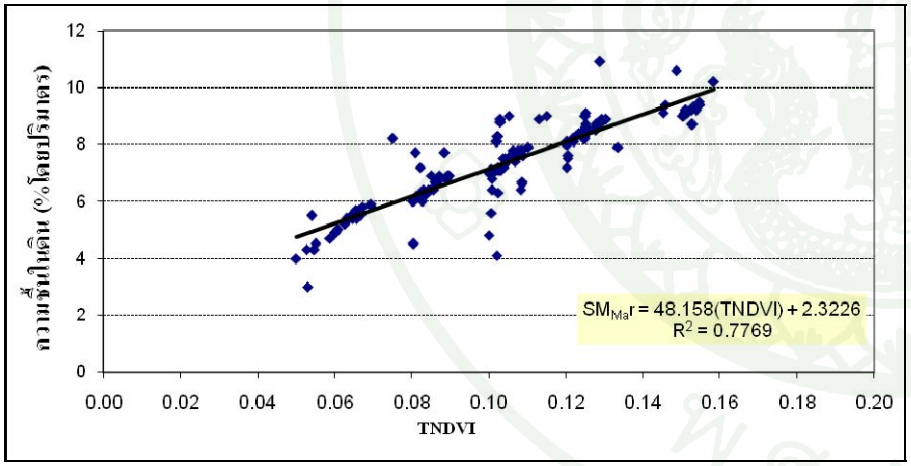
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



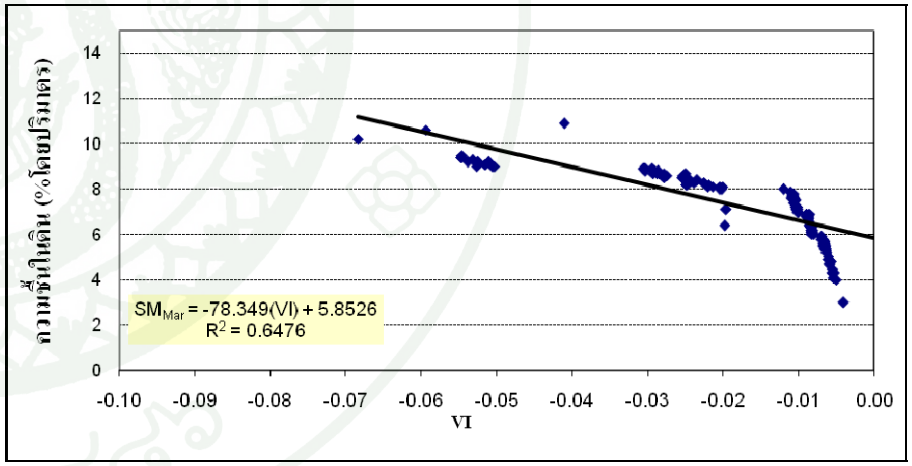
(จ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDWI



(ฉ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI



(ช) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า TNDVI



(ซ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI

ภาพที่ 23 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในดินในระยะเตรียมดินต่ำที่สุด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.25 เนื่องจากค่า DVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ซึ่งเป็นการนำค่าของแต่ละแบนด์มาลบกันทำให้ไม่ค่อยเห็นความสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืช จึงส่งผลทำให้ค่า DVI มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินต่ำ และค่า GNDVI, IPVI และRVI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.68, 0.71 และ 0.73 ตามลำดับ ส่วนค่า NDWI และVI มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินแบบผกผัน และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.71 และ 0.65 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า NDWI และVI มีความสัมพันธ์กับแบนด์ 4, 5 และ7 ซึ่งมีความกี่ยวข้องระหว่างพืช ดิน และน้ำด้วย

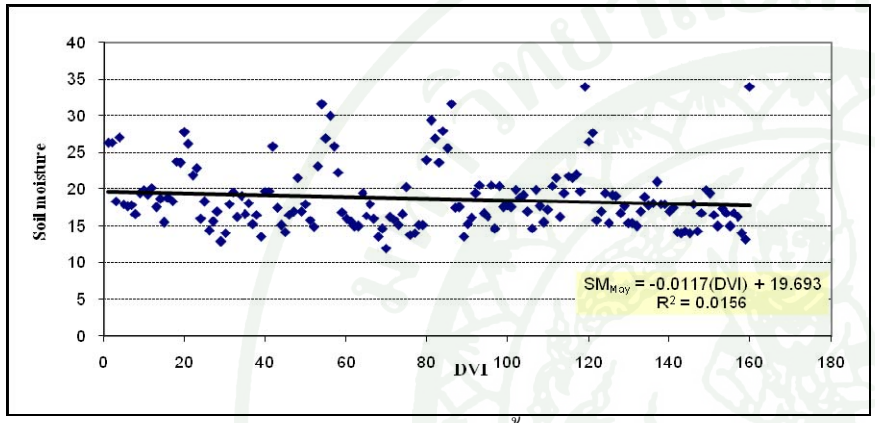
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะเพาะปลูกกับค่าดัชนีพืชพรรณ

จากการศึกษา พบว่าค่า NDVI และ TNDVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะเพาะปลูกสูงที่สุดเท่ากัน มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.78 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง การที่ค่า NDVI และค่า TNDVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะเพาะปลูกค่อนข้างมาก เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่เริ่มมีการเพาะปลูกมันสำปะหลังแบบปักตรง ทำให้บริเวณเริ่มมีก้านของมันสำปะหลังปักอยู่เป็นแถว ๆ ทำให้ค่าการสะท้อนเริ่มเกิดจากดินและท่อนมันสำปะหลัง ซึ่งแบนด์ 3 และแบนด์ 4 เป็นแบนด์ที่มีความสัมพันธ์ทั้งต่อดินและพืช แต่จะไม่สามารถสะท้อนน้ำได้ (Keith, 1995) ส่วนค่า DVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะเพาะปลูกต่ำที่สุด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.02 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก เนื่องจากค่า DVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ซึ่งเป็นการนำค่าของแต่ละแบนด์มาลบกันทำให้ไม่ค่อยเห็นความสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืช จึงส่งผลทำให้ค่า DVI มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินต่ำ และค่า GNDVI, IPVI และRVI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.73, 0.68 และ 0.45 ตามลำดับ ส่วนค่า NDWI และVI มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินแบบผกผัน และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.32 และ 0.74 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก ค่า NDWI และVI มีความสัมพันธ์กับแบนด์ 4, 5 และ7 ซึ่งมีความกี่ยวข้องระหว่างพืชพรรณ ดิน และน้ำด้วยเช่นกัน (ภาพที่ 24)

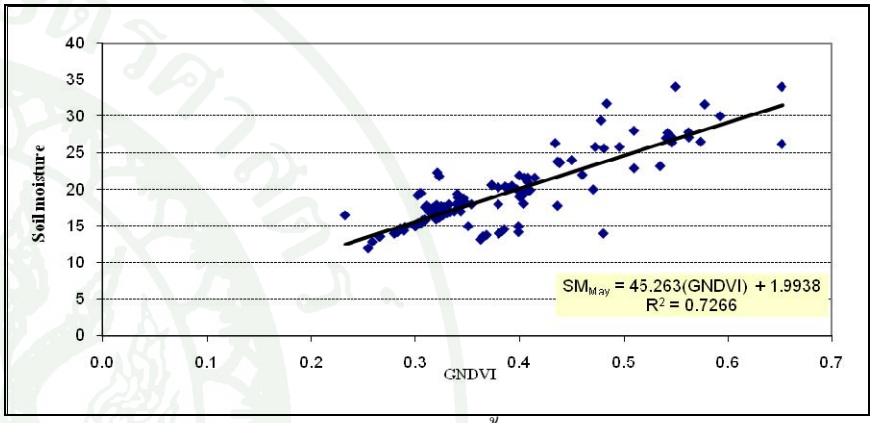
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะลงหัวกับค่าดัชนีพืชพรรณ

จากการศึกษา พบว่าค่า NDVI และ TNDVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะลงหัวสูงที่สุดเท่ากัน มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.78 และ 0.76 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง การที่ค่า NDVI และค่า TNDVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะลงหัว

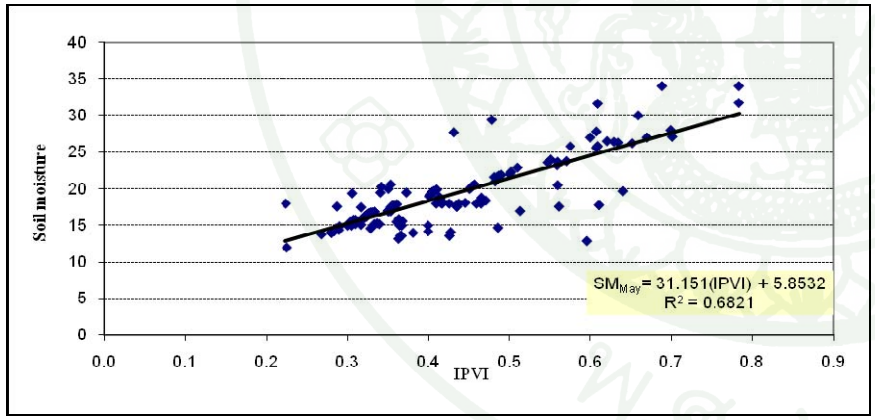
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



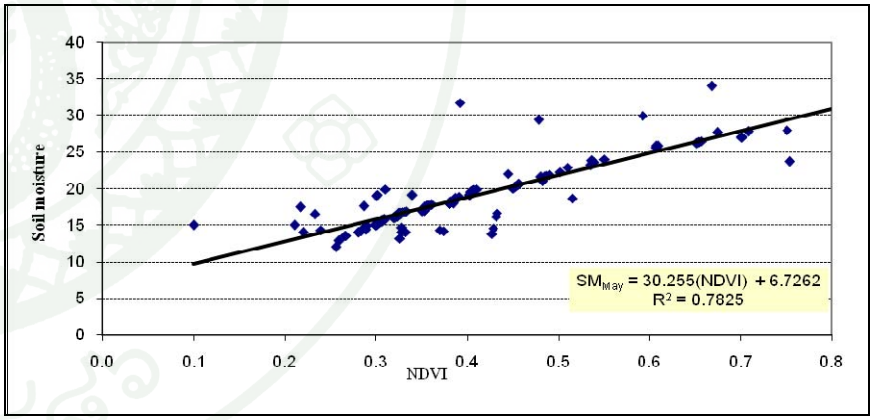
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า DVI



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI



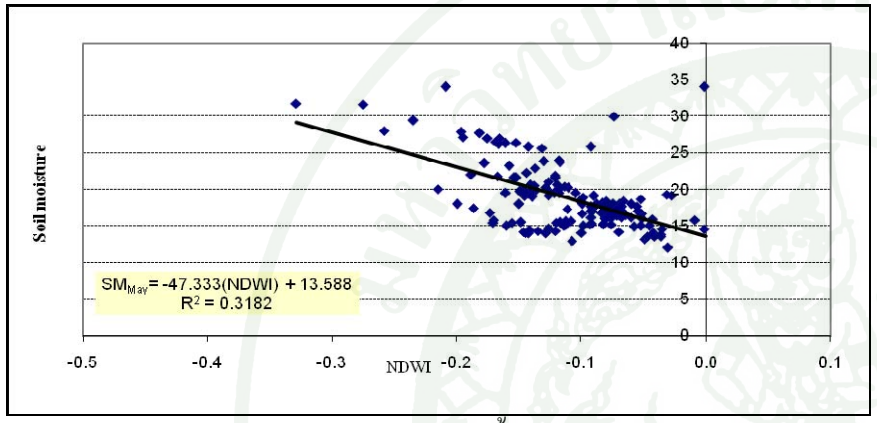
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า IPVI



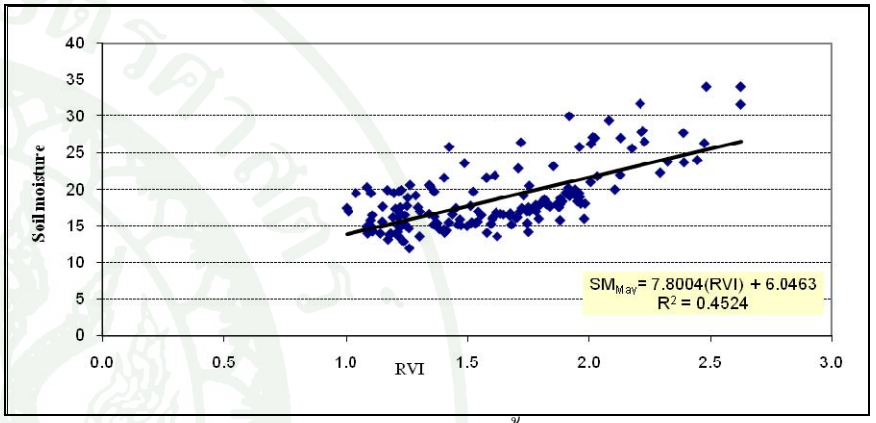
(ง) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI

ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะเพาะปลูกกับค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม

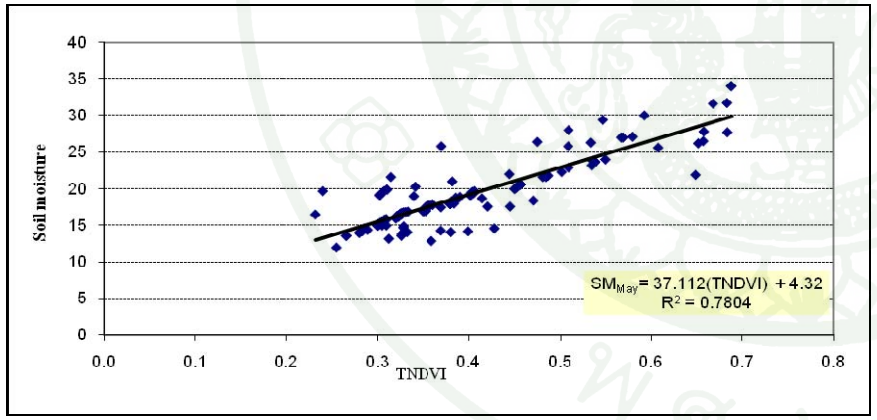
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



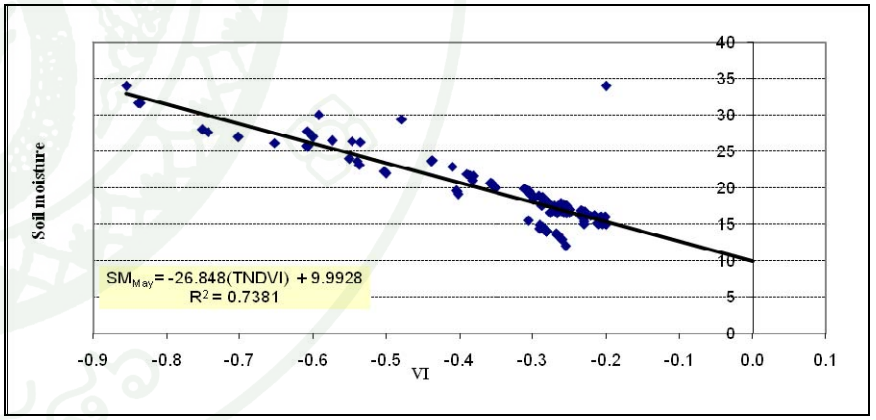
(จ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDWI



(ฉ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI



(ช) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า TNDVI



(ซ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI

ภาพที่ 24 (ต่อ)

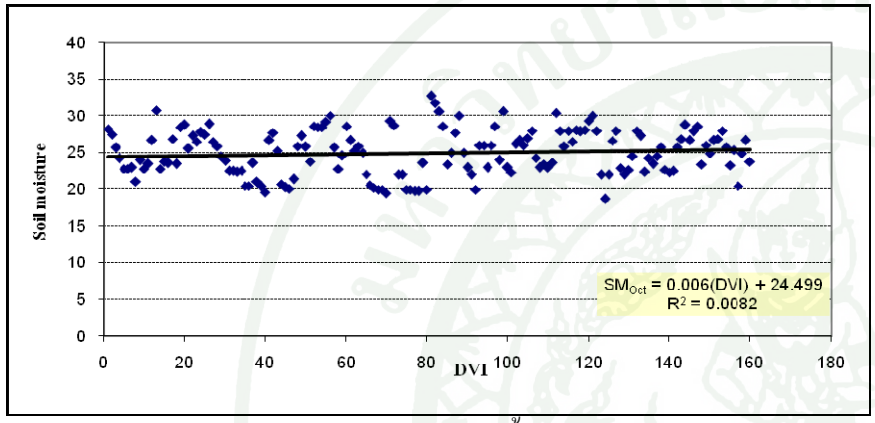
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่อนข้างมาก เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตมาก มีบริเวณผิวใบปกคลุมผิวดิน ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีบริเวณผิวใบปกคลุมหน้าดินมากความชื้นก็มากด้วย เนื่องจากดินไม่ได้สัมผัสกับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งแบนด์ 3 และแบนด์ 4 เป็นแบนด์ที่มีความสัมพันธ์ทั้งต่อดินและพืช (Keith, 1995) ส่วนค่า DVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะลงหัวต่ำที่สุด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.01 เนื่องจากค่า DVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ซึ่งเป็นการนำค่าของแต่ละแบนด์มาลบกันทำให้ไม่ค่อยเห็นความสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืช จึงส่งผลทำให้ค่า DVI มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินต่ำ และค่า GNDVI, IPVI และ NDWI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.68, 0.75 และ 0.73 ตามลำดับ ส่วนค่า RVI และVI มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินแบบผกผัน และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.66 และ 0.73 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงปานกลาง เนื่องจาก ค่า RVI และVI มีความสัมพันธ์กับแบนด์ 3, 4, 5 และ7 ซึ่งมีความกี่ยวข้องระหว่างพืชพรรณ ดิน และน้ำด้วยเช่นกัน (ภาพที่ 25)

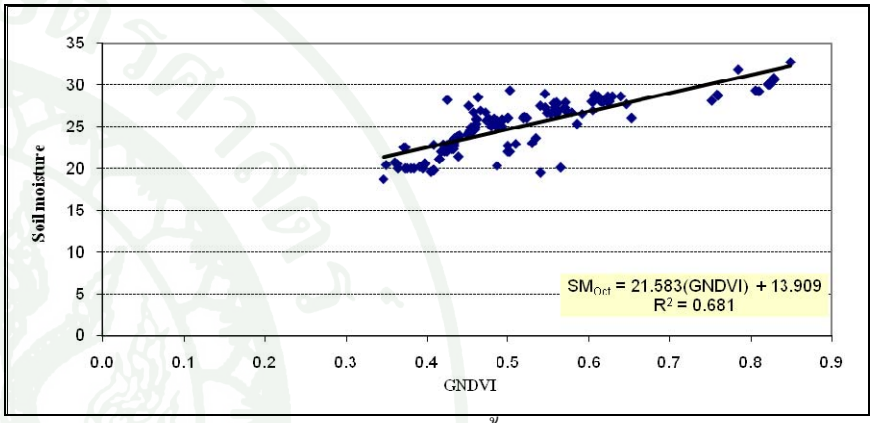
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะก่อนเก็บเกี่ยวกับค่าดัชนีพืชพรรณ

จากการศึกษา พบว่าค่า NDVI และ TNDVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะก่อนเก็บเกี่ยวสูงที่สุดใกล้เคียงกัน มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.78 และ 0.77 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง และค่า VI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะก่อนเก็บเกี่ยวแบบผกผันสูงเช่นกัน มีค่า R^2 เท่ากับ 0.77 เป็นค่าค่อนข้างสูงและมีค่าใกล้เคียงกับค่า NDVI และ TNDVI การที่ค่า NDVI และค่า TNDVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะก่อนเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่มันสำปะหลังในระยะนี้เกิดโรคเพลี้ยแป้ง ระบาดทั่วบริเวณ ทำให้มันสำปะหลังมีการยืนต้นตาย ความชื้นจึงมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับระยะเพาะปลูก แสดงว่าบริเวณที่ไม่มีบริเวณผิวใบปกคลุมหน้าดินมากความชื้นจึงน้อยด้วย เนื่องจากดินสัมผัสกับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งแบนด์ 3 และแบนด์ 4 เป็นแบนด์ที่มีความสัมพันธ์ทั้งต่อดินและพืช (Keith, 1995) ส่วนค่า DVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะลงหัวต่ำที่สุด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.01 เป็นค่าที่น้อยมาก เนื่องจากค่า DVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ซึ่งเป็นการนำค่าของแต่ละแบนด์มาลบกันทำให้ไม่ค่อยเห็นความสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืช จึงส่งผลทำให้ค่า DVI มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินต่ำ และค่า GNDVI, IPVI และ NDWI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.23, 0.23 และ 0.74 ตามลำดับ ส่วนค่า RVI มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินแบบผกผัน และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.35 เป็นค่าที่น้อยมาก เนื่องจาก ค่า RVI และVI มีความสัมพันธ์กับแบนด์ 3, 4, 5 และ7 ซึ่งมีความกี่ยวข้องระหว่างพืชพรรณ ดิน และน้ำด้วยเช่นกัน (ภาพที่ 26)

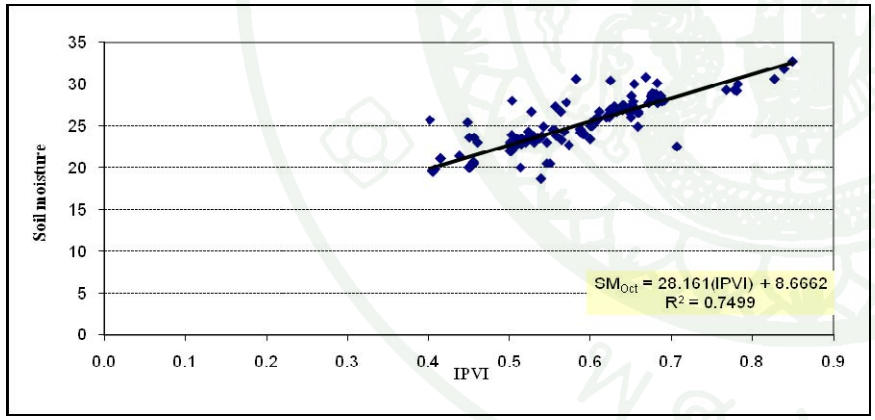
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



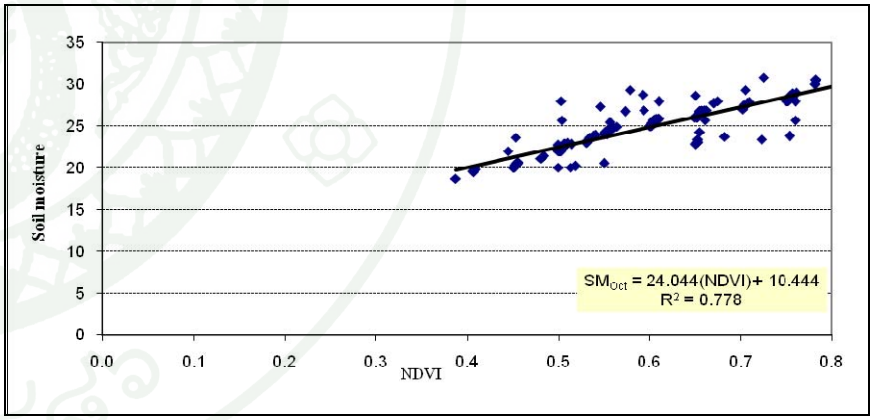
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า DVI



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI



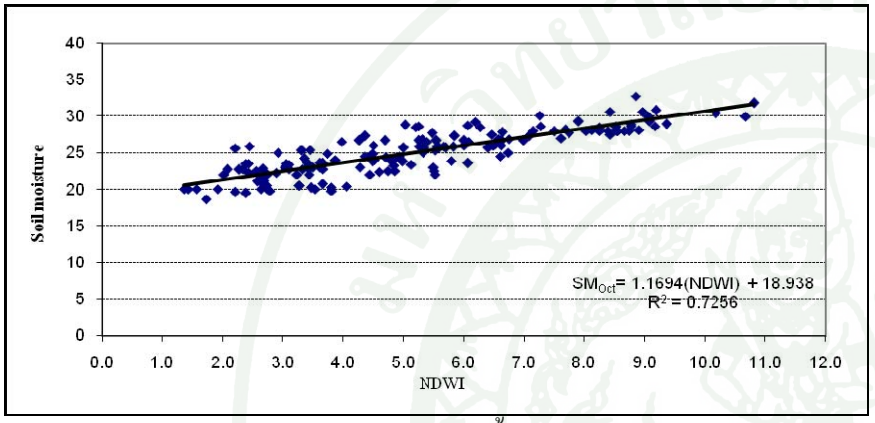
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า IPVI



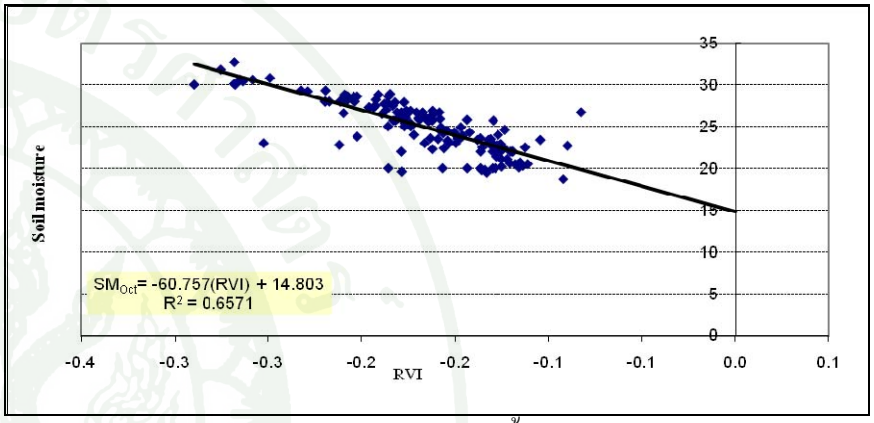
(ง) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI

ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะลงหัวกับค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม

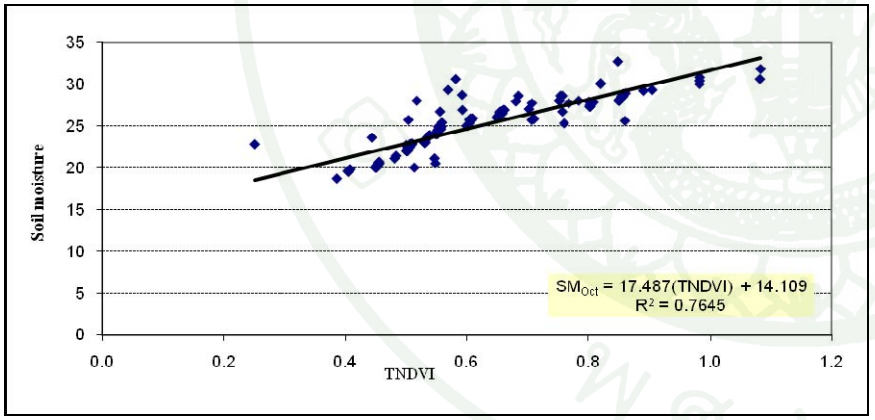
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



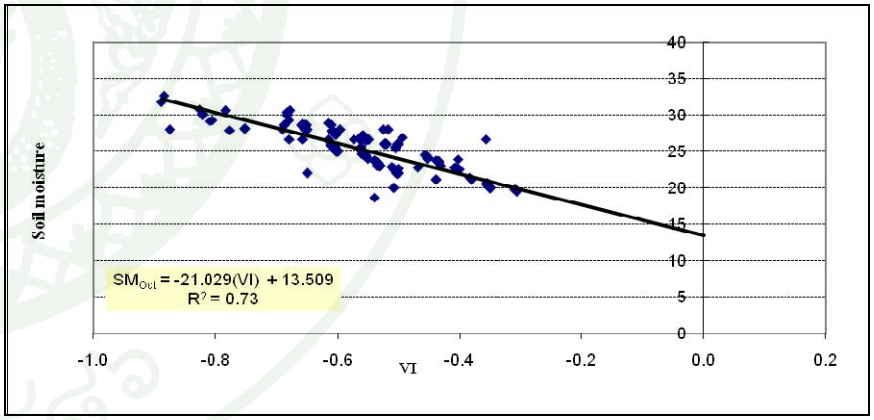
(จ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDWI



(ฉ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI



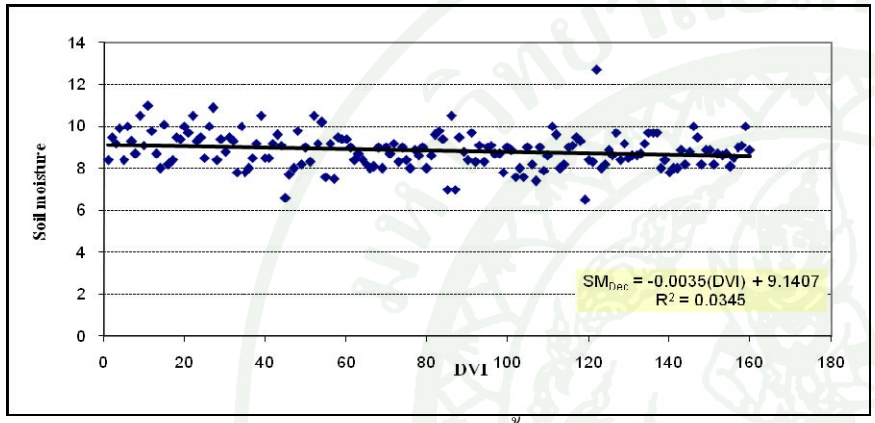
(ช) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า TNDVI



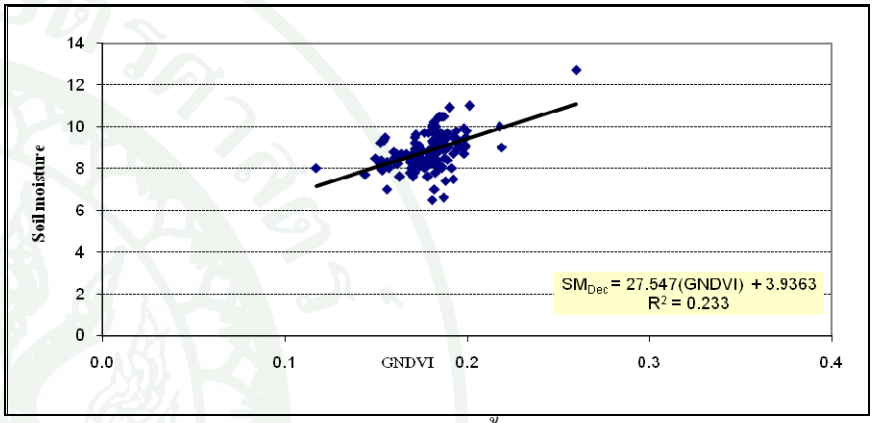
(ซ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI

ภาพที่ 25 (ต่อ)

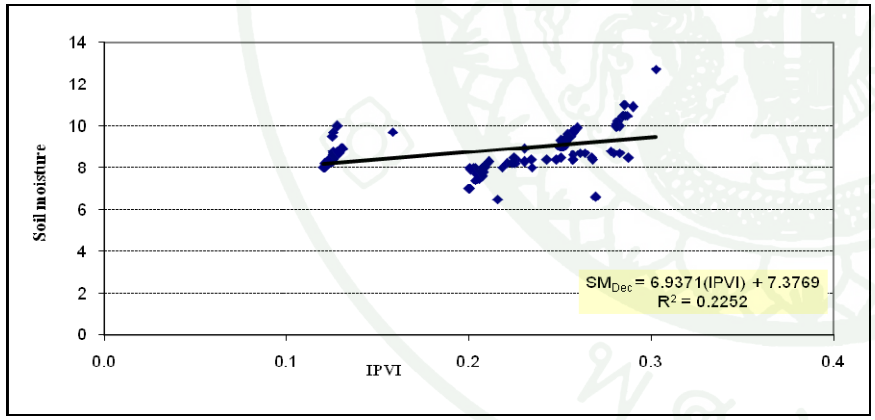
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



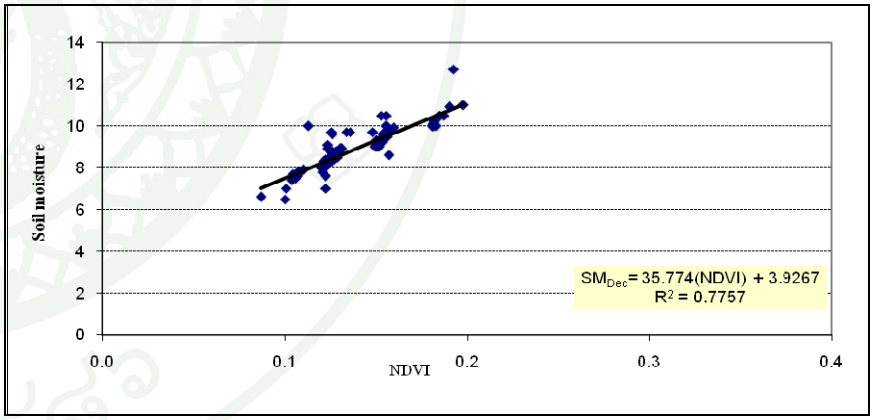
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า DVI



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI



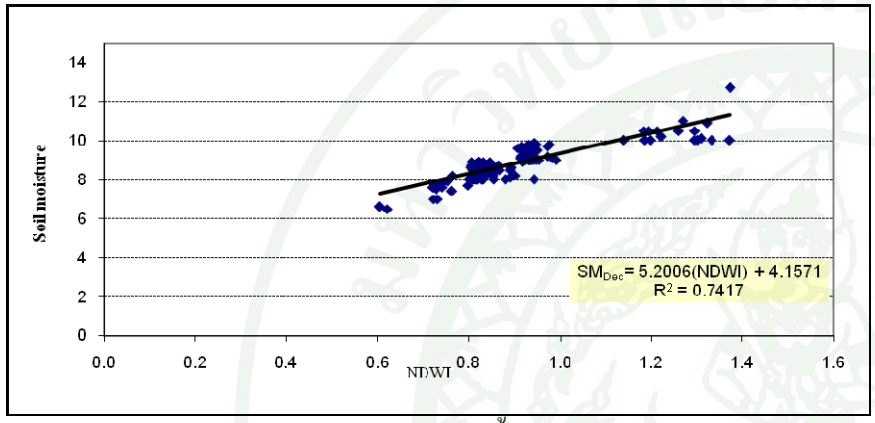
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า IPVI



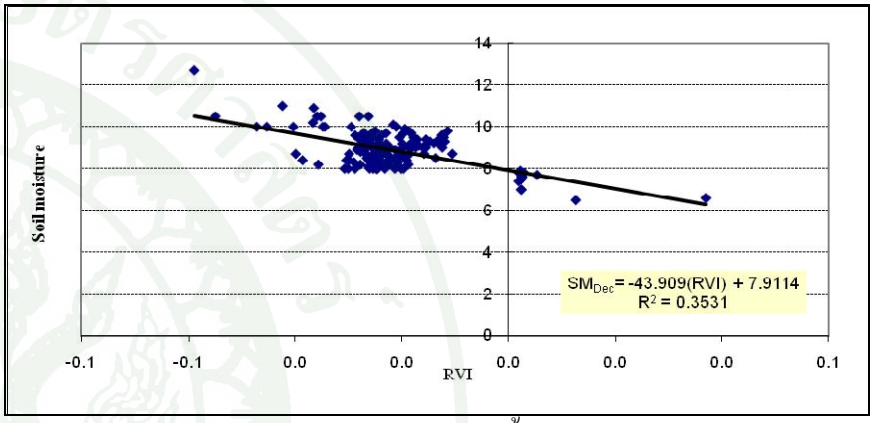
(ง) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI

ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะก่อนเก็บเกี่ยวกับค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม

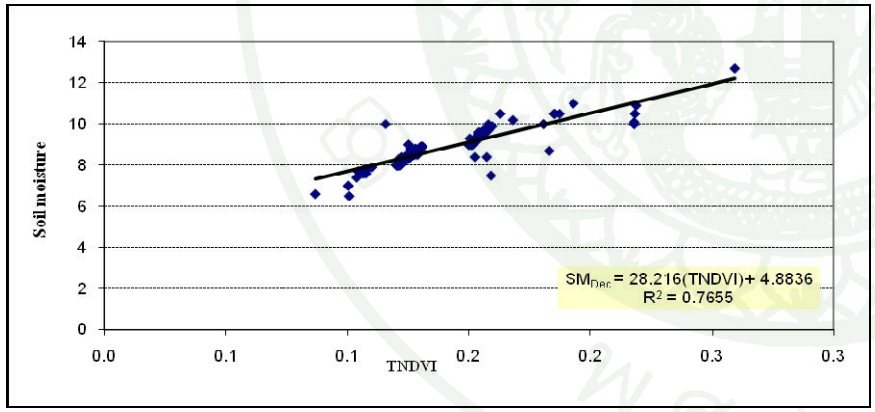
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



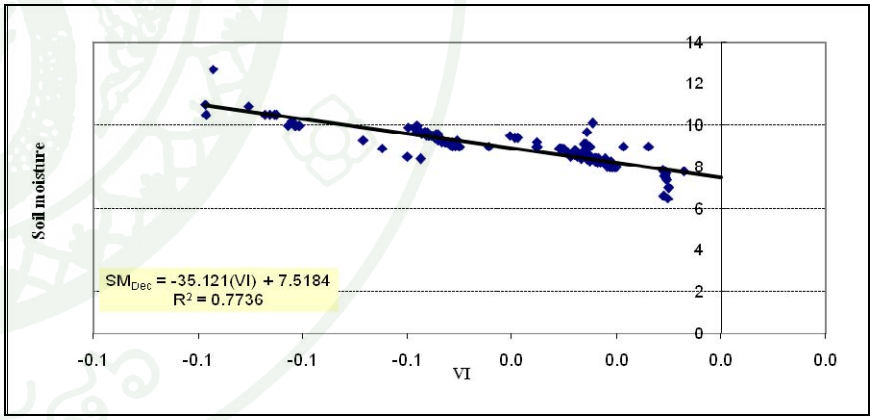
(จ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDWI



(ฉ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI



(ช) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า TNDVI



(ซ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI

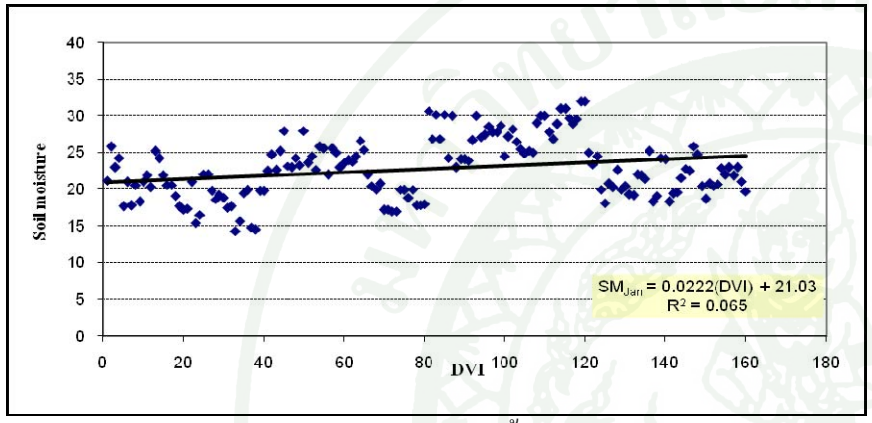
ภาพที่ 26 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

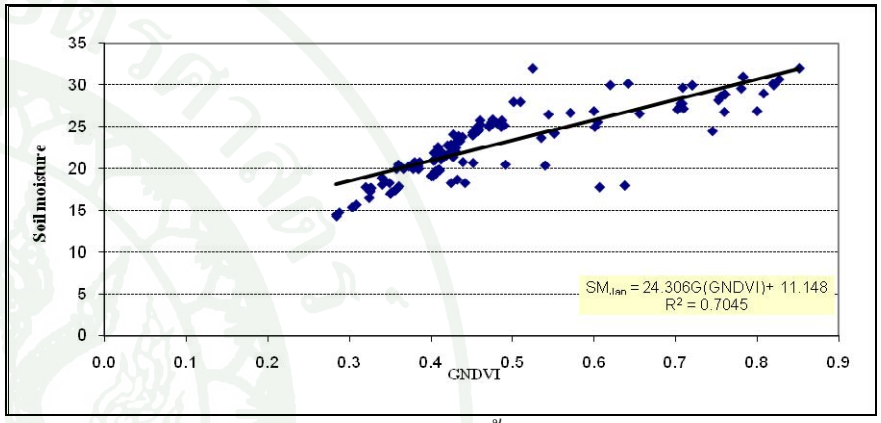
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะเก็บเกี่ยวกับค่าดัชนีพืชพรรณ

ผลการศึกษา พบว่าค่า NDVI และ TNDVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะเก็บเกี่ยวสูงที่สุดใกล้เคียงกัน มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.79 และ 0.78 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าค่อนข้างมาก และค่า VI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะเก็บเกี่ยวแบบผกผันสูงเช่นกัน มีค่า R^2 เท่ากับ 0.78 การที่ค่า NDVI และค่า TNDVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่มันสำปะหลังมีการเริ่มงอกและเจริญของใบอีกครั้ง เนื่องจากระยะก่อนเก็บเกี่ยวเกิดโรคเพลี้ยแป้ง ระบาดทั่วบริเวณ ทำให้มันสำปะหลังมีการยืนต้นตาย ใบร่วงหล่นทำให้ไม่มีใบ พอระยะนี้ได้น้ำฝน จึงมีการแตกใบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นในดินก็เริ่มสูงขึ้นด้วน ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีบริเวณผิวใบปกคลุมหน้าดินมากความชื้นจึงมากขึ้นด้วย เนื่องจากดินไม่ได้สัมผัสกับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งแบนด์ 3 และแบนด์ 4 เป็นแบนด์ที่มีความสัมพันธ์ทั้งต่อดิน และพืช (Keith, 1995) ส่วนค่า DVI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในระยะลงหัวต่ำที่สุด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.02 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก เนื่องจากค่า DVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ซึ่งเป็นการนำค่าของแต่ละแบนด์มาลบกันทำให้ไม่ค่อยเห็นความสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืช จึงส่งผลทำให้ค่า DVI มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินต่ำ และค่า GNDVI, IPVI และ NDWI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7, 0.75 และ 0.71 ตามลำดับ ส่วนค่า RVI มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินแบบผกผัน และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.67 ซึ่งมีมีค่าปานกลาง เนื่องจาก ค่า RVI และVI มีความสัมพันธ์กับแบนด์ 3, 4, 5 และ7 ซึ่งมีความกี่ยวข้องระหว่างพืชพรรณ ดิน และน้ำด้วยเช่นกัน (ภาพที่ 27)

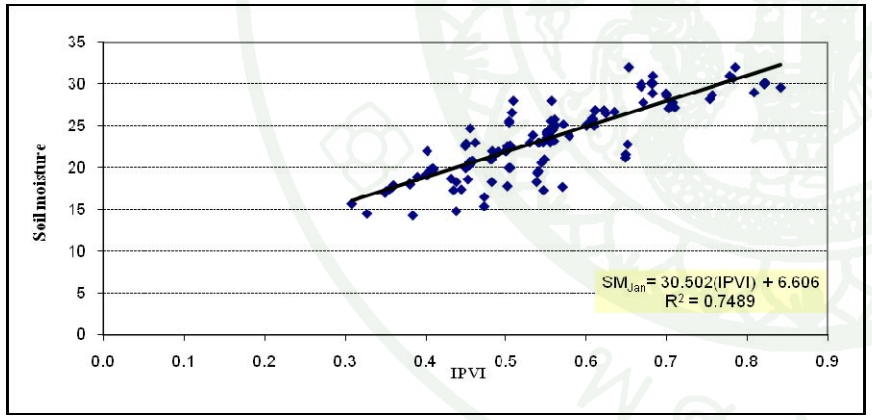
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



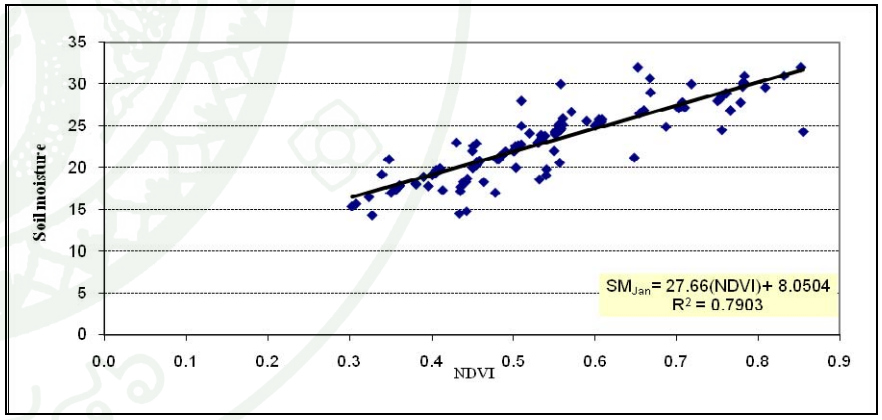
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า DVI



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI



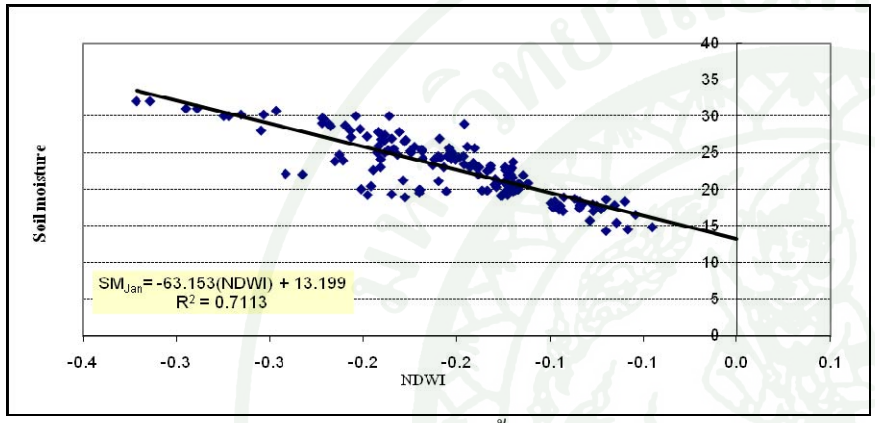
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า IPVI



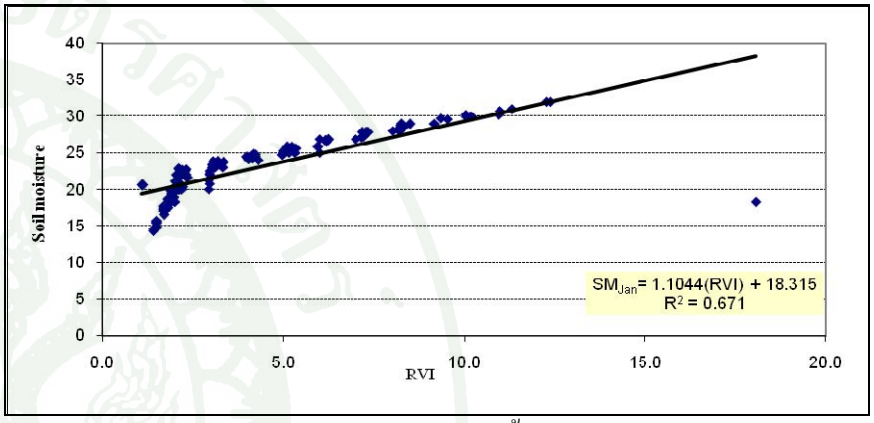
(ง) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI

ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินระยะเก็บเกี่ยวกับค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม

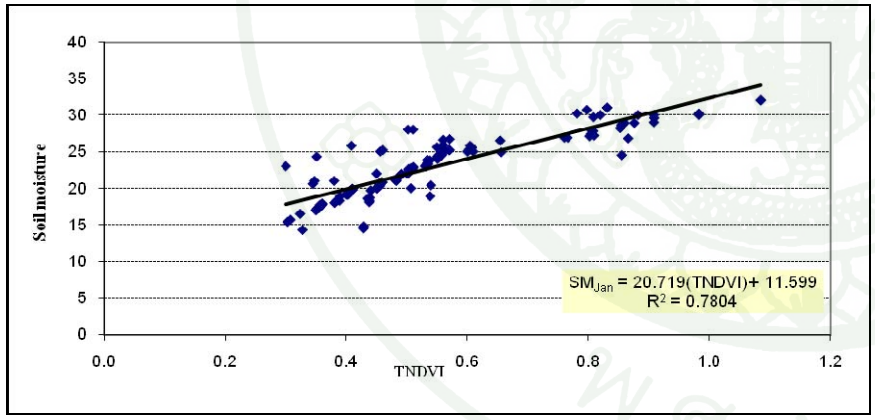
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



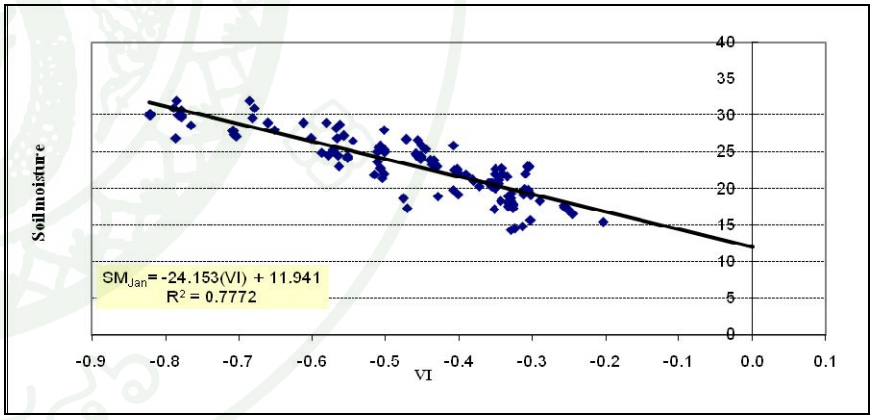
(จ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDWI



(ฉ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI



(ช) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า TNDVI



(ซ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI

ภาพที่ 27 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนี พบว่า DVI, GNDVI, IPVI, NDVI, TNDVI และ VI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.94, 0.9, 0.91, 0.95, 0.92 และ 0.95 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูง และ RVI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.49 ซึ่งมีค่าปานกลาง ส่วน NDWI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.002 ซึ่งมีค่าต่ำมาก โดยค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชมีความสัมพันธ์กับค่า NDVI สูงที่สุด ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.95 ส่วนความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชมีที่ความสัมพันธ์ต่ำที่สุด คือค่า NDWI โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.002 ดังภาพที่ 28 ซึ่งแสดงผลความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนี ดังนี้

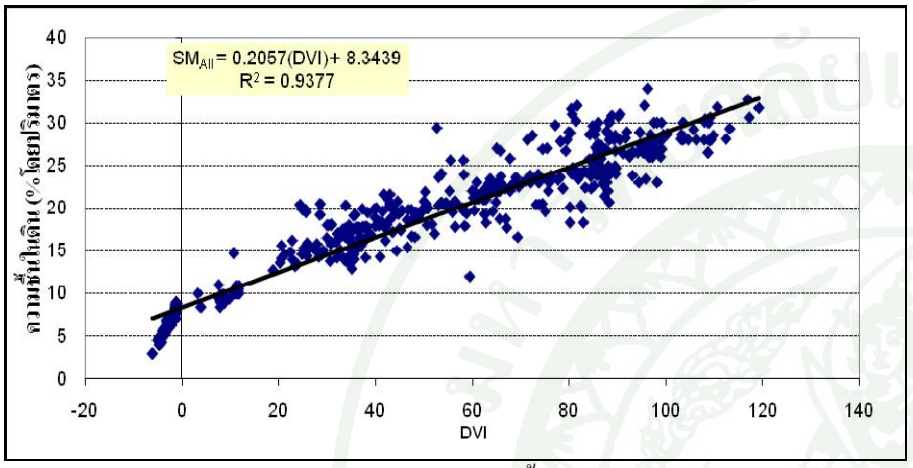
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า DVI

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า DVI (ภาพที่ 28 ก) พบว่า สมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า DVI คือ SM_{All} = 8.34+0.21DVI โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.94 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง และค่า DVI เป็นดัชนีที่ได้จากการคำนวณของผลต่างระหว่างแบนด์ 3 และแบนด์ 4 ดังนั้นค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชที่คำนวณได้จากสมการนี้ มีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับค่า DVI นั่นคือ ค่าความชื้นในดินที่คำนวณได้มีค่ามาก จากผลการศึกษา พบว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 3 มีค่ามากกว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 4 จึงทำให้ค่า DVI มีค่าสูงตลอดช่วงการศึกษา

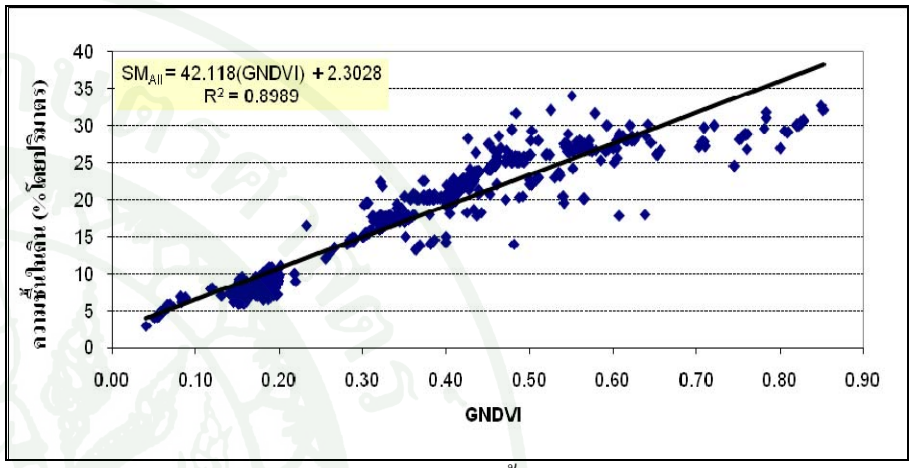
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า GNDVI

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า GNDVI (ภาพที่ 28 ข) พบว่า สมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI คือ SM_{All} = 2.3+42.12GNDVI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง

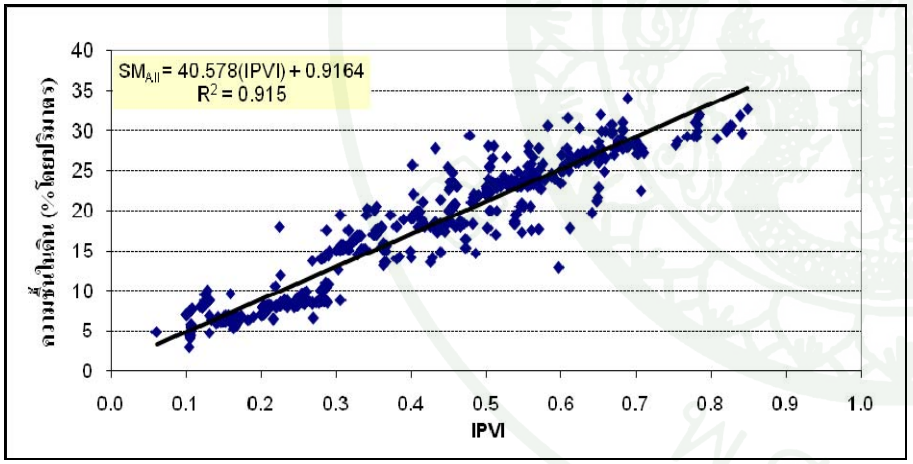
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



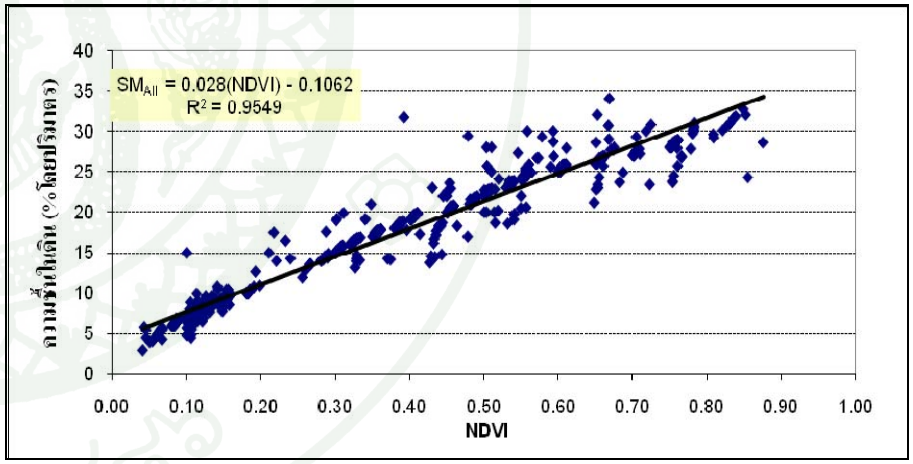
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า DVI



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI



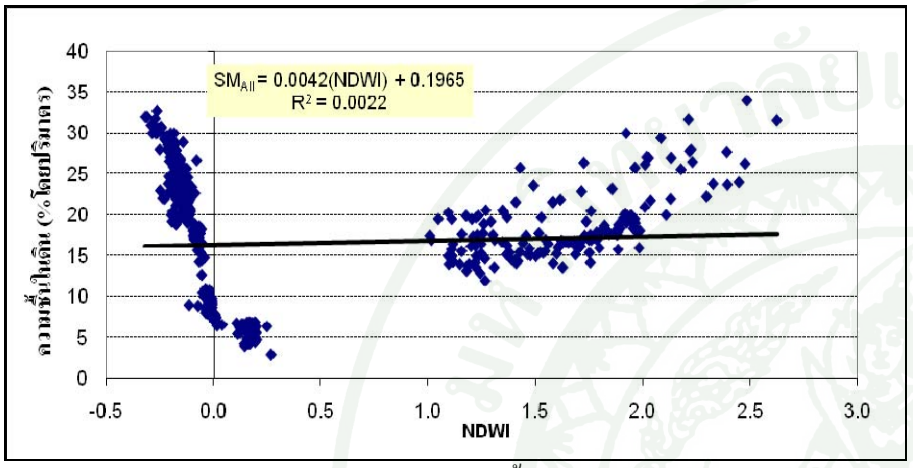
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า IPVI



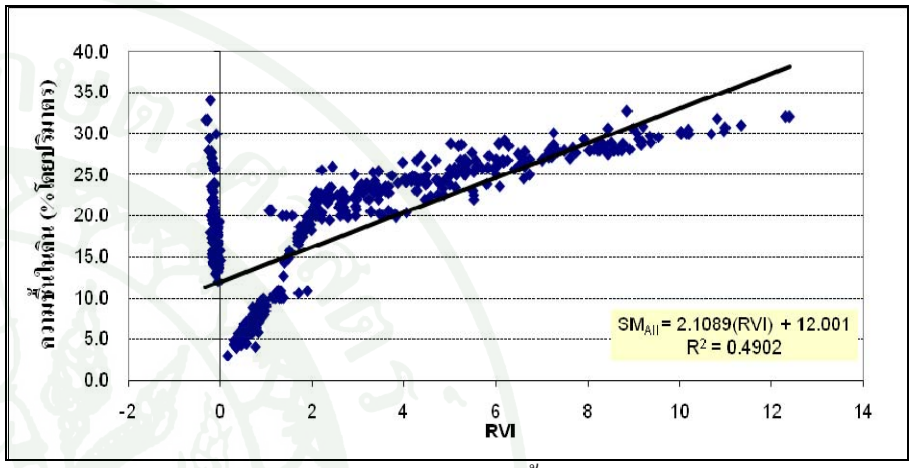
(ง) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI

ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ

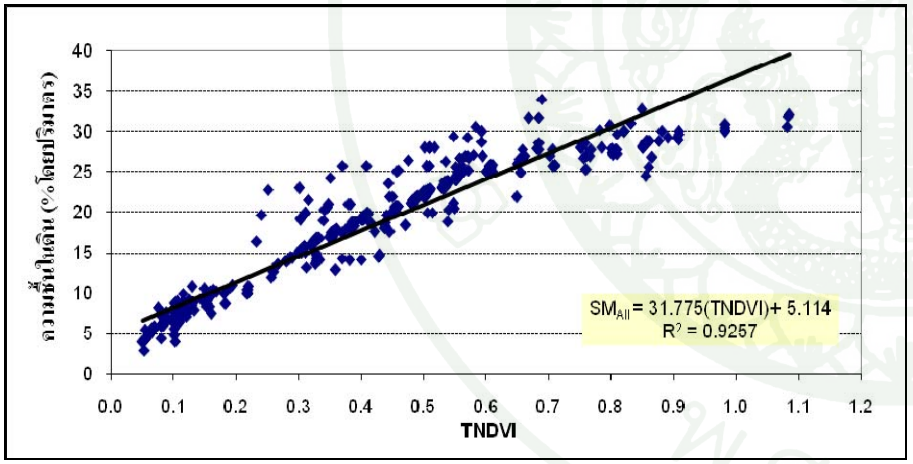
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



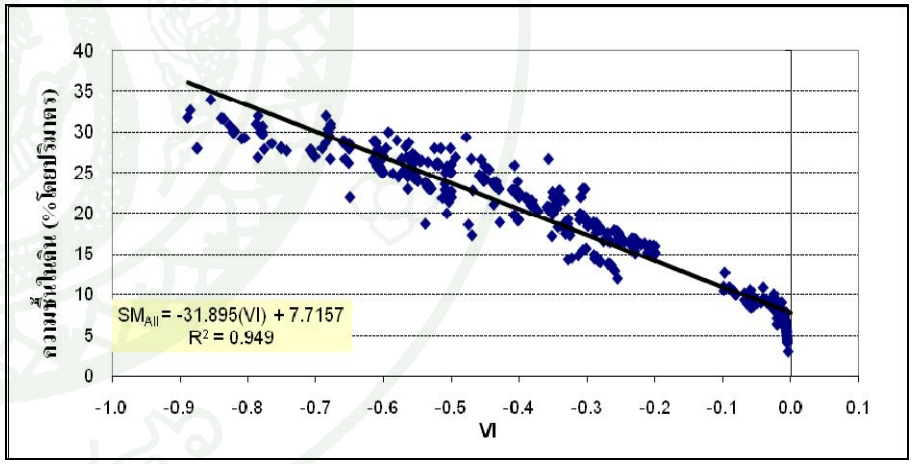
(จ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDWI



(ฉ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI



(ช) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า TNDVI



(ซ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI

ภาพที่ 28 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และค่า GNDVI เป็นดัชนีที่ได้จากการคำนวณจากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 และแบนด์ 2 กับผลรวมระหว่างแบนด์ 4 และแบนด์ 4 ดังนั้นค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชที่คำนวณได้จากสมการนั้นมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับค่า GNDVI นั่นคือ ค่าความชื้นในดินที่คำนวณได้นั่นมีค่ามาก จากผลการศึกษา พบว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 4 มีค่ามากกว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 2 จึงทำให้ค่า GNDVI มีค่าสูงตลอดช่วงการศึกษาสอดคล้องกับอภินันท์ (2545) ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลในการจำแนกพื้นที่ป่าไม้และการประมาณมวลชีวภาพป่าไม้ โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 5 TM หาความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณ 20 แบบ ซึ่งทำการคัดเลือกช่วงคลื่นที่สายตามองเห็นและช่วงคลื่นที่มีการสะท้อนพืชพรรณมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง ซึ่งพบว่า GNDVI มีความสัมพันธ์กับบริเวณผิวใบมากที่สุด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.549

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า IPVI

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า IPVI (ภาพที่ 28 ค) พบว่า สมการที่ได้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า IPVI คือ SM_{All} = 0.92+40.58IPVI โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.92 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ IPVI ค่อนข้างสูง และค่า IPVI เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณจากสัดส่วนระหว่างแบนด์ 4 กับผลรวมระหว่างแบนด์ 4 และแบนด์ 3 ดังนั้นค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชที่คำนวณได้จากสมการนี้มีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับค่า IPVI นั่นคือ ค่าความชื้นในดินที่คำนวณได้นั้นมีค่ามาก และจากผลการศึกษา พบว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 4 มีค่ามากกว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 3 จึงทำให้ค่า IPVI มีค่าสูงตลอดช่วงการศึกษา

5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า NDVI

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า NDVI (ภาพที่ 28 ง) พบว่า สมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI คือ SM_{All} = -0.11+0.03NDVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.96 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ค่อนข้างสูง และค่า NDVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบนด์ 3 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ดังนั้นค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชที่คำนวณได้จากสมการนั้นมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับค่า NDVI นั่นคือ ค่าความชื้นในดินที่คำนวณได้นั่นมีค่ามาก จากผลการศึกษา พบว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 4 มีค่ามากกว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 3 จึงทำให้ค่า NDVI มีค่าสูงตลอดช่วงการศึกษา

5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าNDWI

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า NDWI (ภาพที่ 28 จ) พบว่า สมการเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDWI คือ SM_{All} = -0.2+0.004NDWI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.002 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ NDWI ค่อนข้างสูง และค่า NDWI เป็นค่าที่คำนวณได้จากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 5 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 5 ดังนั้นค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชที่คำนวณได้จากสมการนั้นมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับค่า NDWI นั่นคือ ค่าความชื้นในดินที่คำนวณได้นั่นมีค่ามาก จากผลการศึกษา พบว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 4 มีค่ามากกว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 5 จึงทำให้ค่า NDWI มีค่าสูงตลอดช่วงการศึกษาโดยทั่วไปแล้ว NDWI เป็นดัชนีที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาณน้ำในเรือนยอดของพืช หรือ บริเวณอิ่มน้ำ ซึ่งมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีการใช้น้ำอยู่ตลอดเวลา และมันสำปะหลังยังเป็นพืชที่ทนแล้งได้อีกด้วย (รัชชนีวรรณ, 2547) ซึ่งสอดคล้องกับ Gao (1996) ได้เสนอดัชนีผลต่างความชื้นในพืชพรรณด้วยข้อมูลการสำรวจระยะไกล ในช่วงคลื่น 0.86 ถึง 1.24 ไมโครเมตร มีผลกระทบจากการกระจัดกระจายเนื่องจากละอองในชั้นบรรยากาศต่ำ ทำให้ NDWI ไวต่อละอองลอยในชั้นบรรยากาศน้อยกว่า NDVI ผลลัพธ์พบว่า NDWI ไวต่อการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในเรือนยอดพืช เช่นเดียวกับ Chen *et al.* (2005) ศึกษาการประเมินปริมาณน้ำในพืช (ข้าวโพดและถั่วเหลือง) และประเมินแต่ละดัชนีโดยคำนวณความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในพืช พบว่า ดัชนี NDVI และดัชนี NDWI เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า RVI

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า RVI (ภาพที่ 28 ฉ) พบว่า สมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI คือ SM_{All} = -12+2.11RVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.5 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ RVI ปานกลาง และค่า RVI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณจากสัดส่วนระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ดังนั้นค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชที่คำนวณได้จากสมการนั้นมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับค่า RVI นั่นคือ ค่าความชื้นในดินที่คำนวณได้นั่นมีค่ามาก จากผลการศึกษา พบว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 4 มีค่ามากกว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 3 จึงทำให้ค่า RVI มีค่าสูงตลอดช่วงการศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับ Tucker (1979) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรังสีสีแดง อินฟราเรด และพืชพรรณ ของทุ่งหญ้า ใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ แบะทำนายการเปลี่ยนแปลงจองพืชพรรณที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ได้ (Wang *et al*., 2003) และสามารถแสดงให้เห็นรูปแบบของพืชพรรณที่แตกต่างกันไปในแต่ละภูมิประเทศ ซึ่งใช้จำแนกชนิดของพืชพรรณ และวางแผนการเพาะปลูกได้ (Jing *et al*., 2005)

5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า TNDVI

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า TNDVI (ภาพที่ 28 ช) พบว่า สมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า TNDVI คือ SM_{All} = 5.11+31.78TNDVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.93 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ TNDVI ค่อนข้างสูงและค่า TNDVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากรากที่สองสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 3 รวมกับ 0.5 ดังนั้นค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชที่คำนวณได้จากสมการนั้นมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับค่า TNDVI นั่นคือ ค่าความชื้นในดินที่คำนวณได้นั่นมีค่ามาก จากผลการศึกษา พบว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 4 มีค่ามากกว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 3 จึงทำให้ค่า TNDVI มีค่าสูงตลอดช่วงการศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า VI

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่า VI (ภาพที่ 28 ซ) พบว่าได้สมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI คือ SM_{All} = 7.72-31.9VI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.95 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ VI ค่อนข้างสูง และค่า VI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณจากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 7 และแบนด์ 5 กับผลรวมระหว่างแบนด์ 7 และแบนด์ 5 ดังนั้นค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชที่คำนวณได้จากสมการนั้นมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับค่า NDVI นั่นคือ ค่าความชื้นในดินที่คำนวณได้นั่นมีค่ามาก จากผลการศึกษา พบว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 4 มีค่ามากกว่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 3 จึงทำให้ค่า TNDVI มีค่าสูงตลอดช่วงการศึกษา

6. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงน้ำหลาก (wet period) กับค่าดัชนีพืชพรรณ

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงน้ำหลากกับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนี คือ DVI, GNDVI, IPVI, NDVI, TNDVI และ VI พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ที่ได้คือ 0.82, 0.75, 0.81, 0.86, 0.81 และ 0.88 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูง และ RVI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.57 ซึ่งมีค่าปานกลาง ส่วน NDWI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.28 ซึ่งมีค่าต่ำมาก ส่วนค่าความชื้นในดินในช่วงน้ำหลากมีความสัมพันธ์กับค่า NDVI สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.86 ส่วนความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชมีที่ความสัมพันธ์ต่ำที่สุดคือค่า NDWI มีค่าเท่ากับ 0.28 ดังภาพที่ 29

รัชชนีวรรณ (2547) ทำการแบ่งช่วงแล้งฝน (dry period) และช่วงน้ำหลาก (wet period) โดยวิธี Walter (1979) โดยใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน และค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน โดยมีแกนปริมาณฝนเป็นสองเท่าของแกนอุณหภูมิ พบว่า ช่วงแล้งฝนอยู่ระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึงมีนาคม รวมระยะเวลา 5 เดือน ช่วงน้ำหลากอยู่ระหว่างเดือนเมษายน ถึงตุลาคม รวมระยะเวลา 7 เดือน การศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดช่วงน้ำหลาก (wet period) คือเดือนพฤษภาคม ถึงตุลาคม ซึ่งแสดงผลความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนี ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

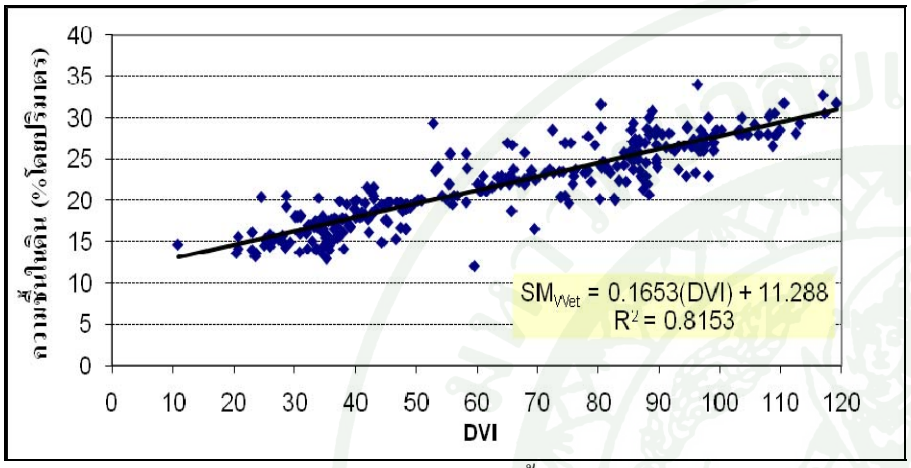
6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า DVI ในช่วงฤดูน้ำหลาก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูน้ำหลากที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือเดือนพฤษภาคม ถึงตุลาคม นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า DVI (ภาพที่ 29 ก) พบว่าสมการที่ได้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูน้ำหลากกับค่า DVI คือ SM_{Wet}= 11.29+0.17DVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.82 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า DVI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณได้จากผลต่างระหว่างแบนด์ 3 และแบนด์ 4 ความชื้นในดินที่เฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นความชื้นในดินที่มีความหลากหลาย ดังนั้นดัชนี DVI จึงสามารถบอกถึงค่าความชื้นในดินได้แบบภาพรวม และมีความสัมพันธ์ของแบนด์ 3 และแบนด์ 4 ซึ่งแบนด์ 3 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงสีเขียวของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ (ช่วยในการแยกชนิดของพืชพรรณ) มีค่าสูงหรือเข้าใกล้ 1 ส่วนในแบนด์ 4 ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) แสดงความหนาแน่นของพืช และศึกษาความเครียดของพืชพรรณ (เช่น ขาดน้ำ แมลงทำลาย เป็นต้น) มีค่าเข้าใกล้ -1 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินสูงขึ้นตามไปด้วย

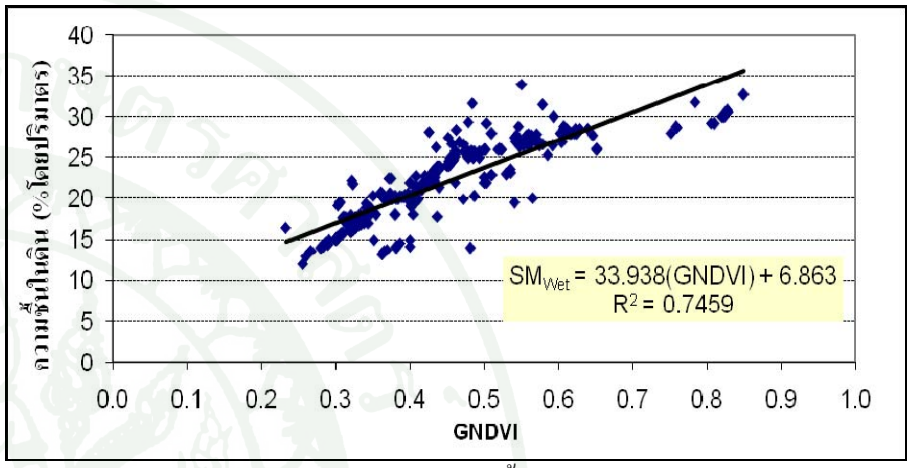
6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI รวมในช่วงฤดูน้ำหลาก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า GNDVI (ภาพที่ 29 ข) พบว่า ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI คือ SM_{Wet} = 6.87+33.94GNDVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.75 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า GNDVI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณจากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 และแบนด์ 2 กับผลรวมระหว่างแบนด์ 4 และแบนด์ 4 ความชื้นในดินที่เฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นความชื้นในดินที่มีความหลากหลาย ดังนั้นดัชนี DVI จึงสามารถบอกถึงค่าความชื้นในดินได้แบบภาพรวม ค่า GNDVI มีความสัมพันธ์ของแบนด์ 2 และแบนด์ 4 ซึ่งแบนด์ 2 ให้รายละเอียดค่าการสะท้อนสีเขียวเป็นประโยชน์ในการหาอัตราการเจริญเติบโตของพืช (แสดงการสะท้อนพลังงานสีเขียวของพืชที่เจริญเติบโตแล้ว) มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ -255 ส่วนในแบนด์ 4 ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) แสดงความหนาแน่นของพืช และศึกษาความเครียดของพืชพรรณ (เช่น ขาดน้ำ แมลงทำลาย เป็นต้น) มีค่าสูงหรือเข้าใกล้ 255 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินสูงขึ้นตามไปด้วย

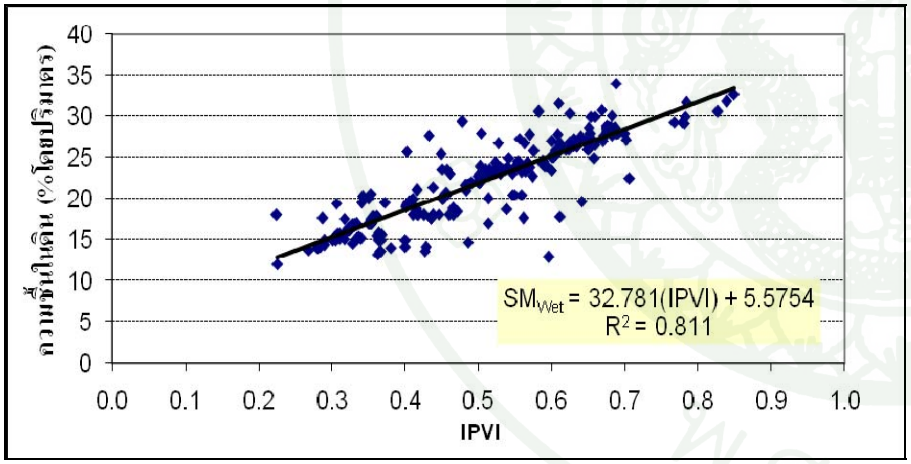
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



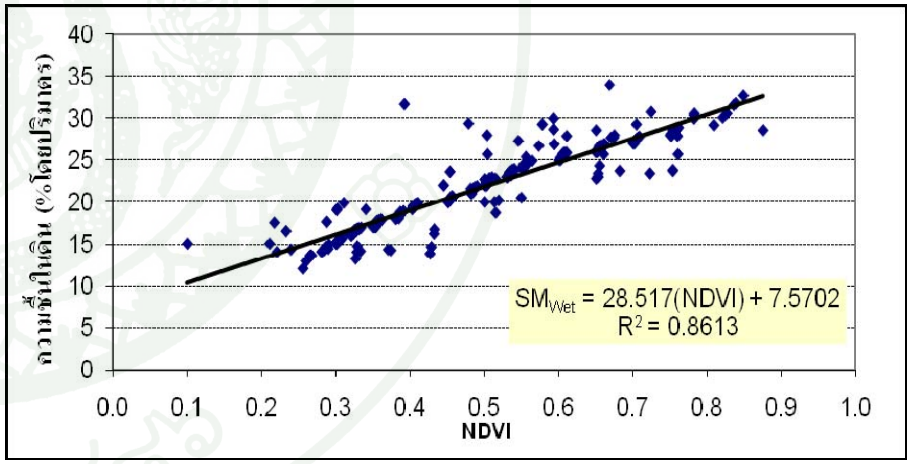
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า DVI



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI



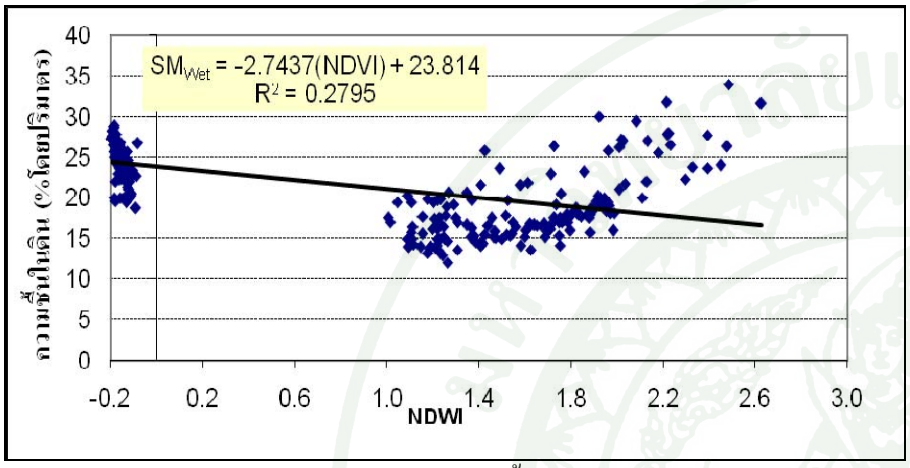
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า IPVI



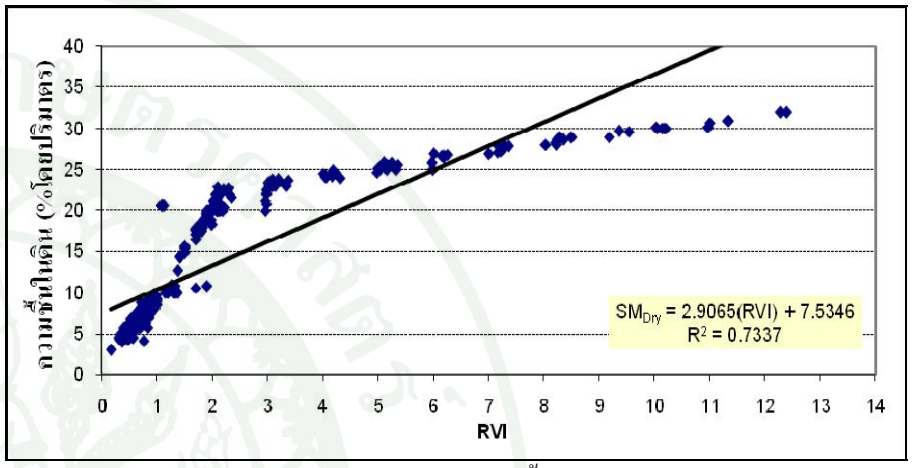
(ง) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI

ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่าดัชนีพืชพรรณในช่วงน้ำหลาก (wet period)

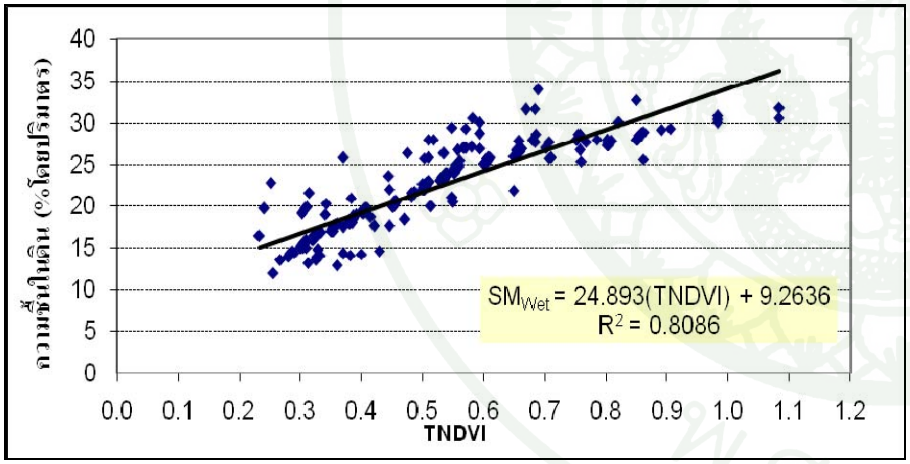
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



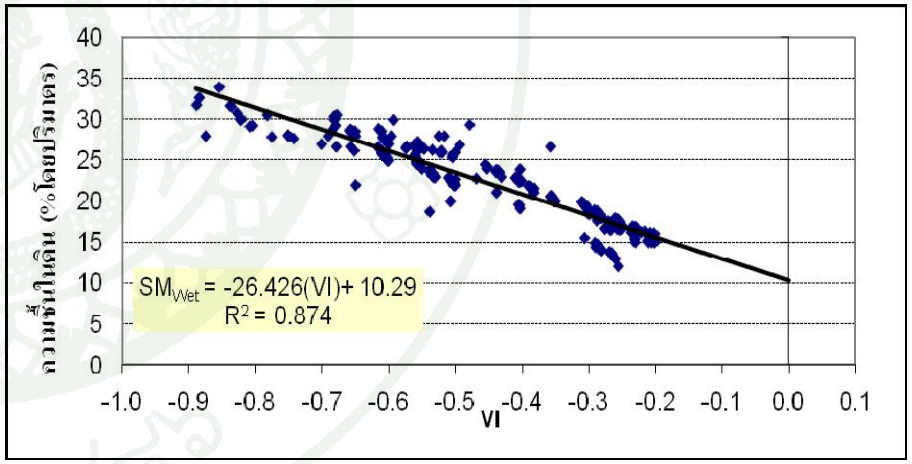
(จ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDWI



(ฉ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI



(ช) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า TNDVI



(ซ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI

ภาพที่ 29 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า IPVI ในช่วงฤดูน้ำหลาก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า IPVI (ภาพที่ 29 ค) พบว่าสมการที่ได้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า IPVI คือ SM_{Wet} = 5.58+32.78IPVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.81 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า IPVI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณจากสัดส่วนระหว่างแบนด์ 4 กับผลรวมระหว่างแบนด์ 4 และแบนด์ 3 ความชื้นในดินที่เฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นความชื้นในดินที่มีความหลากหลาย ดังนั้นดัชนี IPVI จึงสามารถบอกถึงค่าความชื้นในดินได้แบบภาพรวม ค่า DVI มีความสัมพันธ์ของแบนด์ 3 และแบนด์ 4 ซึ่งแบนด์ 3 มีค่าสูงหรือเข้าใกล้ 1 ส่วนแบนด์ 4 มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ 0 ทำให้ค่าความชื้นในดินสูงขึ้น

6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมในช่วงฤดูน้ำหลากกับค่า NDVI

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า NDVI (ภาพที่ 29 ง) พบว่าสมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI คือ SM_{Wet} = 7.57+28.52NDVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.86 ปรากฏผลความสัมพันธ์ของสมการค่อนข้างสูง เนื่องจากค่า NDVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 3 โดยที่แบนด์ 3 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงสีเขียวของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ (ช่วยในการแยกชนิดของพืชพรรณ) มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ -1 ส่วนในแบนด์ 4 ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) มีค่ามากหรือเข้าใกล้ 1 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินที่ได้จากสมการสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าค่า NDVI เป็นดัชนีที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินความชื้นในดินได้ดีอีกดัชนีหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับ การศึกษาของ Marshall and Zhou (2004) ศึกษาดัชนีพืชพรรณและดัชนีบ่งชี้ความแห้งแล้ง เพื่อใช้ตรวจจับบริเวณแห้งแล้งโดยใช้ดัชนีพืชพรรณจากดาวเทียม 3 ดัชนี ผลการศึกษาพบว่า ดัชนีพืชพรรณ NDVI มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับดัชนีที่บ่งบอกความแห้งแล้ง SPI เช่นเดียวกันกับในการศึกษาของ Ji and Peters (2003) ศึกษาการตอบสนองต่อพืชพรรณต่อความแห้งแล้ง พบว่า ค่า NDVI สามารถใช้ประโยชน์ในการกำหนดความรุนแรงของภัยแล้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า NDWI ในช่วงฤดูน้ำหลาก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า NDWI (ภาพที่ 29 จ) พบว่าสมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมในช่วงฤดูน้ำหลากกับค่า NDWI คือ SM_{Wet} = 23.81-2.74NDWI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.28 ซึ่งมีค่าความสัมพันธ์กันน้อยมาก ค่า NDWI เป็นค่าที่คำนวณได้จากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 5 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 5 โดยที่แบนด์ 5 มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ -1 ส่วนในแบนด์ 4 ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) มีค่ามากหรือเข้าใกล้ 1 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินที่ได้จากสมการสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้ว NDWI เป็นดัชนีที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาณน้ำในเรือนยอดของพืช หรือ บริเวณอิ่มน้ำ ซึ่งมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีการใช้น้ำอยู่ตลอดเวลา และมันสำปะหลังยังเป็นพืชที่ทนแล้งได้อีกด้วย (รัชชนีวรรณ, 2547) ซึ่งสอดคล้องกับ Gao (1996) เสนอดัชนีผลต่างความชื้นในพืชพรรณด้วยข้อมูลการสำรวจระยะไกล ในช่วงคลื่น 0.86 ถึง 1.24 ไมโครเมตร มีผลกระทบจากการกระจัดกระจายเนื่องจากละอองในชั้นบรรยากาศต่ำทำให้ NDWI ไวต่อละอองลอยในชั้นบรรยากาศน้อยกว่า NDVI ผลลัพธ์พบว่า NDWI ไวต่อการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในเรือนยอดพืช เช่นเดียวกับ Chen *et al.* (2005) ศึกษาการประเมินปริมาณน้ำในพืช (ข้าวโพดและถั่วเหลือง) และประเมินแต่ละดัชนีโดยคำนวณความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในพืช พบว่า ดัชนี NDVI และดัชนี NDWI เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI รวมในช่วงฤดูน้ำหลาก

6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า RVI ในช่วงฤดูน้ำหลาก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า RVI (ภาพที่ 29 ฉ) พบว่าสมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI คือ SM_{Wet} = 18.82+1.81RVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.57 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ปานกลาง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า RVI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณจากสัดส่วนระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ความชื้นในดินที่เฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นความชื้นในดินที่มีความหลากหลาย ดังนั้นดัชนี RVI จึงสามารถบอกถึงค่าความชื้นในดินได้แบบภาพรวม ค่า RVI มีความสัมพันธ์ของแบนด์ 3 และแบนด์ 4 โดยที่แบนด์ 3 มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ 0 ส่วนในแบนด์ 4 มีค่ามากหรือเข้าใกล้ 255 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินที่ได้จากสมการสูงขึ้น สอดคล้องกับ Tucker (1979) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรังสีสีแดง อินฟราเรด และพืชพรรณ ของทุ่งหญ้า ใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ และทำนายการเปลี่ยนแปลงจองพืชพรรณที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ได้ (Wang *et al*., 2003) และสามารถแสดงให้เห็นรูปแบบของพืชพรรณที่แตกต่างกันไปในแต่ละภูมิประเทศ ซึ่งใช้จำแนกชนิดของพืชพรรณ และวางแผนการเพาะเพาะปลูกได้ (Jing *et al*., 2005)

6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า TNDVI ในช่วงฤดูน้ำหลาก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า TNDVI (ภาพที่ 29 ช) พบว่าสมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า TNDVI คือ SM_{Wet} = 9.26+24.89TNDVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.81 ปรากฏผลความสัมพันธ์ของสมการค่อนข้างสูง เนื่องจากค่า TNDVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากรากที่สองสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับ แบนด์ 3 รวมกับ 0.5 โดยที่แบนด์ 3 มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ 0 ส่วนในแบนด์ 4 มีค่ามากหรือเข้าใกล้ 1.2247 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินที่ได้จากสมการสูงขึ้น

6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI รวมในช่วงฤดูน้ำหลาก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า VI (ภาพที่ 29 ซ) พบว่าได้สมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI คือ SM_{Wet} = 10.29-26.43VI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.87 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า VI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณจากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 7 และแบนด์ 5 กับผลรวมระหว่างแบนด์ 7 และแบนด์ 5 ความชื้นในดินที่เฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นความชื้นในดินที่มีความหลากหลาย ดังนั้นดัชนี VI จึงสามารถบอกถึงค่าความชื้นในดินได้แบบภาพรวม ค่า VI มีความสัมพันธ์ของแบนด์ 5 และแบนด์ 7 โดยที่แบนด์ 5 ให้รายละเอียดปริมาณความชื้นของพืชพรรณและความชื้นของดิน พืชที่มีความเครียด (stress) และแร่ธาตุ มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ -1 ส่วนในแบนด์ 7 มีศักยภาพในการจำแนกชนิดของหิน ในการหาแหล่งแร่ธาตุ จำแนกชนิดดิน มีค่ามากหรือเข้าใกล้ 1 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินที่ได้จากสมการสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

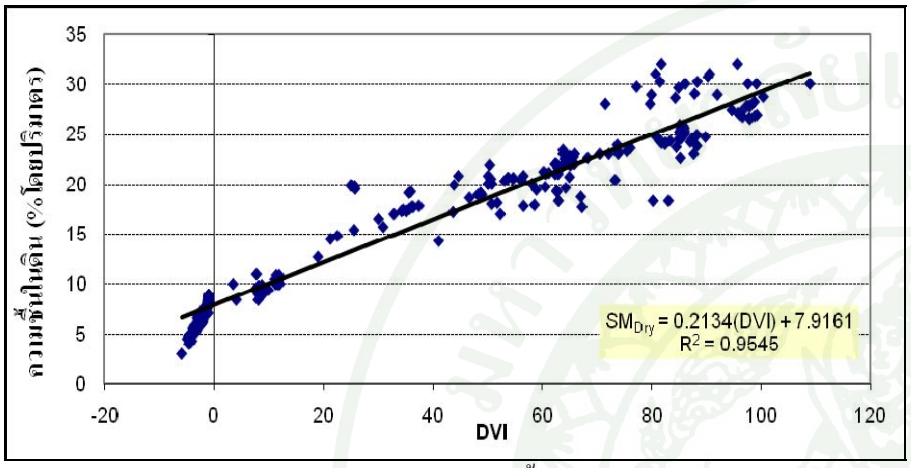
7. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่าดัชนีพืชพรรณในช่วงแล้งฝน (dry period)

ลักษณะการแสดงออกของพืชที่สัมพันธ์กับช่วงฤดูกาลอย่างการงอกของมันสำปะหลังในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต สามารถใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงสภาวะอากาศได้ ตามหลักการพื้นฐานที่ว่าการทิ้งใบของพืชเป็นการตอบสนองต่อปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำมาใช้ได้ เมื่อพืชอยู่ในสภาวะความเครียด (stress) เนื่องจากขาดน้ำในช่วงที่สภาวะอากาศแห้งแล้ง มันสำปะหลังจะต้องทิ้งใบเพื่อลดการคายน้ำ และเก็บอาหารไว้เลี้ยงส่วนลำต้นเพื่อรอให้สภาวะอากาศเหมาะสมจึงแตกใบใหม่อีกครั้ง ในภาพถ่ายดาวเทียมลักษณะที่พืชแสดงออกนี้ ปรากฏเป็นค่าการสะท้อนแสงที่เปลี่ยนแปลงไป

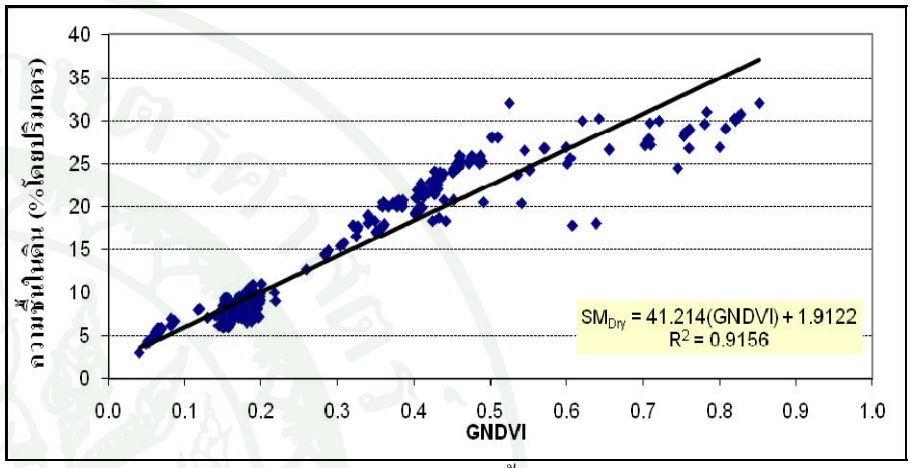
การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงแล้งฝนกับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนี คือ DVI, GNDVI, IPVI, NDVI, TNDVI และ VI พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ที่ได้คือ 0.95, 0.92, 0.92, 0.97, 0.94 และ 0.95 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูง ส่วน NDWI และ RVI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.75 และ 0.73 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าปานกลาง และพบว่าค่าความชื้นในดินในช่วงแล้งฝนมีความสัมพันธ์กับค่า NDVI สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.97 ส่วนความชื้นในดินในช่วงแล้งฝนของพืชมีที่ความสัมพันธ์ต่ำที่สุดคือค่า RVI มีค่าเท่ากับ 0.73 ดังภาพที่ 30

จังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดขนาดใหญ่ ตั้งอยู่บริเวณตอนกลางของประเทศ มีระยะทางห่างจากชายฝั่งทะเลแต่ละด้านมากพอควร ดังนั้น จึงมักได้รับอิทธิพลของลมฝนจากมหาสมุทรอินเดียและพายุใต้ฝุ่นจากมหาสมุทรแปซิฟิกค่อนข้างต่ำ ปัจจัยที่ทำให้เกิดฝนได้ชัดเจนที่สุดคือการเคลื่อนที่ผ่านของร่องมรสุมระหว่างเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน (ในช่วงขาขึ้น) และเดือนสิงหาคมและกันยายน (ในช่วงขาลง) ซึ่งมักส่งผลให้มีฝนตกในบริเวณมากกว่าปกติในช่วงเดือนดังกล่าว ส่วนเดือนกรกฎาคม มักยังมีปริมาณน้ำฝนอยู่มากพอควรจากอิทธิพลของลมฝนซึ่งพัดเข้ามาในช่วงดังกล่าว ส่วนช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคมเป็นช่วงฤดูหนาวจะมีฝนตกค่อนข้างน้อยดังนั้นกราฟการกระจายตัวของน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนของจังหวัด จะเป็นแบบระฆังคู่ (double-bellshape) เช่นเดียวกับการศึกษาของ ปราณี (2536) ศึกษาการวิเคราะห์ฝนในภาตะวันออกเฉียงเหนือ ในรูปแบบต่าง ๆ พบว่า จังหวัดนครราชสีมาเป็นบริเวณอับฝนที่มีฝนตกน้อย คือมีฝนเฉลี่ยทั้งปีน้อยกว่า 1,200มิลลิเมตร นอกจากนี้จังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิเป็นจังหวัดที่มีวันฝนตกน้อยที่สุดของภาค มีวันฝนตกสูงที่สุดในรอบปีคือ 19 วันในเดือนกันยายน การศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดช่วงแล้งฝน (dry period) คือเดือนมกราคม มีนาคม และธันวาคม ซึ่งแสดงผลความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนี ดังนี้

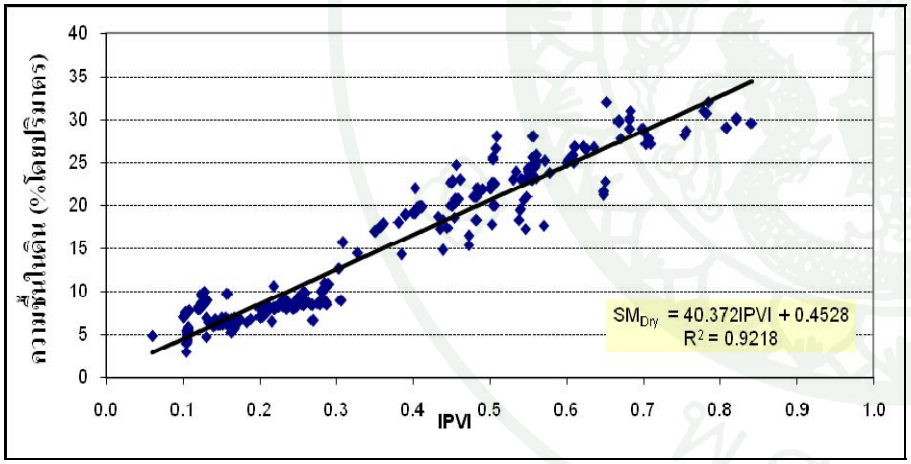
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



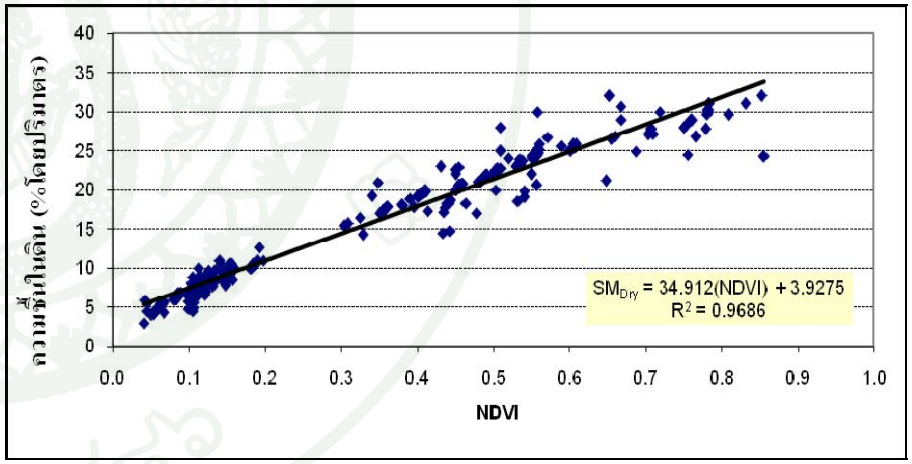
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า DVI



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI



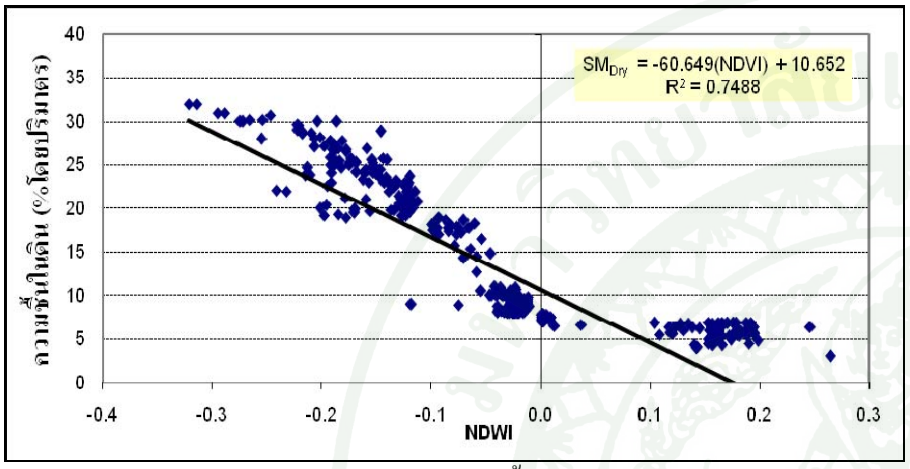
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า IPVI



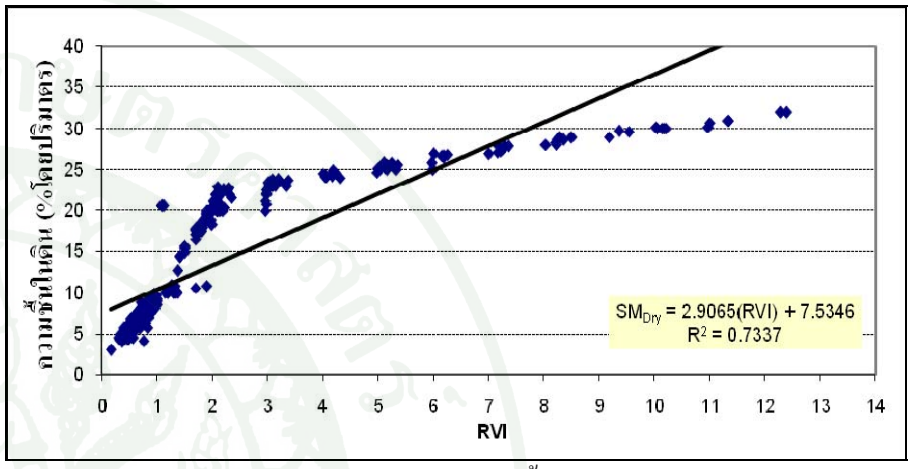
(ง) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI

ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่าดัชนีพืชพรรณ ในช่วงแล้งฝน (dry period)

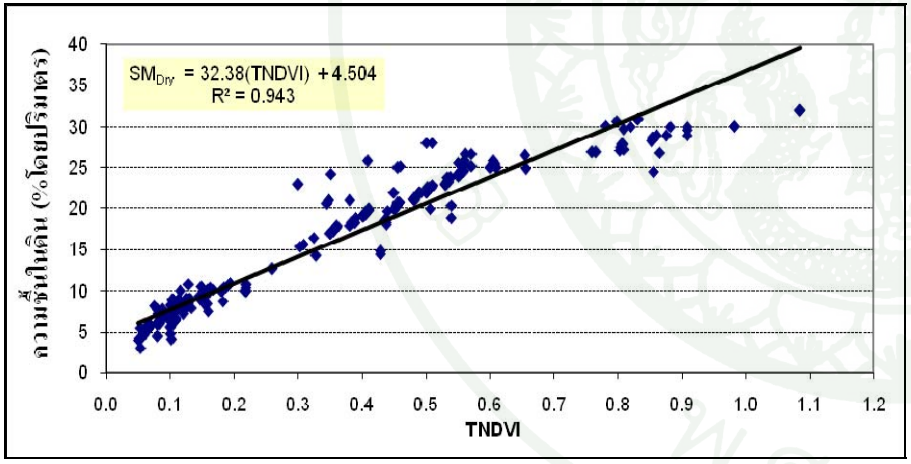
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



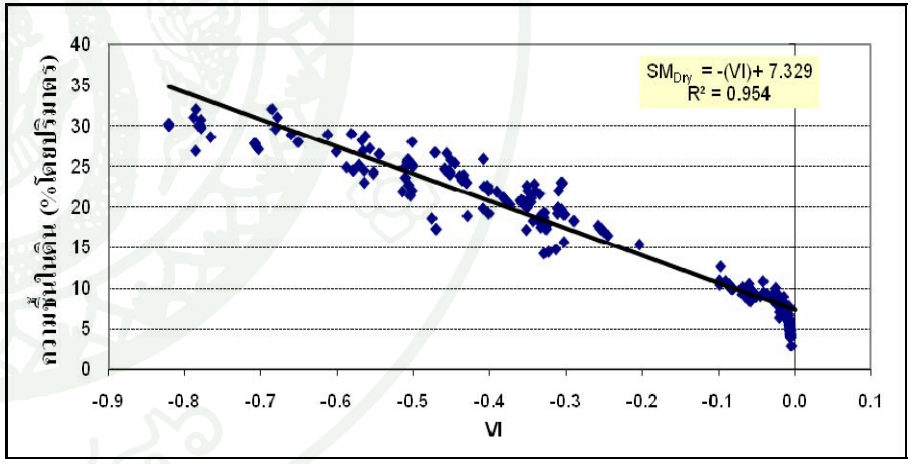
(จ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDWI



(ฉ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI



(ช) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า TNDVI



(ซ) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI

ภาพที่ 30 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า DVI ในช่วงฤดูแล้งฝน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือเดือนมกราคม มีนาคม และธันวาคม นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า DVI (ภาพที่ 30 ก) พบว่า พบว่าสมการที่ได้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูน้ำหลากกับค่า DVI คือ SM_{Dry} = 7.92+0.21DVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.95 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า DVI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณได้จากผลต่างระหว่างแบนด์ 3 และแบนด์4 ความชื้นในดินที่เฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นความชื้นในดินที่มีความหลากหลาย ดังนั้นดัชนี DVI จึงสามารถบอกถึงค่าความชื้นในดินได้แบบภาพรวม และมีความสัมพันธ์ของแบนด์ และแบนด์ 4 โดยที่แบนด์ 3 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงสีเขียวของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ มีค่าสูงหรือเข้าใกล้ 1 ส่วนในแบนด์ 4 ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) แสดงความหนาแน่นของพืช มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ -1 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินสูงขึ้น

7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า GNDVI ในช่วงฤดูแล้งฝน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า GNDVI (ภาพที่ 30 ข) พบว่า ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า GNDVI คือ SM_{Dry} = 1.91+41.21GNDVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.92 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า GNDVI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณจากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 และแบนด์ 2 กับผลรวมระหว่างแบนด์ 4 และแบนด์ 4 ความชื้นในดินที่เฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นความชื้นในดินที่มีความหลากหลาย ดังนั้นดัชนี DVI จึงสามารถบอกถึงค่าความชื้นในดินได้แบบภาพรวม ค่า GNDVI มีความสัมพันธ์ของแบนด์ 2 และแบนด์ 4 โดยที่แบนด์ 2 ให้รายละเอียดค่าการสะท้อนสีเขียวเป็นประโยชน์ในการหาอัตราการเจริญเติบโตของพืช มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ -1 ส่วนในแบนด์ 4 ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) มีค่าสูงหรือเข้าใกล้ 1 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า IPVI ในช่วงฤดูแล้งฝน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า IPVI (ภาพที่ 30 ค)) พบว่าสมการที่ได้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า IPVI คือ SM_{Dry} = 0.45+40.37IPVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.92 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า IPVI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณจากสัดส่วนระหว่างแบนด์ 4 กับผลรวมระหว่างแบนด์ 4 และแบนด์ 3 ความชื้นในดินที่เฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นความชื้นในดินที่มีความหลากหลาย ดังนั้นดัชนี IPVI จึงสามารถบอกถึงค่าความชื้นในดินได้แบบภาพรวม ค่า IPVI มีความสัมพันธ์ของแบนด์ 3 และแบนด์ 4 โดยที่แบนด์ 3 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงสีเขียวของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ 0 ส่วนในแบนด์ 4 ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) แสดงความหนาแน่นของพืช มีค่าสูงหรือเข้าใกล้ 1 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินสูงขึ้น

7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI รวมในช่วงฤดูแล้งฝน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า NDVI (ภาพที่ 30 ง) พบว่าสมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า NDVI คือ SM_{Dry} = 3.92+34.91NDVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.97 ปรากฏผลความสัมพันธ์ของสมการค่อนข้างสูง เนื่องจากค่า NDVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 3 โดยที่แบนด์ 3 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงสีเขียวของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ -1 ส่วนในแบนด์ 4 ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) แสดงความหนาแน่นของพืช มีค่าสูงหรือเข้าใกล้ 1 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าค่า NDVI เป็นดัชนีที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินความชื้นในดินได้ดีอีกดัชนีหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bhuiyan (2004) ได้ศึกษาการผันแปรของดัชนีภัยแล้ง 3 ตัวคือ (1) ดัชนี NDVI ซึ่งคำนวณจากภาพถ่ายดาวเทียม AVHRR (2) ดัชนี SPI และ (3) ดัชนี SWI (standardized water-level index) ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งบอกระดับการผันแปรของปริมาณน้ำใต้ดินในพื้นที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า NDWI ในช่วงฤดูแล้งฝน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า NDWI (ภาพที่ 30 จ) พบว่า พบว่าสมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมในช่วงฤดูน้ำหลากกับค่า NDWI คือ SM_{Dry} = 10.65-60.65NDWI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.75 ซึ่งมีค่าความสัมพันธ์กันน้อยมาก เนื่องจากค่า NDWI เป็นค่าที่คำนวณได้จากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 5 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 5 โดยที่แบนด์ 3 มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ -1 ส่วนในแบนด์ 4 ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) แสดงความหนาแน่นของพืช มีค่าสูงหรือเข้าใกล้ 1 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้ว NDWI เป็นดัชนีที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาณน้ำในเรือนยอดของพืช หรือ บริเวณอิ่มน้ำ ซึ่งมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีการใช้น้ำอยู่ตลอดเวลา และมันสำปะหลังยังเป็นพืชที่ทนแล้งได้อีกด้วย (รัชชนีวรรณ, 2547)

7.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า RVI ในช่วงฤดูแล้งฝน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า RVI (ภาพที่ 30 ฉ) พบว่า พบว่าสมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า RVI คือ SM_{Dry} = 7.53+2.91RVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.73 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ปานกลาง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า RVI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณจากสัดส่วนระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 ความชื้นในดินที่เฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นความชื้นในดินที่มีความหลากหลาย ดังนั้นดัชนี RVI จึงสามารถบอกถึงค่าความชื้นในดินได้แบบภาพรวม ค่า RVI มีความสัมพันธ์ของแบนด์ 3 และแบนด์ 4 โดยที่แบนด์ 3 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงสีเขียวของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ 0 ส่วนในแบนด์4 ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) มีค่าสูงหรือเข้าใกล้ 1 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินสูงขึ้น

7.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า TNDVI ในช่วงฤดูแล้งฝน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า TNDVI (ภาพที่ 30 ช) พบว่า พบว่าสมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า TNDVI คือ SM_{Dry} = 4.5+32.38TNDVI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.94

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรากฏผลความสัมพันธ์ของสมการค่อนข้างสูง เนื่องจากค่า TNDVI เป็นค่าที่คำนวณได้จากรากที่สองสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 4 กับแบนด์ 3 และผลรวมระหว่าง แบนด์ 4 กับแบนด์ 3 รวมกับ 0.5 โดยที่แบนด์ 3 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงสีเขียวของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณต่าง ๆ มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ 0 ส่วนในแบนด์ 4 ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) แสดงความหนาแน่นของพืช มีค่าสูงหรือเข้าใกล้ 1.2247 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินสูงขึ้น

7.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินรวมกับค่า VI ในช่วงฤดูแล้งฝน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในช่วงฤดูแล้งฝน นำมาหาความสัมพันธ์กับค่า VI (ภาพที่ 30 ซ) พบว่า พบว่าได้สมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่า VI คือ SM_{Dty} = 7.33-33.45VI มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.95 ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า VI เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณจากสัดส่วนของผลต่างระหว่างแบนด์ 7 และแบนด์ 5 กับผลรวมระหว่างแบนด์ 7 และแบนด์ 5 ความชื้นในดินที่เฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นความชื้นในดินที่มีความหลากหลาย ดังนั้นดัชนี VI จึงสามารถบอกถึงค่าความชื้นในดินได้แบบภาพรวม ค่า VI มีความสัมพันธ์ของแบนด์ 5 และแบนด์ 7 โดยที่แบนด์ 5 ให้รายละเอียดปริมาณความชื้นของพืชพรรณและความชื้นของดิน พืชที่มีความเครียด (stress) และแร่ธาตุ มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ -1 ส่วนในแบนด์ 7 มีศักยภาพในการจำแนกชนิดของหิน ในการหาแหล่งแร่ธาตุ จำแนกชนิดมีค่าสูงหรือเข้าใกล้ 1 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในดินสูงขึ้น

8. การประเมินค่าค่าความชื้นในดินโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินที่ได้จากเครื่องวัดความชื้นในดินแบบ FDR ในทุกระยะการเจริญเติบโต กำหนดให้เป็นตัวแปรตาม กับค่าดัชนีพืชพรรณ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นเชิงพหุ (multiple regression) และหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ด้วยโปรแกรม Minitab 16 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการ ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.05 ได้ผลการศึกษาดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8.1 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ดัชนี ได้รูปแบบสมการที่ 13 คือ

$$SM_{All} = 6.301+13.93NDVI-10.62VI+0.06DVI \qquad (R^2 = 0.97) \quad (13)$$

โดย SM_{All} = ค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืช

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ พบว่า ความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชมีความสัมพันธ์กับค่า NDVI, VI และ DVI โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.97 เนื่องจาก NDVI และ DVI เป็นดัชนีที่ได้จากความสัมพันธ์ของ แบนด์ 3 และแบนด์ 4 ซึ่งแบนด์ทั้งสองนี้สามารถใช้แยกความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในใบของมันสำปะหลัง แยกความแตกต่างของน้ำและส่วนที่ใช่น้ำได้ ส่วน VI เป็นดัชนีที่หาได้จากความสัมพันธ์ของ แบนด์ 5 และแบนด์ 7 ซึ่งแบนด์ 5 ใช้หาความชื้นในดิน และแบนด์ 7 ใช้แยกชนิดหิน จากสมการแสดงว่า ค่า NDVI และ DVI แปรผันตรง เมื่อค่าความชื้นในดินเปลี่ยนแปลงดัชนีทั้งสองก็เปลี่ยนไป โดยพื้นที่ที่มีคลิโรฟิลล์หรือมีพื้นที่ผิวใบปกคลุมมากความชื้นในดินก็มากค่าดัชนีทั้งสองก็เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่า VI แปรผกผัน กับค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืช นั่นคือเมื่อค่า NDVI และ DVI สูงขึ้น ส่วน VI ต่ำลง ทำให้ความความชื้นในดินที่ประเมินได้สูงขึ้น

8.2 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินช่วงน้ำหลากกับค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ดัชนี ได้รูปแบบสมการที่ 14 คือ

$$SM_{Wet} = 8.402-14.84VI+13.9NDVI \qquad (R^2 = 0.91) \qquad (14)$$

โดย SM_{wet} = ค่าความชื้นในดินช่วงน้ำหลาก

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ พบว่า ความชื้นในดินในช่วงน้ำหลากมีความสัมพันธ์กับค่า VI และ NDVI โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.91 แสดงว่าในช่วงน้ำหลากค่าความชื้นในดินมีความสัมพันธ์กับค่า VI และNDVI อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ NDVI เป็นดัชนีที่ได้จากความสัมพันธ์ของ แบนด์ 3 และแบนด์ 4 ซึ่งแบนด์ทั้งสองนี้สามารถใช้แยกความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในใบของมันสำปะหลัง แยกความแตกต่างของน้ำและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนที่ใช่น้ำได้ ส่วน VI เป็นดัชนีที่หาได้จากความสัมพันธ์ของ แบนด์ 5 และแบนด์ 7 ซึ่งแบนด์ 5 ใช้หาความชื้นในดิน และแบนด์ 7 ใช้แยกชนิดหิน จากสมการแสดงว่า ค่า NDVI แปรผันตรง เมื่อค่าความชื้นในดินเปลี่ยนแปลง NDVI ก็เปลี่ยนไป โดยพื้นที่ที่มีคลิโรฟิลล์หรือมีพื้นที่ผิวใบปกคลุมมากความชื้นในดินก็มากขึ้น ค่าดัชนี NDVI ก็เพิ่มมากขึ้นส่วนค่า VI แปรผกผัน กับค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืช นั่นคือเมื่อค่า NDVI สูงขึ้น และ VI ต่ำลง ทำให้ความความชื้นในดินที่ประเมินได้สูงขึ้น

8.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินช่วงแล้งฝนกับค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ดัชนี ได้รูปแบบสมการที่ 15 คือ

$$SM_{Dry} = 6.084+17.46NDVI+0.08DVI-10.66NDWI \quad (R^2 = 0.98) \quad (15)$$

โดย SM_{dry} = ค่าความชื้นในดินช่วงแล้งฝน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ พบว่า ความชื้นในช่วงแล้งฝนมีความสัมพันธ์กับค่า NDVI, DVI และ NDWI โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.98 แสดงว่า ในช่วงแล้งฝนค่าความชื้นในดินมีความสัมพันธ์กับ NDVI, DVI และ NDWI อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ NDVI และ DVI เป็นดัชนีที่ได้จากความสัมพันธ์ของ แบนด์ 3 และแบนด์ 4 ซึ่งแบนด์ทั้งสองนี้สามารถใช้แยกความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในใบของมันสำปะหลัง แยกความแตกต่างของน้ำและส่วนที่ใช่น้ำได้ ส่วน NDWI เป็นดัชนีที่หาได้จากความสัมพันธ์ของ แบนด์ 4 และแบนด์ 5 ซึ่งในส่วนมากแบนด์ 5 ใช้หาความชื้นในดิน จากสมการแสดงว่า ค่า NDVI และ DVI แปรผันตรง เมื่อค่าความชื้นในดินเปลี่ยนแปลงดัชนีทั้งสองก็เปลี่ยนไป โดยพื้นที่ที่มีคลิโรฟิลล์หรือมีพื้นที่ผิวใบปกคลุมมากความชื้นในดินก็มากค่าดัชนีทั้งสองก็เพิ่มมากขึ้นส่วนค่า NDWI แปรผกผัน กับค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืช นั่นคือเมื่อค่า NDVI และ DVI สูงขึ้น ส่วน NDWI ต่ำลง ทำให้ความความชื้นในดินที่ประเมินได้สูงขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8.4 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ดัชนี ได้รูปแบบสมการ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 รูปแบบสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ

ลำดับที่	รูปแบบสมการ	R^2
1	SM_{Jan} = 7.814+18.3NDVI+0.08DVI	0.86
2	SM_{Mar}= 2.035+30.1NDVI+2.73RVI	0.87
3	SM_{May}= 7.1-18.97VI+13.8TNDVI	0.87
4	SM_{Oct} = 12.76+15.23NDVI+0.58RVI	0.85
5	SM_{Dec} = 3.77+16.3TNDVI+20.3NDVI	0.87

ค่าความชื้นในดินแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ นั้นมีความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.86, 0.87, 0.87, 0.85 และ 0.87 ในเดือนมกราคม มีนาคม พฤษภาคม ตุลาคม และธันวาคม ตามลำดับ และพบว่ามีค่าความชื้นในดินทุกระยะการเจริญเติบโตของพืชสัมพันธ์กับค่า NDVI อย่างมีความสัมพันธ์ทางสถิติยกเว้นในเดือนพฤษภาคม ทั้งนี้เนื่องจากเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงของระยะเพาะปลูกค่า NDVI มีค่ามากใกล้เคียงกัน ทำให้ไม่ค่อยเห็นความแตกต่างมาก ส่วนค่า RVI และ IPVI มีความสัมพันธ์กับในทุกระยะการเจริญเติบโตยกเว้นเดือนพฤษภาคม ค่า NDWI มีความสัมพันธ์กับในทุกระยะการเจริญเติบโตยกเว้นเดือนธันวาคม ค่า TNDVI มีความสัมพันธ์กับในทุกระยะการเจริญเติบโต ยกเว้นเดือนมกราคม ในส่วนของค่า VI มีความสัมพันธ์กับในทุกระยะการเจริญเติบโตยกเว้นเดือนมกราคม และตุลาคม ค่า GNDVI มีความสัมพันธ์กับในทุกระยะการเจริญเติบโตยกเว้นเดือนมกราคม และพฤษภาคม ส่วนค่า DVI มีความสัมพันธ์กับเดือนมกราคม และพฤษภาคม

จากการศึกษาพบว่า ในทุกระยะการเจริญเติบโตของพืช มีค่า NDVI ปรากฏในทุกสมการของการประเมินค่าความชื้นในดิน บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา แสดงว่าค่าความชื้นในดินมีความสัมพันธ์กับ NDVI ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้หาความสัมพันธ์ของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิวโลก เป็นดัชนีที่มีแนวคิดในการหาสัดส่วนของพืชพรรณของเรือนยอด ความถูกต้องของดัชนีพืชพรรณมีความถูกต้องลดลงอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ ซึ่งดัชนีความแตกต่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของพืชพรรณนี้แปรผันไปตามปัจจัยแวดล้อมภูมิอากาศอื่น ๆ โดยดัชนี NDVI มีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง +1 ซึ่งแสดงถึงสิ่งปกคลุมพื้นผิวโลกที่แตกต่างกัน คือ พื้นน้ำมีค่า NDVI น้อยกว่า 0 พื้นดินโล่ง มีค่า NDVI อยู่ระหว่าง 0 – 0.1 และที่มีพืชปกคลุมมีค่า NDVI มากกว่า 0.1 ขึ้นไป (Holben, 1986)

9. การตรวจสอบความถูกต้องของสมการ

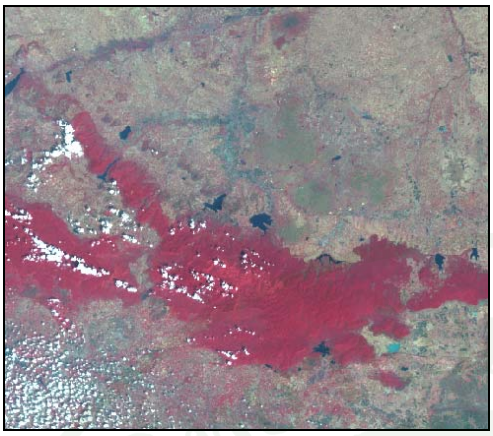
9.1 การตรวจสอบค่าความถูกต้องของสมการที่ได้

การตรวจสอบค่าความถูกต้องของสมการ ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ทั้งหมด 3 ระวาง ประกอบด้วย part 128 row 50 บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2546 วันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2546 และ วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2546 ผลจากปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตด้วยวิธีภาพเริ่มต้นไปยังแผนที่ภูมิประเทศอ้างอิง (map to image) ที่มีระบบพิกัดเป็น WGS 1984 UTM ZONE 47 โดยอาศัยจุดควบคุม (control points) ทั้งหมด 12 จุด ที่กำหนดจากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อน เท่ากับ 0.4658, 0.4435 และ 0.521 ดังตารางที่ 9 และแสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของแต่ละเดือนในบริเวณบริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ดังภาพที่ 31

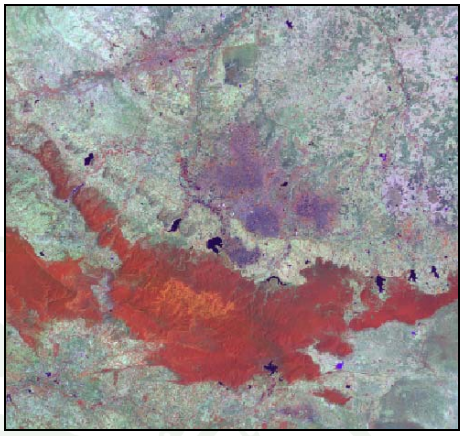
ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อนจากการปรับแก้ความคาดเคลื่อนทางเรขาคณิตของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM ในบริเวณไร่มันสำปะหลัง

ระวาง	บันทึกเมื่อวันที่	จำนวนจุดควบคุม	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (Pixel)	ความคลาดเคลื่อน (เมตร)
part 128 row 50	วันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2546	4	0.258	6.45
part 128 row 50	วันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2546	4	0.485	12.125
part 128 row 50	วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2546	4	0.521	13.025

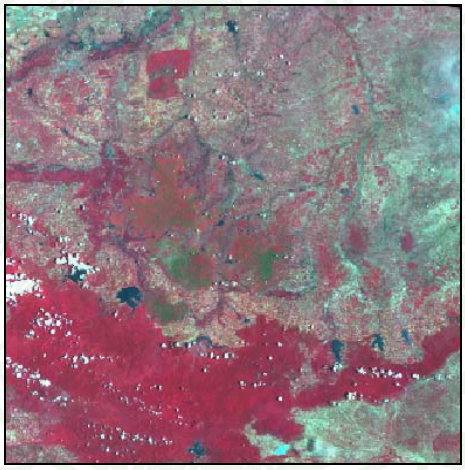
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2546



(ข) ภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2546



(ค) ภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2546

ภาพที่ 31 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM (path 128 row 50)

9.2. วิเคราะห์ความต่างของค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม ในการศึกษานี้โดยใช้ดัชนีพืชพรรณที่แตกต่างกัน 8 ดัชนี ในการประเมินค่าความชื้นในดิน บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา (ตารางที่ 10) สามารถอธิบายดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 ข้อมูลสถิติของข้อมูลภาพดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียมปี 2546 บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมาที่ใช้ตรวจสอบ

วัน/เดือน/ปี		ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)								
		SM	DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
2 ม.ค. 46	สูงที่สุด	-	98.138	0.887	0.734	0.755	0.305	20.335	0.993	-0.604
	ต่ำที่สุด	-	55	0.365	0.434	0.213	-0.514	1.882	0.601	0.223
	เฉลี่ย	28.81	69.402	0.842	0.528	0.344	-0.208	4.375	0.674	-0.384
23 มี.ค. 46	สูงที่สุด	-	55.56	0.832	0.75	0.886	0.563	4.896	0.558	0.234
	ต่ำที่สุด	-	-9.1	-0.177	1.091	-0.038	-0.776	0.756	0.125	-0.158
	เฉลี่ย	27.49	5.916	0.738	0.578	0.758	-0.631	3.135	0.445	0.118
6 พ.ค. 46	สูงที่สุด	-	85.582	0.553	0.582	0.836	0.031	1.459	0.899	0.111
	ต่ำที่สุด	-	-1.45	-0.084	1.445	-0.009	-0.115	0.367	0.255	-0.737
	เฉลี่ย	29.79	75.916	0.234	0.223	0.758	-0.011	0.984	0.846	-0.629

ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนีของวันที่ 2 มกราคม 2546 โดยค่าสถิติจากข้อมูลภาพดาวเทียมในบริเวณไร่มันสำปะหลัง ได้ค่าเฉลี่ยสูงคือ ค่า DVI ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.40 ค่าเฉลี่ยปานกลางคือ ค่า GNDVI, IPVI, NDVI, RVI และ TNDVI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.84, 0.52, 0.34, 4.37 และ 0.67 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยน้อยคือ ค่า NDWI และ VI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.20 และ -0.38 ตามลำดับ และมีค่าความชื้นในดินเท่ากับ 28.81 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนีของวันที่ 23 มีนาคม 2546 โดยค่าสถิติจากข้อมูลภาพในบริเวณไร่มันสำปะหลัง ได้ค่าเฉลี่ยสูงคือ DVI และ RVI ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.91 และ 3.13 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยปานกลางคือ ค่า GNDVI, IPVI, NDVI, TNDVI และ VI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.73 ,0.57, 0.75, 0.44 และ 0.11 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยน้อยคือ ค่า NDWI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.63 และมีค่าความชื้นในดินเท่ากับ 27.49 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ดัชนีของวันที่ 6 พฤษภาคม 2546 โดยค่าสถิติจากข้อมูลภาพในบริเวณไร่มันสำปะหลัง ได้ค่าเฉลี่ยสูงคือ DVI ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ75.91 ค่าเฉลี่ยปานกลางคือ ค่า GNDVI, IPVI, NDVI, RVI และ TNDVI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.23, 0.22, 0.75, 0.98 และ0.84 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยน้อยคือ ค่า NDWI และ VI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.01 และ -0.63 ตามลำดับ โดยมีค่าความชื้นในดินเท่ากับ 29.79 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

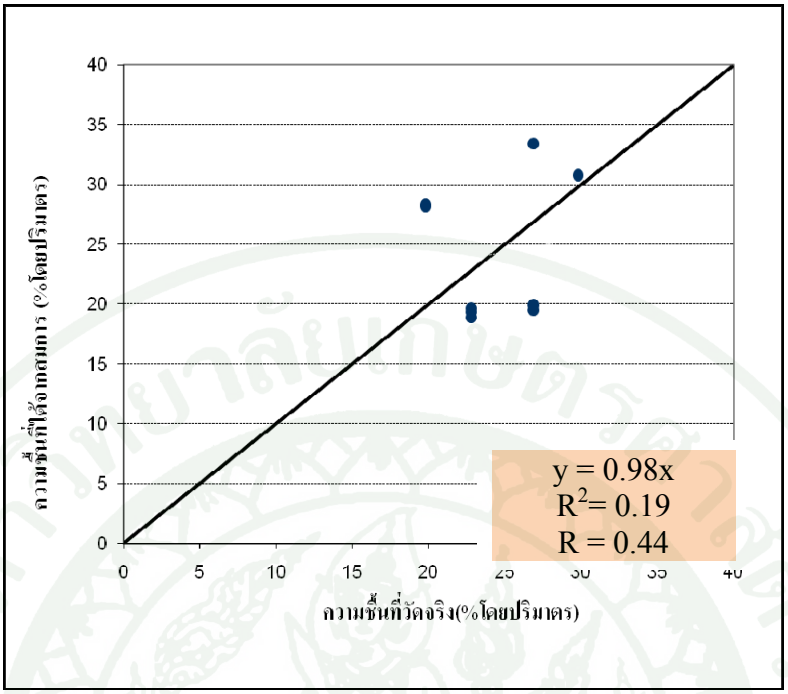
9.3 ค่าความชื้นในดินที่ได้จากการแทนค่าของแต่ละดัชนีพืชพรรณของปี 2546 ที่ได้จากผลการศึกษาของ รัชชนีวรรณ (2547) ในสมการที่ 11 ถึงสมการที่ 16 และนำค่าความชื้นในดินที่ได้จากสมการมาสร้างกราฟ 45 องศา เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดความชื้นในดินจริง ดังภาพที่ 32 ซึ่งได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าความชื้นในดินที่ได้จากการแทนค่าของแต่ละดัชนีพืชพรรณของปี 2546 และค่าความชื้นในดินที่วัดได้จริง บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

ช่วงเวลา	ค่าจริงที่วัดได้ (%โดยปริมาตร)	ค่าที่ได้จากสมการ (%โดยปริมาตร)	SSE	MSE
เฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต (มกราคม)	22.84	19.34	12.25	1.36
เฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต (มีนาคม)	26.92	19.50	55.05	6.11
เฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต (พฤษภาคม)	19.79	28.10	69.05	7.67
ช่วงแล้งฝน (มกราคม)	22.84	18.88	15.68	1.74
ช่วงแล้งฝน (มีนาคม)	26.92	19.86	49.84	5.53
ช่วงน้ำหลาก (พฤษภาคม)	19.79	28.27	71.91	7.99
มกราคม	22.84	19.66	10.11	1.12
มีนาคม	26.92	33.41	42.12	4.68
พฤษภาคม	29.79	30.71	0.84	0.09
ค่าเฉลี่ย	24.29	24.19	36.32	4.03
รวม	218.65	217.73	326.88	36.29

หมายเหตุ: จำนวนตัวอย่าง (n) = 9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 32 การกระจายของค่าความชื้นในดินที่ได้จากสมการกับค่าความชื้นในดินที่วัดจริง บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

จากการศึกษา พบว่า การกระจายของค่าความชื้นในดินที่ได้จากสมการกับค่าความชื้นในดินที่วัดจริง ในพื้นที่บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ได้รูปแบบสมการ คือ $y = 0.98 x$ โดยที่ y คือค่าความชื้นในดินที่วัดได้ และ x คือค่าความชื้นในดินที่วัดได้จริง และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.19 ซึ่งมีค่าค่อนข้างน้อย แสดงว่าค่าความชื้นในดินที่วัดจริงกับค่าความชื้นในดินที่ได้จากสมการไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ มีความคลาดเคลื่อนสูง และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.44 มีค่าเกือบใกล้ 1 ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์กันของตัวแปรทั้งสองปานกลาง และมีทิศทางเดียวกัน เมื่อนำค่าความชื้นในดินที่ได้จากสมการมาสร้างกราฟ 45 องศา เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดความชื้นในดินจริง เมื่อพิจารณาจากกราฟ 45 องศา พบว่า ข้อมูลกระจายโดยรอบเส้น 45 องศา และมีบางค่าที่ได้ผลลัพท์ใกล้เคียงกับค่าจริง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาความผันแปรของความชื้นในดินบริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้เครื่องวัดความชื้นดินแบบ FDR ทำการวัดความชื้นในดินทั้ง 4 ทิศ และทุกช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืช ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0 - 5 เซนติเมตร ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2553 โดยการวัดมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดปีตามระยะการเจริญเติบโตของพืช มีค่าเท่ากับ 15.07 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความชื้นในดินเฉลี่ยตามช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืช มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 24.98 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในเดือนกันยายนซึ่งเป็นระยะเริ่มลงหัว และมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 7.25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นระยะพักดินและไถพรวน และในช่วงระยะก่อนเก็บเกี่ยว เริ่มลงหัว เพาะเพาะปลูก และระยะเก็บเกี่ยว ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 8.88 9.28 18.71 และ 21.32 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

การประเมินค่าความชื้นในดินโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ โดยวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินที่ได้จากเครื่องวัดความชื้นในดินแบบ FDR กำหนดให้เป็นตัวแปรตาม กับค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ดัชนี ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นเชิงพหุ (multiple regression) และหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ด้วยโปรแกรม Minitab 16 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการพบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยรูปแบบสมการที่ได้ดังนี้ คือ

ความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินเฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืชกับค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ดัชนีได้รูปแบบสมการ คือ

เฉลี่ยตลอดการเจริญเติบโตของพืช

$$SM_{All} = 6.301+13.93NDVI-10.62VI+0.06DVI \qquad (R^2 = 0.97)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินในช่วงน้ำหลาก กับค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ดัชนี ได้รูปแบบสมการ คือ

$SM_{Wet} = 8.402-14.84VI+13.9NDVI$ $(R^2 = 0.91)$

ความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินในช่วงแล้งฝน กับค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ดัชนี ได้รูปแบบสมการ คือ

$SM_{Dry} = 6.084+17.46NDVI+0.08DVI-10.66NDWI$ $(R^2 = 0.98)$

ความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างค่าความชื้นในดินในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช กับค่าดัชนีพืชพรรณ 8 ดัชนี ได้รูปแบบสมการ ดังนี้

ระยะเตรียมดิน $SM_{Mar} = 2.035+30.1NDVI+2.73RVI$ $(R^2 = 0.87)$

ระยะเพาะปลูก $SM_{May} = 7.1-18.97VI+13.8TNDVI$ $(R^2 = 0.87)$

ระยะลงหัว $SM_{Oct} = 12.76+15.23NDVI+0.583RVI$ $(R^2 = 0.85)$

ระยะก่อนเก็บเกี่ย $SM_{Dec} = 3.77+16.3TNDVI+20.3NDVI$ $(R^2 = 0.87)$

ระยะเก็บเกี่ยว $SM_{Jan} = 7.814+18.3NDVI+0.08DVI$ $(R^2 = 0.86)$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษา

1.1 การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาพื้นที่ขนาดเล็ก การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ของพื้นที่คือ มันสำปะหลัง และมีการเพาะปลูกข้าวโพดบ้างเป็นบางส่วน ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ทำการศึกษาเป็นภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ซึ่งมีความละเอียดข้อมูล 30 เมตร จากลักษณะของพื้นที่แล้วพบว่า ในระยะ 30 เมตร มีค่าการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนั้นค่าความชื้นในดินที่คำนวณได้จากสมการที่ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเป็นฐานนั้น ค่าที่ได้ในแต่ละช่องกริดจึงเป็นค่าเฉลี่ยของพื้นที่ 30 เมตร การเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมนั้นสำคัญ ถ้าอยากได้ค่าที่ละเอียดมากกว่านี้ควรเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดสูง ๆ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานด้วย

1.2 สมการประเมินค่าความชื้นในดินได้จากภาพถ่ายดาวเทียม ทำให้ทราบว่า DVI เป็นดัชนีพืชพรรณที่ไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินที่ได้จากพื้นที่ไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ส่วนดัชนีพืชพรรณค่าอื่น ๆ ยังพอมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินที่ได้ และ NDVI เป็นดัชนีที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินเกือบทุกระยะการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น ดัชนี NDVI จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประเมินค่าความชื้นในดิน

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาครั้งต่อไป

2.1 การประเมินค่าความชื้นในดินโดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียมควรมีการเพิ่มปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความชื้นในดิน เช่น ปริมาณฝน ความลาดชัน ลักษณะดิน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อทำให้ค่าความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

2.2 ควรมีการเก็บข้อมูลความชื้นในดินในบริเวณอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของค่าความชื้นในดินที่เหมาะสมของบริเวณ และเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2527. **สภาพทรัพยากรดินและปัญหาในการใช้ประโยชน์ของจังหวัดนครราชสีมา**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2546. **ข้อมูลภูมิอากาศของสถานีตรวจวัดอากาศอำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา เฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ. 2541-2543)**. กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กรุงเทพฯ.

กาญจน์เขจร ชูชีพ. 2546. **การศึกษาสภาพเมืองและการประมาณหาอุณหภูมิพื้นผิวในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ด้วยเทคนิคการสำรวจจากระยะไกล.** รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ทุนอุดหนุนวิจัย มก. ประจำปี 2543 โครงการวิจัยรหัส ส-ล 1.43.

กันยา ทิสยากร. 2533. **การประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์** *ใน* กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว. 2515. **อุทกวิทยาลุ่มน้ำ.** ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2522. **หลักปฏิบัติในการจัดการลุ่มน้ำ.** ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2539. **หลักการจัดการลุ่มน้ำ.** ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว และ เพิ่มศักดิ์ มกราภิรมย์. 2522. **ปริมาณน้ำในช่วงแล้งฝนจากป่าดิบเขาดอยปุย เชียงใหม่**. การวิจัยลุ่มน้ำที่ห้วยคอกม้า เล่มที่ 34. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกษม จันทร์แก้ว และ สามัคคี บุณยะวัฒน์. 2522. **ความชื้นดินในป่าดิบแล้งที่ถูกแผ้วถางบริเวณสถานีสะแกราช**. *ใน* รายงานวนศาสตร์วิจัย เล่มที่ 65. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คชา เชษฐบุตร. 2551. **การวิเคราะห์ผลกระทบของปัญหาภัยแล้งต่อการเพาะปลูกพืชไร่เศรษฐกิจในจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์: กรณีศึกษาอำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จรินทร์ นาคศิริ. 2516. **การหาสมรรถนะการซึมได้ของน้ำผ่านผิวดินป่าดิบเขา บริเวณเทือกเขาดอยปุย เชียงใหม่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุมพล วิเชียรศิลป์. 2535. **การวิเคราะห์สมบัติและศักยภาพของดินเค็ม ในแอ่งโคราช.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2532. **มันสำปะหลัง การเพาะปลูก อุตสาหกรรมแปรรูปและการใช้ประโยชน์**. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. 2549. **ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ศักยภาพเชิงบริเวณเพื่อการพัฒนา.** ขอนแก่นการพิมพ์, ขอนแก่น.

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2536. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ดนัย ศุภาหาร. 2537. **พฤกษศาสตร์และพันธุศาสตร์ของมันสำปะหลัง,** น. 14-28. *ใน* มันสำปะหลัง. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรุงเทพฯ.

ดาราศรี ดาวเรือง. 2533. **รีโมทเซนซิ่งพื้นฐาน.** สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

ณกร วัฒนกิจ. 2551. **การตรวจวัดความแห้งแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ทรงธรรม สุขสว่าง. 2530. **ความเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินใต้สวนป่ายูคาลิปตัสและบริเวณว่างเปล่าบริเวณบ้านห้วยมะเฟือง จังหวัดระยอง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2512. **ลักษณะทางปฐพีวิทยาของลุ่มน้ำห้วยคอกม้า.** *ใน* การวิจัย การจัดการลุ่มน้ำบนภูเขา ห้วยคอกม้า ดอยปุย เชียงใหม่ เล่ม 1. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2542. **อุทกวิทยาดินลุ่มน้ำ.** ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ตั้งธรรม และ ทรงธรรม สุขสว่าง. 2537. **ความผันแปรของค่าความชื้นในดินภายใต้สวนสักและสวนซ้อ ที่สถานีวิจัยต้นน้ำแม่กลอง ตำบลลิ่นถิ่น อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี.** บันทึกวิจัยเล่มที่ 27. สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

นิวัติ เรืองพานิช. 2514. **ความหนาแน่นของเรือนยอดต้นไม้ป่าดิบเขาที่มีผลต่อการสูญเสียดินและน้ำ.** การวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า เล่มที่ 7. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บุญฤทธิ์ ภูมิยากร. 2525. **การเปลี่ยนแปลงสมบัติดินในป่าธรรมชาติตามลักษณะการใช้ที่ดินที่สะแกราช ปักธงชัย นครราชสีมา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญปลูก นาประกอบ. 2523. **การไหลของน้ำในลำธารลุ่มน้ำขนาดเล็กป่าเบญจพรรณผสมไผ่ที่สถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำแม่กลอง กาญจนบุรี.** *ใน* เอกสารการประชุมวิชาการป่าไม้ ประจำปี 2537. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปราณี ว่องวิทวัส. 2536. **เอกสารวิชาการเรื่อง การวิเคราะห์ฝนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กรุงเทพฯ.

ปิยพงษ์ ทองดีนอก. 2544. **การประเมินค่าการคายระเหยน้ำโดยวิธีของ Boven Ratio ในพื้นที่ที่มีการประโยชน์ที่ดินหลายรูปแบบของจังหวัดสุโขทัย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรียานุช ทศานนท์. 2553. **เอกสารประกอบการสอนวิชาการรับรู้จากระยะไกล.** สาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พิบูลย์ กังแฮ. 2526. **การศึกษาลักษณะความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชของดินไหล่เขาบางชนิดในภาคเหนือของประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พีระชัย กุลชัย. 2537. **ผลของการใช้ที่ดินประเภทต่างๆ ต่อสมรรถนะการซึมน้ำผ่านผิวดินบริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำห้วยหินดาด จังหวัดระยอง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เพ็ญประไพ ภู่ทอง. 2552. **การหาดัชนีชี้วัดคุณภาพการปกคลุมของพืชพรรณ โดยใช้บริเวณต้นแบบเป็นฐาน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพิ่มศักดิ์ มกราภิรมย์. 2522. **ลักษณะอุทกวิทยาของดินที่สัมพันธ์กับน้ำในลำธารช่วงแล้งฝนของป่าดิบเขาธรรมชาติภาคเหนือของประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มณฑาทิพย์ โสมมีชัย. 2545. **ผลของระยะเพาะปลูกต่อความชื้นในดินและการเจริญเติบโตของปอสา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วารินทร์ จิระสุขทวีกุล พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุติกุล, ทรงธรรม สุขสว่าง และ นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2531. **ความชื้นในดินใต้สวนยูคาลิปตัสและบริเวณว่างเปล่า บริเวณบ้านห้วยมะเฟืองจังหวัดระยอง.** ฝ่ายวิจัย กองอนุรักษ์ต้นน้ำ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

วิชา นิยม. 2535. **อุทกวิทยาป่าไม้.** ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วีระ พุกจรูญ และธรรมนูญ แก้วอำพุท. 2536. **ปริมาณน้ำในดินในบริเวณไร่ร้างและสวนป่าสนสามใบชั้นอายุต่าง ๆ อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่.** บันทึกวิจัย. สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

วีระภาส คุณรัตนสิริ. 2550. การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 Thematic Mapper ในการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ (CD-ROM). *ใน* **การประชุมวิชาการ การแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2550.** สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (มหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.

วีระศักดิ์ อุดมโชค. 2524. **การกระจายช่องว่างขนาดต่าง ๆ ของดินป่าดิบเขา และไร่เลื่อนลอย บริเวณดอยปุย เชียงใหม่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รมณีย์ ทองดารา. 2540. **การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลสำรวจระยะไกลในการจัดทำแผนที่ความชื้นของดิน กรณีศึกษา: ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รัชชนีวรรณ ราหุละ. 2547. **ความผันแปรความชื้นในดินบริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมเกียรติ อุ่ยประเสริฐ. 2538. **ผลการพื้นฟูสภาพป่าที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช กิ่งอำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศักดิ์ มณีพงศ์. 2545. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, กรุงทพฯ.

โสภณ สินธุประมา. 2526. **ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.** *ใน* มันสำปะหลัง เอกสารวิชาการเล่มที่ 7. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2538. **จากห้วงอวกาศสู่แผ่นดินไทย ฉบับย่อ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2540. **คำบรรยายเรื่องการสำรวจระยะไกล.** พิมพ์ครั้งที่ 1.สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. 2546. **ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์.** กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

ศุทธินี ดนตรี. 2549. **ความรู้พื้นฐานด้านการสำรวจระยะไกล (remote sensing).** ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อภินันท์ ขันธิราช. 2545. **การประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลในการจำแนกบริเวณป่าไม้ และการประมาณมวลชีวภาพป่าไม้ ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยทับทัน – ห้วยสำราญ จังหวัดสุรินทร์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อมลรัตน์ เลี่ยมตระกูลพานิช. 2544. **ความผันแปรของค่าความชื้นดินในป่าเบญจพรรณที่สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุดม พูลสวัสดิ์. 2529. **การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างคุณสมบัติของดินที่เกิดจากหินแกรนิตภายใต้ความชื้นดินแบบยูดิก ในจังหวัดจันทบุรี และแบบอูสติคในจังหวัดฉะเชิงเทรา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อานันต์ คำภีระ. 2546. **เรียนรู้พื้นฐานแผนที่เบื้องต้น ศูนย์รีโมทเซนซิ่งและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ภาคใต้.** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. แหล่งที่มา: http://new.gistda.or.th/index.php/dlservices/search_result/html, 5 กุมภาพันธ์ 2553.

Bhuiyan, C. 2004. **Various Drought Indices for Monitoring Drought Condition in Aravalli: Terrain of India** (On-line). Available: http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/243.pdf, Febuary 22, 2010.

Chen, D., J. Huang and T.J. Jackson. 2005. Vegetation Water Content Estimation for Corn and Soybeans Using Spectral Indices Derived from MODIS Near – and Short Wave Infrared Bands (Electronic Version). **Remote Sensing of Environment** 98: 225-236.

Cheng, Y.B., S.L.Ustin, D. Riano and V.C. Vanderbilt. 2008. Water Content Estimation from Hyperspectral Images and MODIS Indexes in Southeastern Arizona (Electronic Version). **Remote Sensing of Environment** 112: 363-374.

Cock, J.H. 1985. **Cassava New Potential for Anegleacted Crop.** Westview Press, Inc. Boulder and London.

Crippen, R.E. 1990. Calculating the Vegetation Index Faster. **Remote Sensing of Environment** 34: 71-73.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Deering, P.W., J.W. Rouse, R.H. Haas and J.A. Schell. 1995. Measuring Forage Production of Grazing Units from LANDSAT Mss Data. *In* **Proceeding of Tenth International Symposium on Remote Sensing of Environment.** Ann Arbor: Michigan University.

Donahue R.L., J.C. Shickluna and L.S. Robertston. 1997. **Soils and Introduction to Soil and Plant Growth**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, New Jersey.

Donald, M. 2000**. Assessment of Spacebone SAR Remote Sensing for Monitoring Soil Moisture.** Available Source : http: //www.ait.ac.th/thesis/html, March 3, 2010.

Gao, B.C. 1996. NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space (Electronic Version). **Remote Sensing of Environment** 58: 257-266.

Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman and M.N. Merzlyak. 1996. Use of A Green Channel in Remote Sensing of Global Vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment** 58: 289-298.

Gotshalk, Y.E. 1939. **Data on The Hydrological Role of Stands in The Vicinity of The Trostyanetsk.** Forest Experiment Station. Trud. Vsesoyuz. Naucho-Issledov. Inst. Lesnogo Khoz, Moscow.

Gu, Y., J.F. Brown, J.P. Verdin and B. Wardlow. 2007. A Five - Year Analysis of MODIS NDVI and NDWI for Grassland Drought Assessment Over The Central Great Plains of the United States (Electronic Version). **Geophysical Research Letters** 34: L06407.

Harding, R.J., R.L. Hall, M.H. Swaminath and K.V. Srivasa. 1992. **The Soil Moisture Regimes Beneath Forest and Agricultural Crop in Southern India**. Measurement and

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Modeling. pp. 244-269. *In* Growth and Water Use of Forest Plantations. John Willey and Sons, lnc., New York.

Hartmann, T., C.D. Bella and P. Oricchio. 2005. Assessment of The Possible Drought Impact on Farm Production in The SE of The Province of Buenos Aires, Argentina. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 57(4): 281-288.

Hassett, I.J. and W.L. Banwart. 1992. **Soil and Theirs Environment**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Herrmann, A.T. 2005. Aerosol Remote Sensing from POLDER/ADEOS over the Ocean: Improved Retrieval Using A Nonspherical Particle Model. **Jourlnal of Geophysic Research** 110: 243-256.

Heim, R. R. 2002. A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in The United States. **Bulletin of The American Meteorological Society** 83: 1149–1165.

Holben, B.N. 1986. Characteristic of Maximum-Value Composite Image from Tempora AVHRR \ Data. INT. J. **Remote Sensing** 17 (11): 1417 – 1433.

Huang, R. and C. Jackson. 2005. Matrix Overlay for Drought Assessment in The Nam Choen Watershed, NE Thailand. **Proceedings of the 27th Asian Conference on Remote Sensing**. Ulaanbaatar, Mongolia.

Huete, A.R., H.Q. Lieu, K. Batchily and W. Vanleeuwen. 1997. A Comparison of Vegetation Indices Global Set of TM Images for EOS-MODIS (Electronic Version). **Remote Sensing of Environment** 59: 440-451.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Huete, A.R., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguea, X. Gao and L.G. Ferreira. 2002. Oveview of The Radiometric and Biophysical Performance of The MODIS Vegetation Indices (Electronic Version). **Remote Sensing of Environment** 83: 195-213.

Jackson, T.J. 2004. Vegetation Water Content Mapping Using LANDSAT Data Derived Normalized Difference Water Index for Corn and Soybeans. **Remote Sensing of Environment** 92: 475-482.

Jenson, J.R. 2000. **Remote Sensing of The Environment an Earth Resource Perspective**. Prentice Hall, New Jersey. Available Source: http://mvos.gistda.or.th/mvos/modis.html, March 17, 2010.

Ji, L. and A. J. Peters. 2003. Assessing Vegetation Response to Drought in the Northern Great Plains Using Vegetation and Drought Indices. **Remote Sensing of Environment** 87(1): 85-98.

Jing, X., L. Liu, C. Zhang, X. Li, Y. Li and J. Jia. 2005. The Extraction of Beijing Main Crops Planting Area Based on Iime Series MODIS NDVI Reconstruction. **Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS '05. Proceedings IEEE International**, 4, 3020-3023. Retrieved March 3, 2009. Available Source: http://ieeexplore. ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber =1525706&isnumber=32598

Jordan, C.F. 1969. Derivation of Leaf Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. **Ecology** 50: 663-666.

Keith, R.C. 1995 **Resource Management Information System Process and Practice**. Taylor and Francis Ltd, London. Available Source: http://www.ucalgary.ca/uofc/faculties/ss/geog/virtual/remote/resoils.html, October 11, 2010.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kimmis, J.P. 1997. **Forest Ecology a Foundation for Sustainable Management**. Prentice Hal. Upper Saddle River, New Jersey.

Kogan, F.N. 1995. Droughts of The Late 1980s in TheUnited States as Derived from NOAA PolarorBiting Satellite Data (Electronic Version). **Bulletin of The American Meteorogical Society** 76(5): 655-668.

Lawrence, R.L. and W.J. Ripple. 1998. Comparisons Among Vegetation Indices and Bandwise Regression in A Highly Disturbed, Heterogeneous Landscape (Electronic Version). **Remote Sensing of Environment** 64: 91-102.

Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1987. **Remote Sensing and Image Interpretation.** (2nd ed.). John Wiley and Sons, New York.

_____. 1994. **Remote Sensing and Image Interpretation.** John Wiley and Sons, Inc., New York.

Lotsch, A., M.A. Friedl, B.T. Anderson and C.J. Tucker. 2003. Coupled Vegetation Precipitation Variability Observed from Satellite and Climate Recodes. **Geophysical Research Letters** 30(14): 1774.

Miller, D.H. 1997. **Water at The Surface of The Earth: An Introduction to Ecosystem Hydrodynamics.** Academic Press Inc., New York.

Marshall, G. and X. Zhou. 2004. Drought Detection in Semi-Arid Regions Using Remote Sensing of Vegetation Indices and Drought Indices. **Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.** 20-24 September 2004; Retrieved January, 7, 2006.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Peters, A.J., K. Batchily and W.J. Ripple. 2002. Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** 68: 71-75.

Rasmussen, M.S. 1998. Developing Simple, Operational, Consistent NDVI-Vegetation Models by Applying Environmental and Climatic Information: PART I. Assessment of Net Primary Production. **International Journal of Remote Sensing** 19: 97-117.

Richard, A.T. and H. Jia. 2006. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg**,** New York.

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering. 1973. Monitoring Vegetation Systems in The Great Plains with ERTS. **Third ERTS Symposium.** NASA SP-351(1): 309-317.

Sampson, A.W. 1952. **Range Management: Principle and Practice**. John Wiley and Sons Inc., New York.

Singh, R.P., S. Roy and F. Kogan. 2003. Vegetation and Temperature Condition Indices from NOAA AVHRR Data for Drought Monitoring Over India. INT. J. **Remote Sensing** 24(22): 4393-4402.

Sukurai, K., V. Tanpiban, K. Muangni, B. Phuriyahor, S. Arki, T. Naganawa, G. Iwatsubo, T. Attanandana and B. Prachaiyo. 1991. **Chang in Soil Moisture and Temperature**. pp. 267-279. *In* K.Yoda and P. Sahunaly (eds.). Improvement of Biological Productivity of Tropical Wasteland in Thailand. Department of Biology, Osaka University, Japan.

Schowengerdt, R.A. 1983. **Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing**. Acadamic Press Inc., New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Tucker, C.T. 1979. Remote Sensing of Total Dry Matter Accumulation in Winter. **Remote Sensing and Enviroment** 11:171-189.

Topp, G.C. 1993. **Soil Water Content.** pp. 541-557. *In* M.R. Carter (ed.). Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Publishers, Boca Rotan.

Volcani, A., A. Karnieli and T. Svoray. 2005. The Use of Remote Sensing and GIS for Spatio-Temporal Analysis of The Physiological State of A Semiarid Forest with Respect to Drought Years (Electronic Version). **Forest Ecology and Management** 215: 239-250.

Walter, H. 1979. **Vegetation of the Earth: In Relation to Climate and The Ecophysiological Condition**. Spinger-Verlag, New York.

Wang, J, P.M. Rich and K.P. Price. 2003. Temporal Response of NDVI to Precipitation and Temperature in The Central Gret Plains, USA. **International Journal of Remote Sensing** 24(11): 2345-2364.

Yilmaz, M.T., E.R. Hunt and T.J. Jackson. 2008. Remote Sensing of Vegetation Water Content from Equivalent Water Thickness Using Satellite Imagery. **Remote Sensing of Environment** 112: 2514-2522.

Zhang, T. 2009. Soil Moisture Mapping Over The Chinese Loess Plateau Using ENVISAT/ASAR Data. **Advances in Space Research** 43: 1111-1117.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลความชื้นในดินและดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 22 มกราคม 2553

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(^{o}C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
1	25	10.20	36.00	217460	1600875	21.20	W	60.2336	0.4122	0.6482	0.6482	-0.1790	2.9548	0.4823	-0.3823
2	50	10.22	36.00	217437	1600873	25.80	W	85.6400	0.4872	0.6087	0.6087	-0.1729	5.9636	0.4087	-0.4509
3	75	10.24	36.00	217415	1600871	23.00	W	70.4976	0.4301	0.5551	0.5301	-0.1429	3.0113	0.3006	-0.4301
4	100	10.26	36.00	217388	1600872	24.30	W	81.4400	0.5516	0.5516	0.5516	-0.1487	4.0328	0.3516	-0.4516
5	125	10.28	36.00	217365	1600871	17.70	W	67.2272	0.3270	0.5702	0.4357	-0.0949	1.7051	0.3570	-0.2570
6	150	10.30	36.00	217338	1600871	21.00	W	62.8592	0.4031	0.5480	0.4803	-0.1279	2.0650	0.3480	-0.3803
7	175	10.32	36.00	217314	1600870	17.80	W	37.4432	0.3203	0.5027	0.3960	-0.0839	1.7056	0.3603	-0.3260
8	200	10.34	36.00	217289	1600869	20.60	W	53.6336	0.3845	0.5445	0.4545	-0.1297	1.0824	0.3454	-0.3454
9	225	10.36	36.00	217265	1600872	18.30	W	62.9200	0.3493	0.4389	0.4389	-0.0601	1.8065	0.3893	-0.2893
10	250	10.38	36.00	217239	1600874	21.00	W	62.3408	0.4048	0.4825	0.4825	-0.1239	2.0512	0.4825	-0.3482
11	275	10.40	36.00	217214	1600874	21.90	W	65.0176	0.4053	0.4905	0.4905	-0.1146	2.1116	0.4905	-0.3905
12	300	10.42	36.00	217190	1600874	20.30	W	56.2400	0.3846	0.4551	0.4551	-0.1289	2.1395	0.4551	-0.3551
13	325	10.44	36.00	217165	1600876	25.20	W	85.3136	0.4714	0.5714	0.5606	-0.1532	5.1214	0.5714	-0.5714
14	350	10.46	36.00	217138	1600879	24.20	W	86.9936	0.5514	0.5514	0.5514	-0.1683	4.1625	0.5514	-0.4514
15	375	10.48	36.00	217113	1600882	21.90	W	50.3600	0.4069	0.4907	0.4907	-0.1225	2.1475	0.4907	-0.3907

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
16	400	10.50	36.00	217091	1600885	20.60	W	53.7600	0.3780	0.4557	0.5568	-0.1171	1.0877	0.4557	-0.3557
17	425	10.52	36.00	217066	1600884	20.60	W	54.6688	0.3801	0.4554	0.4554	-0.1221	1.1138	0.4554	-0.3554
18	450	10.54	36.00	217040	1600884	19.10	W	35.5792	0.4030	0.4030	0.5403	-0.1258	1.9062	0.4030	-0.3030
19	475	10.56	36.00	217017	1600881	17.70	W	36.3600	0.3259	0.3592	0.3592	-0.0750	1.7082	0.3592	-0.3259
20	500	10.58	36.00	216990	1600882	17.30	W	35.1088	0.3256	0.4356	0.3559	-0.0726	1.7124	0.3559	-0.3256
21	525	11.00	36.00	216966	1600881	17.40	W	34.5648	0.3255	0.4451	0.3551	-0.0842	1.7109	0.3551	-0.2551
22	550	11.02	36.00	216942	1600883	21.00	W	60.6000	0.4031	0.4803	0.3480	-0.1247	2.0633	0.3803	-0.3803
23	575	11.04	36.00	216915	1600885	15.40	W	25.5824	0.3037	0.4730	0.3037	-0.0645	1.5038	0.3037	-0.2037
24	600	11.06	36.00	216891	1600888	16.50	W	30.0400	0.3245	0.4732	0.3245	-0.0544	1.6999	0.3245	-0.2449
25	625	11.08	36.00	216867	1600890	22.10	W	65.7858	0.4112	0.5011	0.5011	-0.2416	2.9778	0.5011	-0.4011
26	650	11.10	36.00	216842	1600893	22.00	W	65.8000	0.4250	0.5009	0.5009	-0.2324	2.9822	0.5009	-0.4009
27	675	11.12	36.00	216817	1600894	19.80	W	25.7200	0.4082	0.4082	0.5408	-0.1235	1.9840	0.4082	-0.4082
28	700	11.14	36.00	216791	1600895	18.60	W	46.6528	0.3432	0.4532	0.5319	-0.0700	1.8037	0.4353	-0.4753
29	725	11.16	36.00	216766	1600896	19.20	W	35.9136	0.4010	0.4010	0.3401	-0.1230	1.9020	0.4010	-0.4010
30	750	11.18	36.00	216743	1600897	18.90	W	48.1888	0.3401	0.3901	0.3901	-0.0930	1.9743	0.3901	-0.4290

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
31	775	11.20	36.00	216716	1600899	17.50	W	35.6400	0.3570	0.3570	0.3570	-0.0987	1.7986	0.3570	-0.3326
32	800	11.22	36.00	216691	1600902	17.70	W	36.1184	0.3593	0.3593	0.3593	-0.0838	1.7003	0.3593	-0.3259
33	825	11.24	36.00	216668	1600905	14.30	W	41.0400	0.2845	0.3845	0.3284	-0.0701	1.4023	0.3284	-0.3284
34	850	11.26	36.00	216643	1600906	15.70	W	30.8896	0.3086	0.3086	0.3086	-0.0787	1.5020	0.3086	-0.3021
35	875	11.28	36.00	216618	1600909	19.50	W	25.7600	0.4054	0.4054	0.4054	-0.1703	1.9017	0.4054	-0.3054
36	900	11.30	36.00	216593	1600911	19.90	W	25.0272	0.4100	0.4100	0.4100	-0.1699	1.9001	0.4100	-0.3100
37	925	11.32	36.00	216568	1600914	14.80	W	22.5376	0.2879	0.4388	0.4429	-0.0455	1.4988	0.4288	-0.3129
38	950	11.34	36.00	216544	1600918	14.50	W	21.2560	0.2843	0.3284	0.4341	-0.0585	1.4029	0.4284	-0.3228
39	975	11.36	36.00	216518	1600919	19.80	W	25.0112	0.4108	0.4108	0.4108	-0.1365	1.9073	0.4108	-0.3108
40	1000	11.38	36.00	216504	1600919	19.80	W	25.2672	0.4104	0.4104	0.4104	-0.1337	1.9079	0.4104	-0.3104
41	25	13.30	34.00	217487	1600848	22.50	S	65.1600	0.4307	0.5031	0.5031	-0.1337	2.9742	0.5031	-0.4031
42	50	13.32	34.00	217487	1600822	24.70	S	80.8080	0.4591	0.5591	0.5591	-0.1819	4.9820	0.5591	-0.4591
43	75	13.34	34.00	217487	1600800	22.60	S	85.2000	0.4253	0.5025	0.5025	-0.1240	2.9955	0.5025	-0.4025
44	100	13.36	34.00	217487	1600774	25.20	S	85.0240	0.4602	0.5602	0.5560	-0.1751	5.0005	0.5702	-0.5020
45	125	13.38	34.00	217485	1600748	28.00	S	71.4800	0.5016	0.5569	0.7502	-0.2550	8.0335	0.5016	-0.5016

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
46	150	13.40	34.00	217485	1600724	23.20	S	73.9248	0.4324	0.5597	0.5324	-0.1319	3.0894	0.5324	-0.4324
47	175	13.42	36.00	217486	1600698	23.00	S	73.8240	0.4304	0.5420	0.5304	-0.1382	3.0883	0.5304	-0.4304
48	200	13.44	36.00	217484	1600674	24.30	S	83.3264	0.4525	0.5525	0.5525	-0.1604	4.0520	0.5525	-0.4525
49	225	13.46	36.00	217484	1600646	23.30	S	75.4400	0.4358	0.5578	0.5358	-0.1627	3.1244	0.5358	-0.4358
50	250	13.48	36.00	217484	1600620	28.00	S	79.6672	0.5100	0.5100	0.5100	-0.2070	8.2240	0.5100	-0.6510
51	275	13.50	36.00	217483	1600595	23.60	S	76.0400	0.4351	0.5510	0.5351	-0.1411	3.2330	0.5351	-0.5104
52	300	13.52	36.00	217483	1600570	24.50	S	87.4496	0.4579	0.5579	0.5579	-0.1598	4.1709	0.5579	-0.5786
53	325	13.54	36.00	217483	1600545	22.70	S	65.6400	0.4230	0.5060	0.5060	-0.1214	2.1272	0.5060	-0.5060
54	350	13.56	36.00	217484	1600519	25.80	S	85.7344	0.4605	0.5605	0.6051	-0.1443	5.1076	0.6051	-0.5069
55	375	13.58	36.00	217484	1600495	25.60	S	85.8676	0.4747	0.5561	0.6075	-0.1404	5.1645	0.6075	-0.5075
56	400	14.00	36.00	217487	1600469	22.00	S	62.2960	0.4131	0.5013	0.5013	-0.1213	2.3038	0.5013	-0.5013
57	425	14.02	36.00	217486	1600444	25.60	S	85.8864	0.6049	0.5049	0.5899	-0.1540	5.3506	0.5505	-0.5049
58	450	14.04	36.00	217491	1600421	25.00	S	85.9600	0.6014	0.5601	0.5560	-0.1747	5.3240	0.4560	-0.5014
59	475	14.06	36.00	217493	1600395	23.00	S	87.6416	0.4315	0.5467	0.5315	-0.1396	3.3442	0.5315	-0.5643
60	500	14.08	36.00	217494	1600368	23.70	S	84.4720	0.5355	0.5550	0.5355	-0.1200	3.3671	0.5355	-0.4355

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
61	525	14.10	36.00	217494	1600343	24.00	S	82.3840	0.4513	0.5513	0.5513	-0.1507	4.3052	0.5513	-0.4513
62	550	14.12	36.00	217494	1600319	23.80	S	88.2224	0.4388	0.5789	0.5388	-0.2152	3.1945	0.5388	-0.4388
63	575	14.14	36.00	217493	1600291	24.50	S	87.3024	0.4578	0.5578	0.5578	-0.1464	4.1710	0.5578	-0.4578
64	600	14.16	36.00	217493	1600265	26.60	S	97.7808	0.6561	0.5084	0.6561	-0.1890	6.1835	0.5608	-0.4561
65	625	14.18	36.00	217492	1600240	25.40	S	85.4400	0.4845	0.5048	0.6048	-0.1691	5.1024	0.5605	-0.4450
66	650	14.20	38.00	217491	1600217	22.00	S	62.5824	0.4287	0.5003	0.5003	-0.1385	2.0591	0.5003	-0.3400
67	675	14.22	38.00	217491	1600191	20.50	S	50.5600	0.3603	0.4560	0.4560	-0.1227	2.0127	0.4560	-0.3560
68	700	14.24	38.00	217492	1600165	20.00	S	50.0400	0.3783	0.4502	0.4502	-0.1175	2.9523	0.4502	-0.3502
69	725	14.26	38.00	217492	1600137	20.80	S	50.0800	0.3801	0.4580	0.4580	-0.1169	2.9749	0.4580	-0.3580
70	750	14.28	38.00	217491	1600114	17.20	S	43.6448	0.3518	0.3518	0.4352	-0.0957	1.7038	0.3518	-0.3518
71	775	14.30	38.00	217491	1600087	17.30	S	34.2544	0.3547	0.5470	0.4135	-0.0729	1.7099	0.3547	-0.4701
72	800	14.32	38.00	217493	1600061	17.00	S	32.8678	0.3505	0.3505	0.3505	-0.0769	1.7116	0.3505	-0.2505
73	825	14.34	38.00	217492	1600036	17.00	S	52.3200	0.3505	0.3505	0.4780	-0.0935	1.7100	0.3505	-0.2505
74	850	14.36	38.00	217492	1600010	20.00	S	50.7565	0.3845	0.5044	0.4504	-0.1183	2.0930	0.4504	-0.3504
75	875	14.38	38.00	217494	1599986	19.90	S	43.8368	0.4104	0.4104	0.4104	-0.1704	1.9089	0.4104	-0.3104

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
76	900	14.40	38.00	217494	1599960	18.90	S	48.9328	0.3404	0.3904	0.3904	-0.1780	1.9091	0.5390	-0.3329
77	925	14.42	38.00	217494	1599942	20.00	S	50.7248	0.3579	0.5064	0.4506	-0.1171	2.1369	0.5064	-0.3506
78	950	14.44	38.00	217493	1599937	17.80	S	56.5344	0.6073	0.3607	0.3607	-0.0655	1.7158	0.3607	-0.3261
79	975	14.46	38.00	217493	1599923	17.90	S	58.5440	0.3609	0.3609	0.3609	-0.0771	1.7208	0.3609	-0.3261
80	1000	14.48	38.00	217493	1599913	18.00	S	50.7120	0.6381	0.3811	0.3811	-0.0824	1.8237	0.3811	-0.3328
81	25	7.24	34.00	217490	1600899	30.70	N	90.2400	0.8274	0.7827	0.6674	-0.2469	10.9946	0.7983	-0.7783
82	50	7.26	34.00	217498	1600924	26.90	N	99.2016	0.8002	0.6222	0.6600	-0.1591	6.9956	0.7600	-0.7857
83	75	7.28	34.00	217495	1600946	30.20	N	81.4736	0.8202	0.6820	0.7820	-0.2657	10.9686	0.7820	-0.8202
84	100	7.30	34.00	217498	1600972	26.90	N	96.0976	0.6001	0.6113	0.7660	-0.1850	6.0026	0.7660	-0.5660
85	125	7.32	34.00	217499	1600998	30.20	N	88.2960	0.6421	0.8214	0.7821	-0.2536	10.0294	0.9821	-0.8214
86	150	7.34	34.40	217497	1601021	24.30	N	81.6000	0.4517	0.5517	0.8552	-0.1585	4.0358	0.5517	-0.4517
87	175	7.36	34.40	217498	1601045	30.00	N	108.8464	0.6202	0.6682	0.5582	-0.2721	10.0405	0.8202	-0.8202
88	200	7.38	34.40	217496	1601071	23.00	N	72.1152	0.4302	0.5302	0.5302	-0.1243	3.0470	0.5302	-0.4302
89	225	7.40	34.40	217500	1601095	24.10	N	82.5648	0.4278	0.5528	0.5528	-0.1909	4.0572	0.5528	-0.4528
90	250	7.42	34.40	217508	1601148	24.10	N	82.3840	0.4526	0.5526	0.5526	-0.1617	4.0533	0.5526	-0.4526

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
91	275	7.44	34.40	217509	1601174	23.90	N	73.6800	0.4340	0.5340	0.5340	-0.2109	3.0835	0.5340	-0.4340
92	300	7.46	34.40	217513	1601198	26.70	N	96.5600	0.5714	0.6350	0.5714	-0.1776	6.1549	0.5714	-0.4714
93	325	7.48	34.40	217514	1601222	30.00	N	86.0624	0.7207	0.6821	0.7821	-0.2748	10.1417	0.9821	-0.7782
94	350	7.50	35.00	217516	1601248	27.10	N	95.7440	0.7027	0.7027	0.7027	-0.2066	7.1568	0.8027	-0.7027
95	375	7.52	35.00	217517	1601271	27.40	N	94.6000	0.7053	0.7053	0.7053	-0.1887	7.2513	0.8053	-0.7053
96	400	7.54	35.00	217517	1601297	28.60	N	84.2800	0.7550	0.7000	0.7550	-0.2175	8.3536	0.8550	-0.7655
97	425	7.56	35.00	217520	1601321	27.80	N	97.3136	0.7074	0.7074	0.7074	-0.1810	7.3578	0.8074	-0.7074
98	450	7.58	35.00	217519	1601347	27.80	N	97.7808	0.7068	0.7068	0.7068	-0.1920	7.2845	0.8068	-0.7068
99	475	8.00	35.00	217519	1601370	28.70	N	100.3456	0.7563	0.7563	0.7563	-0.2097	8.2463	0.8563	-0.5629
100	500	8.02	35.00	217518	1601396	24.50	N	84.9136	0.7455	0.5555	0.7555	-0.1549	4.2359	0.8555	-0.5646
101	525	8.04	35.00	217517	1601420	27.20	N	96.3200	0.7100	0.7100	0.7100	-0.1981	7.2219	0.8100	-0.5567
102	550	8.06	35.00	217514	1601444	28.20	N	98.7104	0.7530	0.7530	0.7530	-0.2018	8.2054	0.8530	-0.5675
103	575	8.08	35.00	217513	1601469	26.50	N	97.8976	0.5445	0.6244	0.6544	-0.1782	6.1850	0.6544	-0.5445
104	600	8.10	36.00	217513	1601494	25.50	N	85.2752	0.4807	0.6078	0.6078	-0.1839	5.1695	0.6078	-0.5078
105	625	8.12	36.00	217511	1601519	24.90	N	88.2128	0.4559	0.5587	0.6871	-0.1523	4.1910	0.6559	-0.5871

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
106	650	8.14	36.00	217511	1601544	25.30	N	85.9664	0.4604	0.6036	0.6036	-0.1870	5.1827	0.6036	-0.5036
107	675	8.16	36.00	217510	1601569	25.00	N	85.8000	0.4716	0.6007	0.6007	-0.1887	5.1545	0.6007	-0.5007
108	700	8.18	36.00	217510	1601593	29.00	N	87.8080	0.8082	0.8082	0.6681	-0.2219	9.1802	0.9082	-0.5808
109	725	8.20	36.00	217509	1601619	30.00	N	99.0896	0.8210	0.8210	0.7182	-0.1864	10.2114	0.9082	-0.8210
110	750	8.22	36.00	217508	1601643	30.00	N	97.5600	0.7208	0.8208	0.7821	-0.2041	10.1758	0.8821	-0.7821
111	775	8.24	36.00	217508	1601668	27.80	N	97.9440	0.7084	0.6708	0.7784	-0.1922	7.1847	0.8084	-0.7084
112	800	8.26	36.00	217509	1601693	26.80	N	98.7760	0.7601	0.6112	0.7660	-0.1906	6.2521	0.8660	-0.6011
113	825	8.28	36.00	217509	1601719	28.90	N	91.9600	0.7612	0.6828	0.7612	-0.2184	8.2806	0.8761	-0.6123
114	850	8.30	36.00	217509	1601744	31.00	N	80.6752	0.7831	0.6831	0.8314	-0.2890	11.3336	0.8314	-0.6783
115	875	8.32	36.00	217507	1601766	31.00	N	90.5520	0.7831	0.7783	0.7831	-0.2949	11.3360	0.8314	-0.7883
116	900	8.34	36.00	217508	1601792	29.70	N	77.1968	0.7090	0.6681	0.7809	-0.2219	9.3510	0.8090	-0.7781
117	925	8.36	36.00	217507	1601818	28.90	N	79.9200	0.7599	0.6993	0.7599	-0.1459	8.5021	0.8599	-0.6599
118	950	8.38	36.00	217507	1601844	29.60	N	84.8800	0.7809	0.8409	0.8087	-0.2212	9.5334	0.9087	-0.6809
119	975	8.40	36.00	217508	1601866	32.00	N	95.6144	0.8522	0.7852	0.8522	-0.3140	12.3928	1.0852	-0.7852
120	1000	8.42	36.00	217510	1601884	32.00	N	81.7200	0.5250	0.6525	0.6525	-0.3217	12.2859	1.0853	-0.6853

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
121	25	12.00	36.00	217512	1600872	25.00	E	85.2000	0.4865	0.6100	0.5100	-0.1927	5.9955	0.6100	-0.5100
122	50	12.02	36.00	217536	1600870	23.40	E	63.7600	0.4335	0.5517	0.5335	-0.1461	3.0169	0.5335	-0.4335
123	75	12.04	36.00	217561	1600869	24.50	E	85.3008	0.4532	0.5532	0.5532	-0.1520	4.0069	0.5532	-0.4532
124	100	12.06	36.00	217586	1600868	20.00	E	58.0880	0.3668	0.4503	0.5033	-0.1193	2.0696	0.4503	-0.3503
125	125	12.08	36.00	217611	1600867	18.10	E	51.7600	0.3405	0.3805	0.3805	-0.0998	1.8060	0.4381	-0.3328
126	150	12.10	36.00	217636	1600866	20.80	E	56.5200	0.3863	0.4586	0.4586	-0.1121	2.1476	0.4586	-0.3586
127	175	12.12	36.00	217661	1600864	20.30	E	53.0944	0.3729	0.4537	0.4537	-0.1197	2.1892	0.4537	-0.3729
128	200	12.14	36.00	217685	1600863	22.60	E	68.2560	0.4088	0.4500	0.4509	-0.1948	2.1944	0.5088	-0.3509
129	225	12.16	36.00	217711	1600862	20.00	E	50.0800	0.3852	0.4509	0.4509	-0.2013	2.1867	0.4509	-0.3509
130	250	12.18	36.00	217735	1600859	20.40	E	56.1072	0.3800	0.4551	0.4551	-0.1960	2.1398	0.4551	-0.3551
131	275	12.20	36.00	217759	1600857	19.30	E	62.6000	0.4028	0.4028	0.4028	-0.1850	1.9059	0.4028	-0.3282
132	300	12.22	36.00	217784	1600853	19.20	E	62.6751	0.4011	0.4011	0.4011	-0.1978	1.9022	0.4011	-0.3110
133	325	12.24	36.00	217809	1600852	22.00	E	62.4000	0.4264	0.4026	0.4500	-0.1226	2.0544	0.4500	-0.3500
134	350	12.26	35.00	217834	1600849	21.90	E	63.6224	0.4040	0.4904	0.4904	-0.1225	2.0823	0.4904	-0.5139
135	375	12.28	35.00	217860	1600848	21.40	E	63.0800	0.4274	0.4843	0.4843	-0.1295	2.0711	0.4843	-0.5038

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
136	400	12.30	35.00	217882	1600847	25.20	E	85.1040	0.4901	0.6012	0.6012	-0.1689	5.0257	0.4601	-0.5012
137	425	12.32	35.00	217909	1600845	18.30	E	80.2176	0.4250	0.4825	0.4638	-0.0979	1.9951	0.4383	-0.3428
138	450	12.34	35.00	217932	1600843	19.10	E	48.6800	0.4007	0.4007	0.4007	-0.1265	1.9015	0.4007	-0.3007
139	475	12.36	35.00	217958	1600841	24.30	E	81.5056	0.4517	0.5517	0.5517	-0.1529	4.0345	0.5517	-0.5517
140	500	12.38	35.00	217982	1600838	24.10	E	81.7600	0.4520	0.5520	0.5200	-0.1529	4.0408	0.5520	-0.5520
141	525	12.40	35.00	218009	1600836	18.30	E	83.0128	0.4420	0.5384	0.4420	-0.0840	1.8093	0.3844	-0.3284
142	550	12.42	35.00	218033	1600834	19.40	E	58.8928	0.4054	0.5394	0.4054	-0.1223	1.9214	0.4054	-0.3054
143	575	12.44	35.00	218058	1600831	19.60	E	64.2432	0.4070	0.5407	0.4070	-0.1200	1.9354	0.4070	-0.3070
144	600	12.46	35.00	218082	1600831	21.60	E	62.8160	0.4194	0.6487	0.4873	-0.1203	2.3466	0.4873	-0.3339
145	625	12.48	35.00	218108	1600831	22.80	E	64.9760	0.4206	0.6510	0.5099	-0.1320	2.2989	0.5099	-0.3410
146	650	12.50	35.00	218133	1600831	22.50	E	64.0432	0.4269	0.5069	0.5069	-0.1218	2.2707	0.5069	-0.4069
147	675	12.52	35.00	218158	1600831	25.90	E	85.0768	0.4760	0.6076	0.5608	-0.1920	5.2414	0.5608	-0.4076
148	700	12.54	35.00	218183	1600830	24.70	E	89.7888	0.4587	0.4559	0.5587	-0.2128	4.2295	0.5587	-0.4587
149	725	12.56	35.00	218208	1600830	20.40	E	73.2736	0.5404	0.4540	0.4540	-0.1200	2.2159	0.5404	-0.3540
150	750	12.58	35.00	218234	1600829	18.70	E	67.0144	0.4325	0.4325	0.4439	-0.0868	1.8161	0.4387	-0.3287

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
151	775	13.00	35.00	218259	1600828	20.80	E	44.6400	0.4394	0.4594	0.4594	-0.1239	2.1041	0.4594	-0.3594
152	800	13.02	35.00	218284	1600827	20.50	E	54.6528	0.4916	0.4549	0.4549	-0.1227	2.1035	0.4549	-0.3575
153	825	13.04	35.00	218308	1600827	20.70	E	64.9344	0.4520	0.4552	0.4552	-0.1199	2.1097	0.4552	-0.3552
154	850	13.06	35.00	218332	1600827	22.90	E	64.3200	0.4249	0.4510	0.4551	-0.1206	2.0949	0.5105	-0.3045
155	875	13.08	35.00	218357	1600826	22.00	E	65.0880	0.4309	0.4830	0.5501	-0.1224	2.1124	0.5005	-0.3095
156	900	13.10	35.00	218382	1600826	23.00	E	65.8720	0.4306	0.4620	0.5306	-0.1568	3.1323	0.5306	-0.3062
157	925	13.12	35.00	218410	1600826	21.90	E	65.1776	0.4055	0.4906	0.4906	-0.1217	2.1176	0.4906	-0.3491
158	950	13.14	35.00	218432	1600825	23.00	E	63.7520	0.4304	0.5403	0.4304	-0.1910	3.0843	0.5304	-0.3040
159	975	13.16	35.00	218458	1600825	21.10	E	61.1568	0.4125	0.4812	0.4812	-0.1596	2.0257	0.4812	-0.3448
160	1000	13.18	35.00	218464	1600824	19.70	E	60.5008	0.4055	0.4055	0.4055	-0.1554	1.9011	0.4405	-0.3055

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลความชื้นในดินและดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 23 มีนาคม 2553

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(^{o}C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
1	25	10.20	36.00	217460	1600875	8.10	W	-1.0832	0.1720	0.2039	0.1039	-0.0230	0.8925	0.1204	-0.0204
2	50	10.22	36.00	217437	1600873	9.00	W	8.7904	0.1851	0.2505	0.1151	-0.0153	0.8981	0.1151	-0.0505
3	75	10.24	36.00	217415	1600871	8.90	W	-1.0128	0.1706	0.3064	0.1306	-0.0754	0.8806	0.1131	-0.0306
4	100	10.26	36.00	217388	1600872	8.70	W	-1.0354	0.1778	0.2778	0.1278	-0.0265	0.8934	0.1278	-0.0278
5	125	10.28	36.00	217365	1600871	8.60	W	-1.0528	0.1742	0.2742	0.1424	-0.0156	0.8937	0.1274	-0.0274
6	150	10.30	36.00	217338	1600871	8.60	W	-1.0468	0.1526	0.2526	0.1253	-0.0271	0.8900	0.1253	-0.0253
7	175	10.32	36.00	217314	1600870	7.60	W	-1.5360	0.1602	0.2060	0.1060	0.0018	0.7988	0.1206	-0.0106
8	200	10.34	36.00	217289	1600869	7.20	W	-1.8136	0.1755	0.2018	0.1018	0.0019	0.7107	0.1202	-0.0102
9	225	10.36	36.00	217265	1600872	8.50	W	-1.0524	0.1551	0.2551	0.1255	-0.0212	0.8118	0.1255	-0.0255
10	250	10.38	36.00	217239	1600874	8.30	W	-1.0880	0.1922	0.2249	0.1332	-0.0237	0.8105	0.1225	-0.0225
11	275	10.40	36.00	217214	1600874	9.10	W	8.9200	0.1852	0.2516	0.1516	-0.0123	0.9156	0.1252	-0.0516
12	300	10.42	36.00	217190	1600874	10.20	W	11.7328	0.1839	0.2839	0.1839	-0.0263	1.1934	0.1584	-0.0684
13	325	10.44	36.00	217165	1600876	8.70	W	-1.0624	0.1752	0.2498	0.1250	-0.0276	0.8235	0.1525	-0.0250
14	350	10.46	36.00	217138	1600879	9.10	W	8.4800	0.1707	0.2514	0.1514	-0.0127	0.9259	0.1514	-0.0514
15	375	10.48	36.00	217113	1600882	9.40	W	8.4000	0.1790	0.2548	0.1548	-0.0233	0.9233	0.1548	-0.0548

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
16	400	10.50	36.00	217091	1600885	8.90	W	-1.0105	0.1935	0.2346	0.1429	-0.0176	0.8248	0.1293	-0.0293
17	425	10.52	36.00	217066	1600884	10.90	W	11.3648	0.1884	0.2884	0.1410	-0.0232	1.9000	0.1288	-0.0410
18	450	10.54	36.00	217040	1600884	10.60	W	11.8464	0.1859	0.2186	0.1417	-0.0228	1.6980	0.1486	-0.0594
19	475	10.56	36.00	217017	1600881	9.20	W	8.2272	0.1825	0.2511	0.1245	-0.0144	0.9039	0.1511	-0.0511
20	500	10.58	36.00	216990	1600882	9.20	W	8.4320	0.1852	0.2525	0.1470	-0.0152	0.9004	0.1525	-0.0525
21	525	11.00	36.00	216966	1600881	7.50	W	-1.5600	0.1645	0.2043	0.1204	0.0015	0.7184	0.1043	-0.0104
22	550	11.02	36.00	216942	1600883	8.40	W	-1.0690	0.1644	0.2464	0.1246	-0.0240	0.8911	0.1246	-0.0246
23	575	11.04	36.00	216915	1600885	8.20	W	-1.0857	0.1762	0.2476	0.1248	-0.0200	0.8909	0.1248	-0.0248
24	600	11.06	36.00	216891	1600888	7.80	W	-1.2608	0.1845	0.2085	0.1208	0.0013	0.7925	0.1085	-0.0108
25	625	11.08	36.00	216867	1600890	9.00	W	8.8528	0.1930	0.2505	0.1505	-0.0138	0.9122	0.1250	-0.0505
26	650	11.10	36.00	216842	1600893	8.30	W	-1.0734	0.1800	0.2480	0.1248	-0.0147	0.8908	0.1248	-0.0248
27	675	11.12	36.00	216817	1600894	7.50	W	-1.5600	0.1699	0.2047	0.1205	0.0014	0.7910	0.1205	-0.0105
28	700	11.14	36.00	216791	1600895	9.10	W	8.8800	0.1853	0.2525	0.1525	-0.0131	0.9116	0.1453	-0.0525
29	725	11.16	36.00	216766	1600896	9.40	W	8.8400	0.1855	0.2546	0.1459	-0.0132	0.9122	0.1459	-0.0546
30	750	11.18	36.00	216743	1600897	7.90	W	-1.1200	0.1922	0.2110	0.1105	0.0014	0.7906	0.1335	-0.0110

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
31	775	11.20	36.00	216716	1600899	8.70	W	-1.0280	0.1804	0.2508	0.1251	-0.0146	0.8903	0.1251	-0.0251
32	800	11.22	36.00	216691	1600902	8.20	W	-1.0848	0.1816	0.2482	0.1482	-0.0258	0.8908	0.1248	-0.0248
33	825	11.24	36.00	216668	1600905	8.70	W	-1.0358	0.1846	0.2846	0.1457	-0.0270	0.8918	0.1285	-0.0285
34	850	11.26	36.00	216643	1600906	9.50	W	8.8960	0.1929	0.2546	0.1546	-0.0151	0.9340	0.1546	-0.0546
35	875	11.28	36.00	216618	1600909	8.70	W	-1.0377	0.1925	0.2453	0.1292	-0.0161	0.8959	0.1529	-0.0292
36	900	11.30	36.00	216593	1600911	9.10	W	8.4960	0.1914	0.2507	0.1507	-0.0150	0.9221	0.1507	-0.0507
37	925	11.32	36.00	216568	1600914	9.20	W	8.3120	0.1828	0.2538	0.1538	-0.0180	0.9886	0.1538	-0.0538
38	950	11.34	36.00	216544	1600918	9.00	W	8.7536	0.1850	0.2503	0.1503	-0.0159	0.9420	0.1503	-0.0503
39	975	11.36	36.00	216518	1600919	8.90	W	-1.0200	0.1710	0.2303	0.1303	-0.0152	0.8942	0.1303	-0.0303
40	1000	11.38	36.00	216504	1600919	8.10	W	-1.0912	0.1959	0.2196	0.1220	-0.0399	0.8920	0.1220	-0.0220
41	25	13.30	34.00	217487	1600848	7.10	S	-1.0800	0.1850	0.2024	0.1102	0.0014	0.7953	0.1024	-0.0102
42	50	13.32	34.00	217487	1600822	7.90	S	-1.0560	0.1711	0.2102	0.1102	0.0014	0.7954	0.1102	-0.0110
43	75	13.34	34.00	217487	1600800	6.70	S	-2.3872	0.0875	0.1749	0.1087	0.1349	0.6921	0.1087	-0.0087
44	100	13.36	34.00	217487	1600774	8.00	S	-1.0888	0.1685	0.2437	0.1082	-0.0159	0.8991	0.1200	-0.0120
45	125	13.38	34.00	217485	1600748	9.30	S	8.6976	0.1853	0.2532	0.1532	-0.0181	0.9637	0.1532	-0.0532

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
46	150	13.40	34.00	217485	1600724	8.50	S	-1.0474	0.1779	0.2779	0.1278	-0.0249	0.8927	0.1278	-0.0278
47	175	13.42	36.00	217486	1600698	6.60	S	-2.1792	0.0863	0.1635	0.1209	0.1635	0.6933	0.1086	-0.0086
48	200	13.44	36.00	217484	1600674	8.90	S	-1.0168	0.1749	0.2304	0.1130	-0.0147	0.8922	0.1030	-0.0304
49	225	13.46	36.00	217484	1600646	8.80	S	-1.0160	0.1553	0.2304	0.1304	-0.0279	0.8931	0.1030	-0.0304
50	250	13.48	36.00	217484	1600620	7.70	S	-1.4080	0.1767	0.1077	0.1308	0.0016	0.7932	0.1077	-0.0108
51	275	13.50	36.00	217483	1600595	6.40	S	-2.8480	0.0840	0.1400	0.1108	0.1554	0.6939	0.1084	-0.0084
52	300	13.52	36.00	217483	1600570	8.10	S	-1.0954	0.1200	0.2458	0.1082	-0.0397	0.8013	0.1020	-0.0200
53	325	13.54	36.00	217483	1600545	7.00	S	-1.8800	0.1654	0.2012	0.1012	0.0014	0.7045	0.1012	-0.0101
54	350	13.56	36.00	217484	1600519	8.30	S	-1.0757	0.1797	0.2380	0.1238	-0.0229	0.9169	0.1024	-0.0238
55	375	13.58	36.00	217484	1600495	8.10	S	-1.0837	0.1589	0.2136	0.1214	-0.0331	0.8500	0.1021	-0.0214
56	400	14.00	36.00	217487	1600469	4.80	S	-4.6832	0.0570	0.1306	0.1001	0.1982	0.3622	0.1001	-0.0057
57	425	14.02	36.00	217486	1600444	5.50	S	-3.7856	0.0655	0.1655	0.0655	0.1795	0.5130	0.0655	-0.0065
58	450	14.04	36.00	217491	1600421	5.30	S	-3.2608	0.0630	0.1630	0.0630	0.1720	0.4511	0.0630	-0.0063
59	475	14.06	36.00	217493	1600395	5.80	S	-3.6800	0.0672	0.1672	0.0672	0.1614	0.4681	0.0672	-0.0067
60	500	14.08	36.00	217494	1600368	7.20	S	-1.6992	0.1516	0.2025	0.1025	0.0018	0.8512	0.1025	-0.0103

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
61	525	14.10	36.00	217494	1600343	8.20	S	-1.0720	0.1828	0.2183	0.1218	-0.0189	0.8964	0.1218	-0.0218
62	550	14.12	36.00	217494	1600319	7.60	S	-1.4000	0.1901	0.2090	0.1109	0.0018	0.7000	0.1090	-0.0109
63	575	14.14	36.00	217493	1600291	7.20	S	-1.6400	0.1981	0.2040	0.1040	0.0015	0.7100	0.1040	-0.0104
64	600	14.16	36.00	217493	1600265	6.30	S	-2.6240	0.1583	0.1569	0.0826	0.1611	0.6898	0.0826	-0.0083
65	625	14.18	36.00	217492	1600240	6.80	S	-2.1856	0.1509	0.1635	0.0864	0.1706	0.6343	0.0864	-0.0086
66	650	14.20	38.00	217491	1600217	6.20	S	-2.1600	0.1508	0.1466	0.0811	0.1896	0.5273	0.0811	-0.0081
67	675	14.22	38.00	217491	1600191	6.40	S	-2.6000	0.1583	0.1831	0.0831	0.1949	0.5049	0.0831	-0.0083
68	700	14.24	38.00	217492	1600165	6.80	S	-2.7584	0.1590	0.1424	0.0890	0.1761	0.5509	0.0890	-0.0089
69	725	14.26	38.00	217492	1600137	6.40	S	-2.5360	0.1557	0.1569	0.0857	0.1909	0.7012	0.0857	-0.0086
70	750	14.28	38.00	217491	1600114	6.80	S	-2.2944	0.1591	0.1891	0.0891	0.1789	0.5297	0.0891	-0.0089
71	775	14.30	38.00	217491	1600087	8.70	S	-1.0200	0.1751	0.2875	0.1288	-0.0297	0.9304	0.1288	-0.0288
72	800	14.32	38.00	217493	1600061	8.50	S	-1.0480	0.1715	0.2471	0.1247	-0.0200	0.9901	0.1247	-0.0247
73	825	14.34	38.00	217492	1600036	9.00	S	8.4048	0.1851	0.2506	0.1251	-0.0121	0.8687	0.1506	-0.0506
74	850	14.36	38.00	217492	1600010	8.40	S	-1.0515	0.1723	0.2341	0.1234	-0.0207	0.8210	0.1234	-0.0234
75	875	14.38	38.00	217494	1599986	7.40	S	-1.5760	0.1685	0.2068	0.1068	0.0022	0.7405	0.1068	-0.0107

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
76	900	14.40	38.00	217494	1599960	8.90	S	-1.0144	0.1738	0.2305	0.1049	-0.0235	0.8991	0.1305	-0.0305
77	925	14.42	38.00	217494	1599942	8.00	S	-1.1000	0.1675	0.2046	0.1205	-0.0236	0.9576	0.1205	-0.0205
78	950	14.44	38.00	217493	1599937	8.40	S	-1.0628	0.1618	0.2462	0.1246	-0.0235	0.9693	0.1246	-0.0246
79	975	14.46	38.00	217493	1599923	8.80	S	-1.0400	0.1863	0.2863	0.1286	-0.0230	0.8025	0.1286	-0.0286
80	1000	14.48	38.00	217493	1599913	6.40	S	-2.6000	0.1568	0.1497	0.0850	0.1228	0.6105	0.0850	-0.0085
81	25	7.45	34.00	217490	1600899	6.00	N	-2.9776	0.1504	0.1400	0.0804	0.1631	0.6915	0.0804	-0.0080
82	50	7.47	34.00	217498	1600924	5.90	N	-3.5440	0.0694	0.1069	0.0424	0.1628	0.5924	0.0694	-0.0069
83	75	7.49	34.00	217495	1600946	5.50	N	-3.1200	0.0644	0.1064	0.0644	0.1597	0.5934	0.0644	-0.0064
84	100	7.51	34.00	217498	1600972	6.10	N	-2.4000	0.1565	0.1652	0.0827	0.1629	0.4838	0.0827	-0.0083
85	125	7.53	34.00	217499	1600998	4.30	N	-4.4400	0.0527	0.1053	0.0665	0.1657	0.4769	0.0527	-0.0053
86	150	7.55	34.40	217497	1601021	5.20	N	-3.3600	0.0626	0.1063	0.0626	0.1628	0.4979	0.0626	-0.0063
87	175	7.57	34.40	217498	1601045	5.40	N	-3.5200	0.0631	0.1063	0.0631	0.1655	0.4690	0.0631	-0.0063
88	200	7.59	34.40	217496	1601071	6.10	N	-2.3200	0.1534	0.1423	0.0813	0.1804	0.6339	0.0813	-0.0081
89	225	8.00	34.40	217500	1601095	6.60	N	-2.4224	0.1552	0.1519	0.1001	0.1670	0.6321	0.0864	-0.0086
90	250	8.02	34.40	217508	1601148	6.00	N	-2.3360	0.1580	0.1680	0.0827	0.1307	0.4996	0.0827	-0.0083

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
91	275	8.04	34.40	217509	1601174	6.70	N	-2.2304	0.1520	0.1620	0.0862	0.1276	0.5362	0.0862	-0.0086
92	300	0.06	34.40	217513	1601198	7.80	N	-1.2800	0.1635	0.2064	0.1064	0.0014	0.7156	0.1064	-0.0106
93	325	8.08	34.40	217514	1601222	8.00	N	-1.0966	0.1783	0.2202	0.1202	-0.0215	0.7009	0.1202	-0.0202
94	350	8.10	35.00	217516	1601248	5.70	N	-3.1040	0.0663	0.1066	0.0663	0.1186	0.6923	0.0663	-0.0066
95	375	8.12	35.00	217517	1601271	4.30	N	-4.5465	0.0546	0.1055	0.0546	0.1569	0.3238	0.0546	-0.0055
96	400	8.14	35.00	217517	1601297	5.50	N	-3.8000	0.0667	0.1067	0.0447	0.1566	0.4400	0.0667	-0.0067
97	425	8.16	35.00	217520	1601321	4.30	N	-4.0448	0.0546	0.1055	0.0546	0.1403	0.3329	0.0546	-0.0055
98	450	8.18	35.00	217519	1601347	4.00	N	-4.6400	0.0501	0.1050	0.0501	0.1419	0.3570	0.0501	-0.0050
99	475	8.20	35.00	217519	1601370	4.50	N	-4.9024	0.0550	0.1055	0.0450	0.1527	0.5667	0.0550	-0.0055
100	500	8.22	35.00	217518	1601396	7.10	N	-1.8800	0.1709	0.2007	0.1007	0.0018	0.7503	0.1007	-0.0101
101	525	8.24	35.00	217517	1601420	6.20	N	-2.3776	0.1449	0.1491	0.1082	0.1202	0.6770	0.0825	-0.0082
102	550	8.26	35.00	217514	1601444	5.60	N	-3.8800	0.0661	0.1066	0.0661	0.1205	0.5130	0.0661	-0.0066
103	575	8.28	35.00	217513	1601469	5.60	N	-3.0800	0.0668	0.1067	0.0668	0.1951	0.5092	0.0668	-0.0067
104	600	8.30	36.00	217513	1601494	8.20	N	-1.0840	0.1949	0.2249	0.1249	-0.0209	0.8042	0.0749	-0.0249
105	625	8.32	36.00	217511	1601519	4.10	N	-4.3136	0.0537	0.1054	0.0537	0.1431	0.7614	0.1021	-0.0054

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
106	650	8.34	36.00	217511	1601544	5.70	N	-3.2944	0.0653	0.1065	0.0653	0.1945	0.4064	0.0653	-0.0065
107	675	8.36	36.00	217510	1601569	5.40	N	-3.6496	0.0647	0.1065	0.0647	0.1884	0.5444	0.0647	-0.0065
108	700	8.38	36.00	217510	1601593	5.40	N	-3.6048	0.0658	0.1066	0.0658	0.1816	0.5360	0.0658	-0.0066
109	725	8.40	36.00	217509	1601619	5.80	N	-3.3984	0.0695	0.1070	0.1001	0.1832	0.8271	0.0695	-0.0070
110	750	8.42	36.00	217508	1601643	6.00	N	-2.7520	0.1508	0.1604	0.0801	0.1539	0.4652	0.0801	-0.0080
111	775	8.44	36.00	217508	1601668	6.70	N	-2.4080	0.1563	0.1631	0.0863	0.1649	0.5741	0.0863	-0.0086
112	800	8.46	36.00	217509	1601693	6.30	N	-2.6000	0.1597	0.1500	0.0830	0.1386	0.5416	0.0830	-0.0083
113	825	8.48	36.00	217509	1601719	6.20	N	-2.0928	0.1546	0.1465	0.0815	0.1448	0.7753	0.0815	-0.0081
114	850	8.50	36.00	217509	1601744	7.30	N	-1.7216	0.1403	0.2040	0.1040	0.0013	0.7042	0.1040	-0.0104
115	875	8.52	36.00	217507	1601766	7.10	N	-1.7488	0.1927	0.2029	0.1029	0.0087	0.8310	0.1029	-0.0103
116	900	8.54	36.00	217508	1601792	7.50	N	-1.5076	0.1538	0.2054	0.1054	0.0010	0.6409	0.1054	-0.0105
117	925	8.56	36.00	217507	1601818	7.50	N	-1.2960	0.1670	0.2067	0.1067	0.0013	0.7503	0.1067	-0.0107
118	950	8.58	36.00	217507	1601844	6.70	N	-2.0800	0.1568	0.1677	0.0868	0.1571	0.6355	0.0868	-0.0087
119	975	9.00	36.00	217508	1601866	6.20	N	-2.6400	0.0827	0.1524	0.0827	0.1213	0.7221	0.0827	-0.0083
120	1000	9.02	36.00	217510	1601884	5.50	N	-3.0880	0.0640	0.1064	0.0640	0.1082	0.4917	0.0540	-0.0064

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
121	25	12.00	36.00	217512	1600872	3.00	E	-5.9360	0.0404	0.1040	0.0404	0.2648	0.1619	0.0530	-0.0040
122	50	12.02	36.00	217536	1600870	6.90	E	-3.0800	0.1597	0.1670	0.0897	0.1532	0.6934	0.0897	-0.0090
123	75	12.04	36.00	217561	1600869	6.60	E	-3.0736	0.1565	0.1651	0.0865	0.1602	0.6935	0.0865	-0.0087
124	100	12.06	36.00	217586	1600868	6.90	E	-3.0032	0.0815	0.1515	0.0852	0.1662	0.6937	0.0852	-0.0085
125	125	12.08	36.00	217611	1600867	7.20	E	-1.8000	0.1581	0.2023	0.1023	0.0017	0.7956	0.0823	-0.0102
126	150	12.10	36.00	217636	1600866	6.90	E	-2.0032	0.1573	0.1730	0.1001	0.1622	0.5656	0.0873	-0.0087
127	175	12.12	36.00	217661	1600864	4.70	E	-4.0800	0.0588	0.1059	0.0588	0.1591	0.5306	0.0588	-0.0059
128	200	12.14	36.00	217685	1600863	5.00	E	-3.6192	0.0607	0.1061	0.0607	0.1604	0.4087	0.0607	-0.0061
129	225	12.16	36.00	217711	1600862	4.90	E	-4.5360	0.0600	0.0600	0.1006	0.1740	0.3219	0.0600	-0.0060
130	250	12.18	36.00	217735	1600859	4.90	E	-4.1952	0.0602	0.0602	0.1060	0.1528	0.3701	0.0602	-0.0060
131	275	12.20	36.00	217759	1600857	6.90	E	-2.2880	0.1500	0.1300	0.1089	0.1922	0.6247	0.0893	-0.0089
132	300	12.22	36.00	217784	1600853	6.40	E	-2.0512	0.1542	0.1421	0.1084	0.2461	0.5687	0.0842	-0.0084
133	325	12.24	36.00	217809	1600852	7.70	E	-1.3080	0.1809	0.2081	0.1081	0.0025	0.7447	0.0809	-0.0108
134	350	12.26	35.00	217834	1600849	6.30	E	-2.9456	0.1541	0.1414	0.0841	0.1630	0.7880	0.0841	-0.0084
135	375	12.28	35.00	217860	1600848	6.90	E	-2.8864	0.1557	0.1566	0.0896	0.1879	0.7051	0.0896	-0.0090

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
136	400	12.30	35.00	217882	1600847	7.70	E	-1.3624	0.1688	0.2069	0.1069	0.0016	0.8800	0.0885	-0.0107
137	425	12.32	35.00	217909	1600845	4.50	E	-4.5568	0.0553	0.1055	0.1055	0.1902	0.3133	0.0806	-0.0055
138	450	12.34	35.00	217932	1600843	7.10	E	-1.9741	0.1309	0.2031	0.1031	0.0023	0.7113	0.1031	-0.0103
139	475	12.36	35.00	217958	1600841	7.30	E	-1.5200	0.1404	0.2040	0.1040	0.0022	0.7887	0.1040	-0.0104
140	500	12.38	35.00	217982	1600838	7.60	E	-1.5840	0.1914	0.2059	0.1059	0.0055	0.8825	0.1059	-0.0106
141	525	12.40	35.00	218009	1600836	5.60	E	-3.8128	0.0652	0.1652	0.1065	0.1760	0.6106	0.1007	-0.0065
142	550	12.42	35.00	218033	1600834	6.30	E	-2.5040	0.1551	0.1510	0.1083	0.1577	0.6709	0.1025	-0.0083
143	575	12.44	35.00	218058	1600831	7.10	E	-1.3600	0.1784	0.2028	0.1028	0.0014	0.7726	0.1028	-0.0103
144	600	12.46	35.00	218082	1600831	7.80	E	-1.2752	0.1770	0.2077	0.1477	0.0014	0.7676	0.1077	-0.0108
145	625	12.48	35.00	218108	1600831	7.50	E	-1.5320	0.1509	0.2051	0.1051	0.0014	0.7598	0.1051	-0.0105
146	650	12.50	35.00	218133	1600831	7.70	E	-1.3776	0.1733	0.2073	0.1073	0.0014	0.7546	0.1073	-0.0107
147	675	12.52	35.00	218158	1600831	7.50	E	-1.6000	0.1538	0.2054	0.1054	0.0013	0.7241	0.1054	-0.0105
148	700	12.54	35.00	218183	1600830	9.00	E	8.9520	0.1527	0.2527	0.1527	-0.1183	0.8845	0.1053	-0.0527
149	725	12.56	35.00	218208	1600830	8.80	E	-1.0640	0.1911	0.1291	0.1291	-0.0238	0.7028	0.1029	-0.0291
150	750	12.58	35.00	218234	1600829	8.30	E	-1.0950	0.1512	0.1225	0.1225	-0.0255	0.9329	0.1023	-0.0225

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
151	775	13.00	35.00	218259	1600828	7.10	E	-1.6400	0.1962	0.1020	0.1020	0.0012	0.8414	0.1020	-0.0196
152	800	13.02	35.00	218284	1600827	6.40	E	-2.5520	0.1529	0.1329	0.1083	0.1181	0.6599	0.1008	-0.0198
153	825	13.04	35.00	218308	1600827	6.40	E	-2.0800	0.1479	0.1400	0.1108	0.1175	0.7272	0.1008	-0.0084
154	850	13.06	35.00	218332	1600827	7.50	E	-1.4560	0.1734	0.1037	0.1037	0.0091	0.7664	0.1037	-0.0104
155	875	13.08	35.00	218357	1600826	7.50	E	-1.5712	0.1549	0.1055	0.1055	0.0082	0.7334	0.1055	-0.0105
156	900	13.10	35.00	218382	1600826	6.80	E	-2.8016	0.1531	0.1731	0.1001	0.1036	0.6181	0.1009	-0.0087
157	925	13.12	35.00	218410	1600826	7.00	E	-1.5762	0.1743	0.1003	0.1003	0.0013	0.8553	0.1003	-0.0100
158	950	13.14	35.00	218432	1600825	7.80	E	-1.3968	0.1862	0.1086	0.1086	0.0015	0.7990	0.1086	-0.0109
159	975	13.16	35.00	218458	1600825	7.70	E	-1.3552	0.1770	0.1077	0.1077	0.0015	0.6537	0.1077	-0.0108
160	1000	13.18	35.00	218464	1600824	7.00	E	-1.5800	0.1620	0.1002	0.1002	0.0016	0.6007	0.1002	-0.0100

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 ข้อมูลความชื้นในดินและดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 16 พฤษภาคม 2552

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(^{o}C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
1	25	14.30	34.00	217460	1600875	26.30	W	96.9520	0.4348	0.6348	0.6535	2.4769	-0.1611	0.5348	-0.5348
2	50	14.34	34.00	217437	1600873	26.40	W	91.2000	0.5470	0.6297	0.6547	1.7243	-0.1522	0.4755	-0.5470
3	75	14.37	34.00	217415	1600871	18.40	W	42.6864	0.3471	0.4712	0.3847	1.9550	-0.0662	0.4712	-0.2995
4	100	14.39	34.00	217388	1600872	27.10	W	85.4816	0.5633	0.7011	0.7011	2.0177	-0.1949	0.5801	-0.6011
5	125	14.42	34.00	217365	1600871	18.00	W	40.9232	0.3410	0.4103	0.3810	1.8370	-0.0600	0.3810	-0.2810
6	150	14.43	35.00	217338	1600871	17.70	W	37.7840	0.3252	0.3552	0.3552	1.7922	-0.0896	0.3552	-0.2552
7	175	14.45	36.00	217314	1600870	17.90	W	40.0032	0.3209	0.3609	0.3609	1.7844	-0.0875	0.3609	-0.2609
8	200	14.46	34.50	217289	1600869	16.60	W	69.4288	0.3257	0.3257	0.3257	1.6520	-0.0714	0.3257	-0.2572
9	225	14.48	34.50	217265	1600872	19.50	W	44.2944	0.4044	0.4044	0.4044	1.9617	-0.1220	0.4044	-0.3044
10	250	14.50	35.00	217239	1600874	20.00	W	50.9584	0.4712	0.4511	0.4511	1.9449	-0.1180	0.4511	-0.3511
11	275	14.51	35.50	217214	1600874	19.30	W	44.8176	0.4031	0.4031	0.4031	1.9455	-0.0313	0.4031	-0.3031
12	300	14.53	35.00	217190	1600874	20.20	W	42.9568	0.3893	0.4531	0.4531	1.9178	-0.1105	0.4531	-0.3531
13	325	14.54	36.00	217165	1600876	17.60	W	45.0608	0.3278	0.4358	0.3578	1.7541	-0.0923	0.4458	-0.2578
14	350	14.56	36.00	217138	1600879	18.70	W	47.9072	0.3452	0.4151	0.5151	1.8204	-0.0525	0.4152	-0.2894
15	375	14.57	35.50	217113	1600882	15.50	W	35.1248	0.3061	0.3607	0.3061	1.5195	-0.1173	0.3061	-0.3061

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
16	400	14.58	35.50	217091	1600885	18.80	W	43.3360	0.3466	0.4659	0.3866	1.8857	-0.0989	0.3866	-0.2866
17	425	14.59	35.50	217066	1600884	18.40	W	40.9952	0.3466	0.4661	0.3866	1.8934	-0.0800	0.3866	-0.2866
18	450	15.00	34.50	217040	1600884	23.80	W	76.3024	0.4370	0.5704	0.5370	2.3276	-0.1303	0.5370	-0.4370
19	475	15.01	34.00	217017	1600881	23.60	W	78.2080	0.4389	0.5474	0.5389	1.4895	-0.1775	0.5389	-0.4389
20	500	15.03	34.00	216990	1600882	27.80	W	78.3488	0.5630	0.6080	0.7080	2.2177	-0.1964	0.6581	-0.6080
21	550	15.07	33.00	216942	1600883	26.20	W	92.4400	0.6520	0.6520	0.6520	2.0104	-0.1667	0.6520	-0.6520
22	575	15.10	33.50	216915	1600885	21.90	W	60.6256	0.4007	0.4901	0.4901	1.6148	-0.1213	0.6490	-0.3901
23	600	15.11	33.00	216891	1600888	22.90	W	65.5600	0.5101	0.5101	0.5101	1.7133	-0.1374	0.5101	-0.4101
24	625	15.13	33.00	216867	1600890	16.00	W	30.7840	0.3201	0.3201	0.3201	1.9825	-0.0802	0.3201	-0.2009
25	650	15.14	33.00	216842	1600893	18.30	W	41.4800	0.3417	0.4170	0.3817	1.9669	-0.0997	0.3817	-0.2817
26	675	15.15	33.00	216817	1600894	14.40	W	25.9600	0.2896	0.2896	0.2896	1.4161	-0.1416	0.2896	-0.2896
27	700	15.16	33.00	216791	1600895	15.60	W	25.9984	0.3065	0.3654	0.3065	1.5431	-0.1077	0.3065	-0.2065
28	725	15.17	33.00	216766	1600896	17.00	W	32.6512	0.3177	0.3518	0.3518	1.7479	-0.0922	0.3518	-0.2518
29	750	15.18	33.00	216743	1600897	12.90	W	35.2080	0.2596	0.5964	0.2596	1.2407	-0.1075	0.3596	-0.2596
30	775	15.19	33.00	216716	1600899	14.10	W	33.5952	0.2812	0.4281	0.2812	1.4086	-0.1445	0.3812	-0.2812

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
31	800	15.20	33.00	216691	1600902	18.00	W	40.7472	0.3801	0.4380	0.3801	1.8018	-0.0742	0.3801	-0.2801
32	825	15.21	33.00	216668	1600905	19.60	W	41.5488	0.4052	0.4052	0.4052	1.9085	-0.1259	0.4052	-0.4052
33	850	15.22	33.00	216643	1600906	16.20	W	42.1504	0.3236	0.3236	0.3236	1.6075	-0.0678	0.3236	-0.2356
34	875	15.23	33.00	216618	1600909	19.10	W	48.9776	0.4028	0.4028	0.4028	1.9232	-0.1454	0.3028	-0.4028
35	900	15.24	33.00	216593	1600911	16.60	W	48.2656	0.3276	0.3276	0.3276	1.6226	-0.0657	0.3276	-0.2757
36	925	15.25	33.00	216568	1600914	18.10	W	42.5376	0.3416	0.4159	0.3816	1.9860	-0.0830	0.3816	-0.2816
37	950	15.27	33.00	216544	1600918	15.30	W	25.2320	0.3037	0.3366	0.3037	1.5981	-0.0821	0.3037	-0.2037
38	975	15.28	33.00	216518	1600919	16.50	W	36.6400	0.2326	0.3262	0.2326	1.5583	-0.0700	0.2326	-0.2326
39	1000	15.30	33.00	216489	1600919	13.60	W	34.3712	0.2660	0.4266	0.2660	1.3061	-0.0412	0.2660	-0.2660
40	25	8.23	31.50	217487	1600848	19.70	S	45.6118	0.4072	0.4072	0.4072	1.2218	-0.1494	0.2407	-0.3072
41	50	8.26	31.50	217487	1600822	19.70	S	45.4000	0.4073	0.4073	0.4073	1.3664	-0.1498	0.3073	-0.3073
42	75	8.28	31.50	217487	1600800	25.80	S	85.8480	0.4731	0.5756	0.6073	1.4269	-0.1422	0.3707	-0.6073
43	100	8.30	31.50	217487	1600774	17.50	S	34.0400	0.3271	0.3557	0.3557	1.0057	-0.0744	0.3557	-0.2557
44	125	8.40	31.50	217485	1600748	15.10	S	32.8720	0.3017	0.3169	0.3017	1.4751	-0.1128	0.3017	-0.2017
45	150	8.43	31.50	217485	1600724	14.20	S	32.1296	0.3999	0.3999	0.2840	1.7544	-0.0694	0.3999	-0.2840

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
46	175	8.45	31.50	217486	1600698	16.50	S	37.2720	0.3267	0.3267	0.3267	1.2455	-0.0640	0.3267	-0.2673
47	200	8.46	32.00	217484	1600674	17.00	S	33.0832	0.3254	0.3533	0.3533	1.5455	-0.0911	0.3533	-0.2533
48	225	8.49	32.00	217484	1600646	21.60	S	43.1088	0.4087	0.4868	0.4868	1.5781	-0.1209	0.3149	-0.3868
49	250	8.50	32.00	217484	1600620	17.00	S	32.6256	0.3376	0.3538	0.3538	1.7867	-0.0823	0.3538	-0.2538
50	275	8.52	32.00	217483	1600595	18.00	S	30.9664	0.3460	0.4597	0.3846	1.8700	-0.0876	0.3846	-0.2846
51	300	8.53	32.00	217483	1600570	15.80	S	35.4592	0.3099	0.3099	0.3099	1.1061	-0.0089	0.3099	-0.2099
52	325	8.54	32.00	217483	1600545	14.90	S	28.1056	0.2905	0.2905	0.2905	1.2286	-0.0576	0.3291	-0.2905
53	350	8.58	32.00	217484	1600519	23.20	S	71.2032	0.5359	0.5587	0.5359	1.8566	-0.1578	0.5359	-0.5359
54	375	8.59	32.00	217484	1600495	31.60	S	80.5040	0.5784	0.6095	0.8361	2.6253	-0.2751	0.6684	-0.8361
55	400	9.02	32.00	217487	1600469	27.00	S	75.5280	0.5416	0.6701	0.7014	2.0265	-0.1753	0.5680	-0.7014
56	425	9.05	32.00	217486	1600444	30.00	S	88.3152	0.5931	0.6593	0.5931	1.9216	-0.0734	0.5931	-0.5931
57	450	9.07	32.00	217491	1600421	25.80	S	67.8800	0.4962	0.6096	0.6096	1.9629	-0.0922	0.5096	-0.6096
58	475	9.09	32.00	217493	1600395	22.30	S	84.5648	0.3215	0.5022	0.5022	2.2967	-0.1438	0.5022	-0.5022
59	500	9.11	32.00	217494	1600368	16.90	S	38.9200	0.3337	0.3337	0.3337	1.6199	-0.0740	0.3337	-0.2337
60	525	9.13	32.00	217494	1600343	16.00	S	30.9440	0.3207	0.3207	0.3207	1.7968	-0.0803	0.3207	-0.2065

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
61	550	9.14	32.00	217494	1600319	15.60	S	20.6896	0.3067	0.3675	0.3067	1.1537	-0.1129	0.3067	-0.2067
62	575	9.15	32.00	217493	1600291	15.00	S	35.7936	0.3007	0.3670	0.3007	1.0909	-0.1141	0.3007	-0.2007
63	600	9.16	32.00	217493	1600265	15.00	S	25.5216	0.3005	0.3643	0.3005	1.2518	-0.0453	0.3005	-0.2005
64	625	9.17	32.00	217492	1600240	19.50	S	38.4960	0.4037	0.3727	0.4037	1.9343	-0.1183	0.4037	-0.4037
65	650	9.19	32.00	217491	1600217	16.40	S	34.4944	0.3232	0.3232	0.3232	1.6790	-0.0711	0.3232	-0.2315
66	675	9.21	32.00	217491	1600191	18.00	S	34.5776	0.3402	0.4175	0.3802	1.8036	-0.0990	0.3802	-0.2802
67	700	9.24	32.00	217492	1600165	16.00	S	31.9280	0.3202	0.3202	0.3202	1.6044	-0.0517	0.3202	-0.2021
68	725	9.29	32.00	217492	1600137	13.60	S	20.3840	0.2668	0.3668	0.2668	1.2211	-0.0363	0.2668	-0.2668
69	750	9.30	33.00	217491	1600114	14.60	S	24.9344	0.2860	0.3286	0.2860	1.4060	-0.0353	0.2860	-0.2860
70	775	9.32	33.00	217491	1600087	12.00	S	59.5520	0.2556	0.2255	0.2556	1.2641	-0.0303	0.2556	-0.2556
71	800	9.33	33.00	217493	1600061	16.20	S	22.9392	0.3226	0.3226	0.3226	1.7098	-0.0916	0.3226	-0.2261
72	825	9.34	33.00	217492	1600036	15.90	S	26.0240	0.3096	0.3634	0.3096	1.4708	-0.0427	0.3096	-0.2096
73	850	9.35	33.00	217492	1600010	15.20	S	25.9120	0.3021	0.3394	0.3021	1.6856	-0.0755	0.3021	-0.2114
74	875	9.36	33.00	217494	1599986	16.60	S	34.7408	0.3250	0.3250	0.3250	1.4403	-0.0666	0.3250	-0.2503
75	900	9.37	33.00	217494	1599960	20.30	S	33.9408	0.3802	0.3418	0.4534	1.0913	-0.1290	0.3418	-0.3534

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
76	925	9.39	33.00	217494	1599932	13.80	S	30.7376	0.3684	0.2684	0.4268	1.1838	-0.0362	0.3268	-0.2684
77	950	9.40	33.00	217493	1599907	14.10	S	20.6448	0.3811	0.2811	0.3328	1.5813	-0.0995	0.3328	-0.2811
78	975	9.41	33.00	217493	1599882	15.20	S	26.2080	0.3010	0.3100	0.3010	1.4625	-0.0821	0.3010	-0.2010
79	1000	9.43	33.00	217493	1599853	15.20	S	27.6800	0.3010	0.3332	0.3010	1.3636	-0.0926	0.3010	-0.2010
80	25	12.12	32.00	217490	1600899	24.00	N	53.6896	0.4507	0.5507	0.5507	2.4482	-0.1183	0.5507	-0.5507
81	50	12.16	32.00	217498	1600924	29.40	N	52.7664	0.4786	0.4786	0.4786	2.0839	-0.2352	0.5479	-0.4786
82	75	12.20	32.00	217495	1600946	27.00	N	65.0832	0.5478	0.6005	0.7005	2.1317	-0.1655	0.5700	-0.6005
83	100	12.24	32.00	217498	1600972	23.70	N	65.9648	0.4394	0.5592	0.7539	2.3942	-0.1176	0.5394	-0.5394
84	125	12.28	32.00	217499	1600998	28.00	N	89.3040	0.5099	0.6994	0.7510	2.2253	-0.2585	0.5099	-0.7510
85	150	12.30	32.00	217497	1601021	25.60	N	58.2720	0.4813	0.6081	0.6081	2.1777	-0.1316	0.6081	-0.6081
86	175	12.35	33.00	217498	1601045	31.70	N	119.2208	0.4839	0.7839	0.3922	2.2128	-0.3287	0.6839	-0.8392
87	200	12.38	33.00	217496	1601071	17.50	N	35.6080	0.3170	0.3170	0.2170	1.4546	-0.0748	0.3703	-0.2703
88	225	12.40	33.00	217500	1601095	17.60	N	36.1232	0.3287	0.2874	0.2874	1.8796	-0.0792	0.4213	-0.2874
89	250	12.45	33.00	217508	1601148	13.60	N	23.6400	0.3650	0.3650	0.2650	1.6251	-0.0471	0.3265	-0.2650
90	275	12.47	33.00	217509	1601174	15.30	N	27.3216	0.3031	0.3031	0.3031	1.2458	-0.0912	0.3031	-0.2031

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
91	300	12.50	34.50	217513	1601198	16.10	N	37.2560	0.3208	0.3208	0.3208	1.7042	-0.0797	0.3208	-0.2077
92	325	12.52	35.00	217514	1601222	19.50	N	48.5344	0.3062	0.3406	0.4062	1.2016	-0.1415	0.4062	-0.3062
93	350	12.56	36.00	217516	1601248	20.60	N	56.2320	0.3735	0.3533	0.4574	1.2671	-0.1199	0.4574	-0.3574
94	375	12.75	36.50	217517	1601271	16.70	N	33.9600	0.3268	0.3268	0.4327	1.3451	-0.0991	0.3268	-0.2680
95	400	12.58	38.00	217517	1601297	16.30	N	34.4960	0.3215	0.3215	0.3215	1.3665	-0.0772	0.3215	-0.2155
96	425	13.00	36.00	217520	1601321	20.60	N	56.7616	0.3735	0.4574	0.4574	1.3458	-0.1412	0.4574	-0.3574
97	450	13.10	35.00	217519	1601347	14.60	N	35.6768	0.3862	0.2862	0.4286	1.3869	-0.0018	0.4286	-0.2862
98	475	13.12	34.50	217519	1601370	20.40	N	24.5248	0.3869	0.4549	0.4549	1.3499	-0.1135	0.4549	-0.3549
99	500	13.13	35.00	217518	1601396	17.60	N	36.6608	0.3130	0.4356	0.3561	1.2999	-0.0676	0.3561	-0.2561
100	525	13.16	34.00	217517	1601420	17.80	N	37.9760	0.3113	0.6113	0.3611	1.2545	-0.0728	0.3611	-0.2611
101	550	13.20	34.00	217514	1601444	17.60	N	36.8800	0.3102	0.5610	0.3561	1.2274	-0.0722	0.3561	-0.2561
102	575	13.21	33.00	217513	1601469	19.90	N	39.8416	0.4104	0.4104	0.4104	1.2317	-0.1461	0.3104	-0.3104
103	600	13.22	33.00	217513	1601494	18.90	N	39.9216	0.3411	0.4141	0.3911	1.2579	-0.0983	0.3911	-0.2911
104	625	13.23	31.50	217511	1601519	19.20	N	28.6412	0.3027	0.4027	0.4027	1.2907	-0.1265	0.3027	-0.3027
105	650	13.25	31.00	217511	1601544	17.00	N	32.3600	0.3133	0.5133	0.3513	1.3073	-0.0717	0.3513	-0.2513

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
106	675	13.26	31.00	217510	1601569	14.70	N	10.8352	0.2861	0.4861	0.3286	1.2633	-0.1263	0.3286	-0.2861
107	700	13.27	31.00	217510	1601593	19.90	N	37.3840	0.4108	0.4108	0.3108	1.1747	-0.1366	0.3108	-0.3108
108	725	13.28	31.00	217509	1601619	17.70	N	36.6608	0.3193	0.3572	0.3572	1.1553	-0.0553	0.3572	-0.2572
109	750	13.31	34.00	217508	1601643	15.50	N	37.1280	0.3069	0.3069	0.3069	1.4255	-0.1484	0.3069	-0.2069
110	775	13.32	33.70	217508	1601668	17.30	N	33.5760	0.3276	0.3528	0.3528	1.7710	-0.1112	0.3528	-0.2528
111	800	13.34	34.70	217509	1601693	20.50	N	28.6880	0.3936	0.5594	0.4559	1.7577	-0.1378	0.4559	-0.3559
112	825	13.35	32.10	217509	1601719	21.60	N	41.8160	0.4153	0.4815	0.4815	1.5815	-0.1539	0.4815	-0.3815
113	850	13.37	31.80	217509	1601734	16.20	N	37.9472	0.3223	0.3223	0.4322	1.1974	-0.0754	0.3223	-0.2295
114	875	13.38	31.80	217507	1601756	19.50	N	48.3440	0.3050	0.4050	0.4050	1.1076	-0.1044	0.4050	-0.3050
115	900	13.40	32.40	217508	1601782	21.80	N	62.5184	0.3234	0.4873	0.4873	2.0356	-0.1670	0.4873	-0.3873
116	925	13.41	33.80	217507	1601808	21.60	N	62.4800	0.4053	0.4851	0.4851	1.4066	-0.1523	0.4851	-0.3851
117	950	13.43	35.00	217507	1601824	22.00	N	55.3760	0.4607	0.5006	0.4450	2.1295	-0.1883	0.4450	-0.5006
118	975	13.44	34.10	217508	1601846	19.70	N	58.2368	0.4071	0.6407	0.4071	1.5257	-0.1206	0.4071	-0.3071
119	1000	13.45	33.00	217510	1601858	34.00	N	96.2800	0.5505	0.6886	0.6686	2.4853	-0.2088	0.6886	-0.8550
120	25	16.01	32.00	217512	1600872	26.50	E	94.1680	0.5745	0.6213	0.6574	2.2312	-0.1682	0.6574	-0.5745

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
121	50	16.03	32.00	217536	1600870	27.70	E	97.4896	0.5432	0.4320	0.6743	2.3916	-0.1815	0.6843	-0.7432
122	75	16.05	32.00	217561	1600869	15.80	E	28.0512	0.3075	0.3075	0.3075	1.8838	-0.1702	0.3075	-0.2075
123	100	16.06	32.00	217586	1600868	17.00	E	32.4400	0.3162	0.3500	0.3500	1.0132	-0.0757	0.3500	-0.2500
124	125	16.08	32.00	217611	1600867	19.50	E	49.5424	0.4056	0.4056	0.4056	1.0448	-0.1607	0.3056	-0.3056
125	150	16.09	32.00	217636	1600866	15.40	E	26.6128	0.3030	0.3030	0.3030	1.7499	-0.1204	0.3030	-0.2030
126	175	16.10	32.00	217661	1600864	19.20	E	48.9456	0.4018	0.4018	0.3018	1.7353	-0.0275	0.4018	-0.3018
127	200	16.11	32.00	217685	1600863	19.10	E	48.7200	0.4026	0.4026	0.3403	1.9498	-0.0896	0.4026	-0.3026
128	225	16.13	32.00	217711	1600862	16.70	E	47.5712	0.3275	0.3275	0.3275	1.6394	-0.0516	0.3275	-0.2753
129	250	16.14	32.00	217735	1600859	17.70	E	42.0672	0.3252	0.3555	0.3555	1.8427	-0.0722	0.3555	-0.2555
130	275	16.15	33.00	217759	1600857	15.40	E	46.6992	0.3044	0.3044	0.3044	1.3782	-0.1559	0.3044	-0.2044
131	300	16.17	33.00	217784	1600853	15.40	E	36.5330	0.3048	0.3048	0.3048	1.5342	-0.1708	0.3048	-0.2305
132	325	16.17	33.00	217809	1600852	15.00	E	29.2688	0.3003	0.3003	0.3003	1.5006	-0.1605	0.3003	-0.2300
133	350	16.18	33.00	217834	1600849	17.00	E	32.2240	0.3326	0.3500	0.3500	1.7197	-0.0677	0.3500	-0.2500
134	375	16.20	33.00	217860	1600848	19.00	E	48.3440	0.4011	0.4011	0.3011	1.9642	-0.1395	0.3401	-0.3011
135	400	16.22	33.00	217882	1600847	17.80	E	38.3600	0.4369	0.4358	0.3576	1.5147	-0.0817	0.3576	-0.2576

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
136	425	16.25	33.00	217909	1600845	18.10	E	31.0256	0.4046	0.4460	0.3805	1.9682	-0.0987	0.3805	-0.2805
137	450	16.27	33.00	217932	1600843	21.00	E	42.7200	0.4088	0.4828	0.4828	2.0088	-0.1268	0.3828	-0.3828
138	475	16.29	33.00	217958	1600841	18.00	E	30.0672	0.3542	0.4654	0.3810	1.8345	-0.0687	0.3810	-0.2810
139	500	16.30	33.00	217982	1600838	18.00	E	40.2800	0.3326	0.4263	0.3803	1.8290	-0.1500	0.3803	-0.2803
140	525	16.32	33.00	218009	1600836	17.00	E	32.3440	0.3439	0.3508	0.3508	1.7591	-0.0546	0.3508	-0.2508
141	550	16.34	32.00	218033	1600834	17.50	E	33.3856	0.3303	0.3530	0.3530	1.7280	-0.0728	0.3530	-0.2530
142	575	16.34	32.00	218058	1600831	14.20	E	38.0576	0.2837	0.2837	0.3739	1.2167	-0.1464	0.2837	-0.2837
143	600	16.36	32.00	218082	1600831	14.00	E	35.6960	0.4807	0.2807	0.2807	1.1455	-0.1287	0.2807	-0.2807
144	625	16.37	32.00	218108	1600831	14.30	E	28.4576	0.2839	0.2839	0.2394	1.1143	-0.1349	0.2839	-0.2839
145	650	16.38	32.00	218133	1600831	14.00	E	33.6688	0.2804	0.2804	0.2204	1.0941	-0.1425	0.2804	-0.2804
146	675	16.39	32.00	218158	1600831	18.00	E	30.4512	0.3404	0.2242	0.3804	1.8842	-0.1994	0.3804	-0.2804
147	700	16.40	32.00	218183	1600830	14.30	E	34.4784	0.3837	0.2837	0.3702	1.1138	-0.1208	0.3702	-0.2837
148	725	16.42	32.00	218208	1600830	16.80	E	33.3008	0.3289	0.3289	0.3289	1.6811	-0.1735	0.3289	-0.2289
149	750	16.43	32.00	218234	1600829	20.00	E	40.2800	0.3985	0.3505	0.4505	2.1079	-0.2146	0.4505	-0.3505
150	775	16.45	32.00	218259	1600828	19.40	E	48.6565	0.3406	0.3060	0.4060	1.9127	-0.1425	0.4060	-0.3060

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
151	800	16.46	32.00	218284	1600827	16.50	E	34.5360	0.3253	0.3253	0.3253	1.1130	-0.0804	0.3253	-0.2533
152	825	16.48	32.00	218308	1600827	15.00	E	44.4208	0.3510	0.3051	0.2105	1.1092	-0.0523	0.3051	-0.2051
153	850	16.49	32.50	218332	1600827	17.40	E	45.3520	0.3246	0.3540	0.3540	1.2077	-0.1866	0.3540	-0.2540
154	875	16.50	32.50	218357	1600826	16.80	E	39.2400	0.3310	0.3310	0.3310	1.2250	-0.0832	0.3310	-0.2310
155	900	16.51	32.50	218382	1600826	15.00	E	35.2400	0.3999	0.3999	0.0999	1.2221	-0.0980	0.3100	-0.2100
156	925	16.53	32.50	218410	1600826	16.80	E	39.2144	0.3310	0.3310	0.3310	1.2253	-0.0799	0.3310	-0.2310
157	950	16.54	32.50	218432	1600825	16.20	E	32.0160	0.3210	0.3210	0.3210	1.2197	-0.0600	0.3210	-0.2210
158	975	16.57	32.50	218458	1600825	14.00	E	22.9376	0.3809	0.3809	0.3281	1.1886	-0.0422	0.3281	-0.2809
159	1000	16.58	32.50	218474	1600824	13.20	E	23.5616	0.3628	0.3628	0.3263	1.1773	-0.0492	0.3126	-0.2628

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 ข้อมูลความชื้นในดินและดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 6 ตุลาคม 2552

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(^{o}C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
1	25	12.00	36.00	217460	1600875	28.20	W	91.7024	0.4253	0.6753	0.7525	-0.1922	7.6834	0.8525	-0.6525
2	50	12.02	36.00	217437	1600873	27.50	W	86.0608	0.4515	0.6515	0.7045	-0.1924	6.4725	0.8045	-0.6045
3	75	12.04	36.00	217415	1600871	25.70	W	84.1920	0.4780	0.6068	0.7607	-0.1622	6.4068	0.7068	-0.6068
4	100	12.06	36.00	217388	1600872	24.20	W	83.0960	0.4515	0.5880	0.5515	-0.1563	3.3648	0.5515	-0.4515
5	125	12.08	36.00	217365	1600871	22.80	W	65.1600	0.4207	0.5071	0.5071	-0.1259	3.3378	0.5071	-0.4071
6	150	12.10	36.00	217338	1600871	22.80	W	65.7512	0.4272	0.5061	0.5061	-0.1276	2.3421	0.5061	-0.4061
7	175	12.12	36.00	217314	1600870	23.00	W	60.9936	0.4312	0.4610	0.5312	-0.1308	4.2815	0.5312	-0.4312
8	200	12.14	36.00	217289	1600869	21.10	W	60.6160	0.4157	0.4157	0.4816	-0.1219	2.5698	0.5482	-0.4382
9	225	12.16	36.00	217265	1600872	24.00	W	80.6128	0.4529	0.5911	0.5529	-0.1270	3.8743	0.5529	-0.4529
10	250	12.18	36.00	217239	1600874	22.80	W	63.3936	0.4200	0.5096	0.5096	-0.1293	3.1156	0.5096	-0.4096
11	275	12.20	36.00	217214	1600874	23.50	W	74.1280	0.4341	0.5148	0.5341	-0.1311	2.4239	0.5341	-0.4341
12	300	12.22	36.00	217190	1600874	26.70	W	65.8800	0.4574	0.5629	0.6574	-0.1584	5.2453	0.6574	-0.6574
13	325	12.24	36.00	217165	1600876	30.80	W	88.8720	0.8272	0.6683	0.7248	-0.2490	9.1927	0.9827	-0.8272
14	350	12.26	36.00	217138	1600879	22.80	W	69.3552	0.4251	0.5147	0.5147	-0.2121	3.6729	0.2515	-0.4689
15	375	12.28	36.00	217113	1600882	23.80	W	72.0128	0.4388	0.5297	0.5388	-0.1488	4.8080	0.5388	-0.4388

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
16	400	12.30	36.00	217091	1600885	23.60	W	69.0880	0.5349	0.5349	0.5349	-0.1485	6.0771	0.5349	-0.4349
17	425	12.32	36.00	217066	1600884	26.90	W	74.5520	0.4659	0.6396	0.5940	-0.1620	5.3174	0.5940	-0.4940
18	450	12.34	36.00	217040	1600884	23.50	W	75.9232	0.4341	0.5091	0.5341	-0.1486	2.3848	0.5341	-0.4341
19	475	12.36	36.00	217017	1600881	28.50	W	72.5040	0.4629	0.6757	0.7574	-0.2094	5.2010	0.8574	-0.6574
20	500	12.38	36.00	216990	1600882	28.80	W	80.3792	0.6068	0.6810	0.7579	-0.2093	5.0231	0.8579	-0.6579
21	525	12.40	36.00	216966	1600881	25.60	W	55.6000	0.4764	0.6076	0.6076	-0.1642	2.2135	0.8608	-0.6076
22	550	12.42	36.00	216942	1600883	27.30	W	95.6160	0.5582	0.6406	0.7041	-0.1934	4.3670	0.8041	-0.6041
23	575	12.44	36.00	216915	1600885	26.50	W	95.4992	0.5533	0.6266	0.6553	-0.1612	3.9801	0.6553	-0.5533
24	600	12.46	36.00	216891	1600888	27.80	W	78.2960	0.5570	0.5700	0.7091	-0.1859	6.6423	0.8091	-0.6091
25	625	12.48	36.00	216867	1600890	27.50	W	96.7200	0.5405	0.6405	0.7040	-0.1832	8.4375	0.8040	-0.6040
26	650	12.50	36.00	216842	1600893	28.90	W	94.6288	0.5461	0.6762	0.7615	-0.1846	9.3677	0.8615	-0.6155
27	675	12.52	36.00	216817	1600894	26.50	W	95.3136	0.5915	0.6592	0.6592	-0.1889	5.3985	0.6592	-0.6154
28	700	12.54	36.00	216791	1600895	25.90	W	85.3280	0.4762	0.6076	0.6076	-0.1691	2.4416	0.6076	-0.6076
29	725	12.56	36.00	216766	1600896	24.50	W	80.8400	0.4553	0.5553	0.5553	-0.1542	6.6059	0.5553	-0.4553
30	750	12.58	36.00	216743	1600897	23.90	W	58.3712	0.4403	0.5028	0.5403	-0.1461	5.8006	0.5403	-0.4028

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
31	775	13.00	36.00	216716	1600899	22.50	W	65.6640	0.4300	0.5030	0.5030	-0.1124	4.8601	0.5030	-0.4005
32	800	13.02	36.00	216691	1600902	22.50	W	64.0720	0.3719	0.5027	0.5027	-0.1270	4.7465	0.5027	-0.4027
33	825	13.04	36.00	216668	1600905	22.40	W	64.0144	0.4244	0.5044	0.5044	-0.1248	4.5934	0.5044	-0.4044
34	850	13.06	36.00	216643	1600906	22.50	W	67.9360	0.3741	0.5044	0.5044	-0.1356	5.5142	0.5044	-0.4044
35	875	13.08	36.00	216618	1600909	20.50	W	43.0528	0.3641	0.4564	0.4564	-0.1110	2.7249	0.4564	-0.3564
36	900	13.10	36.00	216593	1600911	20.50	W	54.3600	0.3976	0.5460	0.4546	-0.1176	3.2781	0.4546	-0.3546
37	925	13.12	36.00	216568	1600914	23.60	W	86.8864	0.4344	0.4509	0.5344	-0.1366	3.6125	0.4446	-0.4344
38	950	13.14	36.00	216544	1600918	21.10	W	61.5008	0.4155	0.4155	0.4815	-0.1250	2.6816	0.4815	-0.3815
39	975	13.16	36.00	216518	1600919	20.40	W	73.8688	0.3503	0.4550	0.4550	-0.1147	4.0602	0.4550	-0.3550
40	1000	13.18	36.00	216504	1600919	19.60	W	75.1200	0.4052	0.4052	0.4052	-0.1784	2.2014	0.4052	-0.3052
41	25	16.01	34.00	217487	1600848	26.70	S	79.3616	0.4722	0.6589	0.6572	-0.1756	5.5558	0.7572	-0.3572
42	50	16.03	34.00	217487	1600822	27.70	S	97.1376	0.6457	0.6827	0.7068	-0.1876	5.4840	0.7683	-0.6068
43	75	16.05	34.00	217487	1600800	25.30	S	85.4576	0.5853	0.6021	0.6021	-0.1743	5.5270	0.7602	-0.6021
44	100	16.06	34.00	217487	1600774	20.70	S	88.3040	0.3611	0.4561	0.4561	-0.1150	3.6584	0.4561	-0.3561
45	125	16.08	34.00	217485	1600748	20.30	S	82.5008	0.4867	0.4529	0.4529	-0.1135	3.8040	0.4529	-0.3529

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
46	150	16.09	34.00	217485	1600724	20.10	S	80.2160	0.5653	0.4527	0.4527	-0.1156	2.7257	0.4527	-0.3527
47	175	16.10	36.00	217486	1600698	21.40	S	87.3610	0.4388	0.4388	0.4839	-0.1281	2.6274	0.4839	-0.3839
48	200	16.11	36.00	217484	1600674	25.90	S	85.4464	0.4610	0.6103	0.6103	-0.1640	5.6745	0.7103	-0.6103
49	225	16.13	36.00	217484	1600646	27.30	S	97.2320	0.5703	0.6298	0.7030	-0.1957	5.8549	0.8030	-0.6030
50	250	16.14	36.00	217484	1600620	25.80	S	86.6912	0.4610	0.6103	0.6103	-0.1690	5.8307	0.7103	-0.6103
51	275	16.15	36.00	217483	1600595	23.80	S	85.7904	0.4389	0.5572	0.7539	-0.2022	4.4831	0.5389	-0.5389
52	300	16.17	36.00	217483	1600570	28.60	S	99.4496	0.6112	0.6756	0.7561	-0.2086	5.2546	0.8561	-0.6112
53	325	16.17	36.00	217483	1600545	28.50	S	109.8000	0.6120	0.6755	0.7551	-0.2083	6.2740	0.8551	-0.6551
54	350	16.18	36.00	217484	1600519	28.50	S	89.5600	0.6116	0.6755	0.7551	-0.2080	8.2631	0.8551	-0.6551
55	375	16.20	36.00	217484	1600495	29.20	S	105.7424	0.8092	0.7809	0.8092	-0.2289	6.2031	0.8909	-0.8092
56	400	16.22	36.00	217487	1600469	30.10	S	108.0448	0.8211	0.6821	0.8211	-0.2679	7.2600	0.8211	-0.8211
57	425	16.25	36.00	217486	1600444	25.70	S	85.2400	0.4936	0.6052	0.6052	-0.1828	5.7065	0.6052	-0.6052
58	450	16.27	36.00	217491	1600421	22.80	S	68.4800	0.4087	0.5087	0.6509	-0.1310	3.4429	0.5087	-0.5087
59	475	16.29	36.00	217493	1600395	24.60	S	87.8624	0.4588	0.5877	0.5588	-0.1232	4.4587	0.5588	-0.5588
60	500	16.30	36.00	217494	1600368	28.60	S	85.4096	0.6388	0.6754	0.7539	-0.2075	7.2739	0.7539	-0.6539

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
61	525	16.32	36.00	217494	1600343	26.70	S	85.8816	0.5745	0.6307	0.6575	-0.0826	4.6906	0.6575	-0.6157
62	550	16.34	36.00	217494	1600319	25.30	S	85.5024	0.4605	0.6053	0.6053	-0.1735	3.3209	0.6053	-0.6053
63	575	16.34	36.00	217493	1600291	25.90	S	85.4480	0.4827	0.6106	0.6106	-0.1581	5.5619	0.6106	-0.6106
64	600	16.36	36.00	217493	1600265	25.00	S	85.8928	0.4850	0.6005	0.6005	-0.1736	5.3251	0.6005	-0.6005
65	625	16.37	36.00	217492	1600240	22.00	S	67.9232	0.4221	0.5012	0.5012	-0.1188	3.2428	0.5012	-0.6501
66	650	16.38	38.00	217491	1600217	20.60	S	56.1680	0.3979	0.4552	0.4552	-0.1205	2.6908	0.4552	-0.3552
67	675	16.39	38.00	217491	1600191	20.20	S	54.9600	0.3916	0.4519	0.5192	-0.1249	3.4754	0.4519	-0.3519
68	700	16.40	38.00	217492	1600165	20.00	S	50.2832	0.3845	0.4515	0.4515	-0.1285	1.3656	0.4515	-0.3515
69	725	16.42	38.00	217492	1600137	20.00	S	50.9088	0.3956	0.4518	0.4518	-0.1299	1.4379	0.4518	-0.3518
70	750	16.43	38.00	217491	1600114	19.50	S	56.0080	0.5406	0.4063	0.4063	-0.1333	2.3890	0.4063	-0.3063
71	775	16.45	38.00	217491	1600087	29.30	S	85.6560	0.5031	0.7780	0.5780	-0.2194	7.9136	0.5703	-0.6803
72	800	16.46	38.00	217493	1600061	28.70	S	88.1020	0.7593	0.6759	0.5933	-0.2085	6.0745	0.5933	-0.6593
73	825	16.48	38.00	217492	1600036	22.00	S	60.0400	0.4181	0.5018	0.4450	-0.1300	3.4432	0.5018	-0.5018
74	850	16.49	38.00	217492	1600010	22.00	S	60.0576	0.4181	0.5018	0.5018	-0.1364	4.4443	0.5018	-0.5018
75	875	16.50	38.00	217494	1599986	20.00	S	50.3200	0.3807	0.4500	0.5003	-0.1436	2.6320	0.4500	-0.3500

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
76	900	16.51	38.00	217494	1599960	20.00	S	50.8672	0.3760	0.4516	0.4516	-0.1365	1.9224	0.4516	-0.3516
77	925	16.53	38.00	217494	1599942	19.80	S	47.4768	0.4089	0.4089	0.4089	-0.1359	3.8139	0.4089	-0.3089
78	950	16.54	38.00	217493	1599937	19.80	S	46.8512	0.4082	0.4082	0.4082	-0.1342	2.7858	0.4082	-0.3082
79	975	16.57	38.00	217493	1599923	23.60	S	53.1424	0.4367	0.4567	0.4537	-0.1632	3.6608	0.5367	-0.5367
80	1000	16.58	38.00	217493	1599913	20.00	S	50.3904	0.3735	0.4507	0.4507	-0.1856	1.5692	0.4507	-0.5074
81	25	10.20	34.00	217490	1600899	32.70	N	116.9600	0.8491	0.8491	0.8491	-0.2679	8.8603	0.8491	-0.8849
82	50	10.22	34.00	217498	1600924	31.80	N	110.6208	0.7839	0.8389	0.8389	-0.2751	10.8161	1.0839	-0.8891
83	75	10.24	34.00	217495	1600946	30.60	N	109.1200	0.8269	0.8269	0.8269	-0.2649	8.9779	1.0827	-0.7827
84	100	10.26	34.00	217498	1600972	28.60	N	103.3024	0.6230	0.6866	0.8757	-0.2041	9.1692	0.8569	-0.6866
85	125	10.28	34.00	217499	1600998	23.40	N	72.6016	0.4336	0.6001	0.5336	-0.1043	5.1292	0.5336	-0.5336
86	150	10.30	34.40	217497	1601021	25.00	N	85.4160	0.4792	0.6014	0.6014	-0.1770	2.9209	0.6014	-0.6014
87	175	10.32	34.40	217498	1601045	27.70	N	97.5728	0.5607	0.6718	0.6707	-0.1869	7.7508	0.7072	-0.6072
88	200	10.34	34.40	217496	1601071	30.00	N	98.2000	0.8208	0.6541	0.7821	-0.2897	9.0705	0.8208	-0.6821
89	225	10.36	34.40	217500	1601095	25.00	N	85.8400	0.4934	0.6027	0.6027	-0.1857	6.7435	0.6027	-0.6027
90	250	10.38	34.40	217508	1601148	23.00	N	87.8224	0.5303	0.5303	0.5303	-0.1533	5.5096	0.5303	-0.5303

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
91	275	10.40	34.40	217509	1601174	22.00	N	88.0752	0.4250	0.5010	0.5010	-0.1254	5.5310	0.5010	-0.5010
92	300	10.42	34.40	217513	1601198	20.00	N	82.7152	0.3650	0.5136	0.5136	-0.1567	3.5438	0.5136	-0.3514
93	325	10.44	34.40	217514	1601222	26.00	N	97.3360	0.5009	0.6501	0.6501	-0.1804	4.5037	0.6501	-0.5009
94	350	10.46	35.00	217516	1601248	26.00	N	96.8560	0.5197	0.6197	0.6520	-0.1655	6.4900	0.6520	-0.5197
95	375	10.48	35.00	217517	1601271	23.00	N	98.1920	0.4302	0.5459	0.5302	-0.1662	3.5081	0.5302	-0.5302
96	400	10.50	35.00	217517	1601297	26.00	N	98.9200	0.6520	0.6200	0.6520	-0.1633	6.4991	0.6520	-0.5200
97	425	10.52	35.00	217520	1601321	28.60	N	100.2320	0.6286	0.6860	0.7573	-0.2023	8.5345	0.7573	-0.6573
98	450	10.54	35.00	217519	1601347	24.00	N	89.6800	0.4505	0.5934	0.5505	-0.1719	4.5166	0.5505	-0.5505
99	475	10.56	35.00	217519	1601370	30.60	N	117.2800	0.8280	0.5828	0.7828	-0.2581	8.4395	0.5828	-0.6783
100	500	10.58	35.00	217518	1601396	23.00	N	76.0000	0.4317	0.5010	0.5317	-0.2523	3.4085	0.5317	-0.5317
101	525	11.00	35.00	217517	1601420	22.30	N	66.8928	0.4328	0.5033	0.5033	-0.1247	2.4376	0.5033	-0.5033
102	550	11.02	35.00	217514	1601444	26.20	N	92.2768	0.5208	0.6208	0.6521	-0.1767	6.5270	0.6521	-0.5208
103	575	11.04	35.00	217513	1601469	26.70	N	97.6400	0.5733	0.6328	0.6573	-0.1673	6.6226	0.6573	-0.5733
104	600	11.06	36.00	217513	1601494	26.00	N	92.5632	0.5237	0.6237	0.6524	-0.1694	6.6217	0.6524	-0.5237
105	625	11.08	36.00	217511	1601519	27.00	N	95.8723	0.5581	0.6558	0.7024	-0.1866	7.6164	0.7024	-0.5602

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
106	650	11.10	36.00	217511	1601544	28.00	N	104.6000	0.6249	0.6836	0.7525	-0.2174	8.6676	0.7525	-0.5249
107	675	11.12	36.00	217510	1601569	24.30	N	80.2256	0.4530	0.5672	0.6553	-0.1423	4.8815	0.5530	-0.5530
108	700	11.14	36.00	217510	1601593	23.00	N	94.4128	0.4334	0.5046	0.6533	-0.1321	3.0332	0.5334	-0.5334
109	725	11.16	36.00	217509	1601619	23.40	N	95.9152	0.4335	0.5205	0.7230	-0.1323	3.1040	0.5335	-0.5335
110	750	11.18	36.00	217508	1601643	23.00	N	87.0880	0.4301	0.5200	0.6530	-0.1496	3.6136	0.5301	-0.5301
111	775	11.20	36.00	217508	1601668	23.70	N	81.6496	0.4368	0.5254	0.6825	-0.1469	3.3951	0.5368	-0.5368
112	800	11.22	36.00	217509	1601693	30.40	N	108.1552	0.8250	0.6250	0.7825	-0.2633	10.1833	0.9825	-0.6825
113	825	11.24	36.00	217509	1601719	28.00	N	106.3344	0.6169	0.6911	0.7517	-0.2035	8.7423	0.8517	-0.6911
114	850	11.26	36.00	217509	1601744	25.80	N	85.5504	0.4935	0.6061	0.6061	-0.1437	5.2677	0.6061	-0.6061
115	875	11.28	36.00	217507	1601766	28.00	N	107.9760	0.6054	0.6751	0.7505	-0.2197	8.3966	0.7851	-0.6505
116	900	11.30	36.00	217508	1601792	26.50	N	108.7072	0.5603	0.6263	0.6560	-0.1756	6.0835	0.6560	-0.5603
117	925	11.32	36.00	217507	1601818	28.10	N	103.1296	0.6132	0.6751	0.7513	-0.2086	8.9098	0.8513	-0.7513
118	950	11.34	36.00	217507	1601844	27.90	N	109.0208	0.5602	0.6528	0.7602	-0.1820	7.1502	0.8019	-0.7760
119	975	11.36	36.00	217508	1601866	28.10	N	112.4800	0.7514	0.6751	0.7514	-0.2045	8.1353	0.8514	-0.7514
120	1000	11.38	36.00	217510	1601894	29.30	N	113.2000	0.8050	0.7680	0.7050	-0.2325	9.0883	0.9050	-0.8050

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
121	25	13.30	36.00	217512	1600872	30.00	E	103.5872	0.8225	0.7823	0.7823	-0.2674	10.6829	0.9823	-0.8225
122	50	13.32	36.00	217536	1600870	28.00	E	109.3600	0.6149	0.6890	0.7515	-0.2115	8.5474	0.7515	-0.8751
123	75	13.34	36.00	217561	1600869	22.00	E	65.3600	0.5027	0.5027	0.5027	-0.1786	2.7394	0.5027	-0.5027
124	100	13.36	36.00	217586	1600868	18.70	E	65.7200	0.3472	0.5387	0.3872	-0.0921	1.7293	0.3872	-0.5387
125	125	13.38	36.00	217611	1600867	22.00	E	75.7600	0.5026	0.5026	0.5026	-0.1202	2.7111	0.5026	-0.5026
126	150	13.40	36.00	217636	1600866	26.60	E	93.2000	0.5484	0.6484	0.6548	-0.2098	6.6139	0.6548	-0.5484
127	175	13.42	36.00	217661	1600864	28.00	E	88.3600	0.6221	0.6752	0.7522	-0.2196	8.5663	0.7522	-0.6522
128	200	13.44	36.00	217685	1600863	22.90	E	64.0432	0.5103	0.5103	0.5103	-0.1253	2.6683	0.5103	-0.5103
129	225	13.46	36.00	217711	1600862	22.00	E	63.8400	0.5003	0.5003	0.5003	-0.1193	2.0244	0.5003	-0.5003
130	250	13.48	36.00	217735	1600859	22.70	E	64.7424	0.5004	0.5004	0.5004	-0.1251	2.0823	0.5004	-0.5004
131	275	13.50	36.00	217759	1600857	24.50	E	80.8768	0.4532	0.5532	0.5532	-0.1577	4.9293	0.5532	-0.5532
132	300	13.52	36.00	217784	1600853	28.00	E	103.5360	0.6033	0.5033	0.5033	-0.2116	8.0434	0.8503	-0.5165
133	325	13.54	36.00	217809	1600852	27.30	E	86.6384	0.5464	0.5564	0.5456	-0.1959	7.0815	0.8035	-0.5570
134	350	13.56	35.00	217834	1600849	22.40	E	83.4080	0.4226	0.5056	0.5056	-0.1560	2.6987	0.5056	-0.5056
135	375	13.58	35.00	217860	1600848	24.30	E	84.2800	0.4526	0.5233	0.5526	-0.1505	4.7169	0.5526	-0.5526

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
136	400	14.00	35.00	217882	1600847	23.50	E	73.6224	0.4344	0.5372	0.5344	-0.1591	3.0572	0.5344	-0.5344
137	425	14.02	35.00	217909	1600845	24.50	E	89.4816	0.4540	0.5888	0.5540	-0.1580	4.3573	0.5540	-0.5540
138	450	14.04	35.00	217932	1600843	25.70	E	85.5056	0.4870	0.4023	0.5040	-0.1762	5.3495	0.5040	-0.5040
139	475	14.06	35.00	217958	1600841	22.70	E	87.1680	0.4340	0.5734	0.5073	-0.0898	2.2778	0.5073	-0.5073
140	500	14.08	35.00	217982	1600838	22.30	E	78.8016	0.4308	0.5031	0.5031	-0.1621	2.8970	0.5031	-0.5031
141	525	14.10	35.00	218009	1600836	22.50	E	69.6400	0.4303	0.7063	0.5063	-0.1239	2.5649	0.5063	-0.5063
142	550	14.12	35.00	218033	1600834	25.70	E	85.5376	0.4844	0.6084	0.6084	-0.1817	5.5943	0.6084	-0.5608
143	575	14.14	35.00	218058	1600831	26.90	E	98.9680	0.5624	0.6243	0.6624	-0.1760	6.5815	0.6624	-0.5624
144	600	14.16	35.00	218082	1600831	28.80	E	94.6800	0.7579	0.6785	0.7579	-0.1908	8.7766	0.8579	-0.6579
145	625	14.18	35.00	218108	1600831	26.70	E	89.5600	0.5789	0.6265	0.6579	-0.1706	6.9927	0.6579	-0.6789
146	650	14.20	35.00	218133	1600831	27.90	E	99.0400	0.5711	0.6880	0.6109	-0.1772	7.4900	0.6811	-0.6090
147	675	14.22	35.00	218158	1600831	28.60	E	96.8560	0.6070	0.6507	0.6507	-0.1854	8.7767	0.6851	-0.6507
148	700	14.24	35.00	218183	1600830	23.40	E	81.9648	0.4331	0.5313	0.6533	-0.1382	3.4402	0.5331	-0.5331
149	725	14.26	35.00	218208	1600830	26.00	E	96.4672	0.5004	0.6500	0.6500	-0.1763	6.0139	0.6500	-0.5004
150	750	14.28	35.00	218234	1600829	24.90	E	89.4912	0.4544	0.6584	0.5642	-0.1470	4.4959	0.5544	-0.5544

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
151	775	14.30	35.00	218259	1600828	26.70	E	86.5424	0.5501	0.6112	0.6550	-0.1786	6.0134	0.6550	-0.5501
152	800	14.32	35.00	218284	1600827	26.90	E	87.6640	0.6047	0.6466	0.6605	-0.1737	6.7489	0.6605	-0.5605
153	825	14.34	35.00	218308	1600827	28.00	E	90.5152	0.6176	0.6752	0.6752	-0.2087	8.2623	0.5176	-0.5965
154	850	14.36	35.00	218332	1600827	25.70	E	85.1120	0.4733	0.6073	0.6607	-0.1295	4.9991	0.6073	-0.5607
155	875	14.38	35.00	218357	1600826	23.30	E	77.7680	0.4333	0.5640	0.5333	-0.1540	4.8397	0.5333	-0.5333
156	900	14.40	35.00	218382	1600826	25.40	E	85.6400	0.4879	0.4488	0.5560	-0.1768	3.4585	0.5604	-0.5045
157	925	14.42	35.00	218410	1600826	20.50	E	74.5360	0.3978	0.5498	0.5498	-0.1160	3.2694	0.5498	-0.3550
158	950	14.44	35.00	218432	1600825	24.90	E	86.5776	0.4594	0.5418	0.5594	-0.1576	3.7387	0.5594	-0.5594
159	975	14.46	35.00	218458	1600825	26.70	E	97.7024	0.5732	0.5269	0.5732	-0.1809	4.2721	0.5573	-0.5732
160	1000	14.48	35.00	218464	1600824	23.80	E	93.1600	0.4383	0.5400	0.5383	-0.1465	4.9879	0.5383	-0.5383

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 ข้อมูลความชื้นในดินและดัชนีพืชพรรณ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 18 ธันวาคม 2552

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(^{o}C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
1	25	12.00	36.00	217460	1600875	8.40	W	8.0602	0.1757	0.2575	0.1257	-0.0223	0.8205	0.1575	-0.0575
2	50	12.02	36.00	217437	1600873	9.50	W	8.5744	0.1715	0.2557	0.1557	-0.0122	0.9415	0.1557	-0.0557
3	75	12.04	36.00	217415	1600871	9.20	W	8.2080	0.1861	0.2529	0.1529	-0.0140	0.9418	0.1529	-0.0529
4	100	12.06	36.00	217388	1600872	9.90	W	8.7120	0.1979	0.2598	0.1598	-0.0194	0.9439	0.1598	-0.0598
5	125	12.08	36.00	217365	1600871	8.40	W	-1.0699	0.1833	0.2683	0.1268	-0.0240	0.8407	0.1527	-0.0268
6	150	12.10	36.00	217338	1600871	10.00	W	3.4640	0.1814	0.2814	0.1814	-0.0403	1.3330	0.1581	-0.0814
7	175	12.12	36.00	217314	1600870	9.30	W	8.2576	0.1853	0.2532	0.1532	-0.0147	0.9258	0.1532	-0.0532
8	200	12.14	36.00	217289	1600869	8.70	W	-1.0291	0.1830	0.2830	0.1283	-0.0244	0.8113	0.1830	-0.0283
9	225	12.16	36.00	217265	1600872	10.50	W	11.8000	0.1873	0.2873	0.1873	-0.0548	1.1950	0.1873	-0.0873
10	250	12.18	36.00	217239	1600874	9.10	W	8.8592	0.1990	0.2510	0.1510	-0.0179	0.9838	0.1510	-0.0510
11	275	12.20	36.00	217214	1600874	11.00	W	7.7568	0.2012	0.2855	0.1979	-0.0423	1.2697	0.1932	-0.0988
12	300	12.22	36.00	217190	1600874	9.80	W	8.7360	0.1937	0.2579	0.1579	-0.0115	0.9763	0.1579	-0.0579
13	325	12.24	36.00	217165	1600876	8.70	W	-1.0308	0.1614	0.2614	0.1261	-0.0106	0.8656	0.1261	-0.0261
14	350	12.26	36.00	217138	1600879	8.00	W	-1.0865	0.1720	0.2009	0.1201	-0.0197	0.8009	0.1201	-0.0201
15	375	12.28	36.00	217113	1600882	10.10	W	11.2400	0.1815	0.2815	0.1815	-0.0216	1.3088	0.2182	-0.0246

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
16	400	12.30	36.00	217091	1600885	8.20	W	-1.0832	0.1549	0.2255	0.1225	-0.0357	0.9019	0.1225	-0.0225
17	425	12.32	36.00	217066	1600884	8.40	W	4.0640	0.1752	0.2575	0.1258	-0.0225	0.8390	0.1258	-0.0258
18	450	12.34	36.00	217040	1600884	9.50	W	7.6480	0.1855	0.2550	0.1550	-0.0282	0.9179	0.1550	-0.0550
19	475	12.36	36.00	217017	1600881	9.40	W	9.9600	0.1855	0.2547	0.1547	-0.0277	0.9231	0.1547	-0.0547
20	500	12.38	36.00	216990	1600882	10.00	W	11.8000	0.1809	0.2809	0.1809	-0.0295	1.1986	0.2181	-0.0581
21	525	12.40	36.00	216966	1600881	9.70	W	8.3968	0.1766	0.2577	0.1577	-0.0272	0.9166	0.1577	-0.0577
22	550	12.42	36.00	216942	1600883	10.50	W	11.1040	0.1843	0.2843	0.1843	-0.0262	1.1843	0.2184	-0.0984
23	575	12.44	36.00	216915	1600885	9.30	W	8.0160	0.1832	0.2527	0.1527	-0.0126	0.9231	0.1527	-0.0683
24	600	12.46	36.00	216891	1600888	9.50	W	8.2736	0.1925	0.2554	0.1554	-0.0124	0.9339	0.1554	-0.0554
25	625	12.48	36.00	216867	1600890	8.50	W	-1.0651	0.1782	0.2678	0.1268	-0.0208	0.8413	0.1268	-0.0268
26	650	12.50	36.00	216842	1600893	10.00	W	11.2336	0.1828	0.2828	0.1828	-0.0344	1.3016	0.2183	-0.0828
27	675	12.52	36.00	216817	1600894	10.90	W	11.9056	0.1903	0.2903	0.1903	-0.0365	1.3227	0.2190	-0.0903
28	700	12.54	36.00	216791	1600895	8.40	W	-1.0613	0.1532	0.2345	0.1235	-0.0191	0.8316	0.1235	-0.0235
29	725	12.56	36.00	216766	1600896	9.40	W	8.8400	0.1546	0.2546	0.1546	-0.0131	0.9204	0.1546	-0.0546
30	750	12.58	36.00	216743	1600897	8.80	W	-1.0254	0.1782	0.2782	0.1278	-0.0206	0.8170	0.1278	-0.0278

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
31	775	13.00	36.00	216716	1600899	9.50	W	8.2848	0.1552	0.2552	0.1552	-0.0204	0.9187	0.1552	-0.0552
32	800	13.02	36.00	216691	1600902	9.30	W	8.0080	0.1542	0.2542	0.1542	-0.0120	0.9258	0.1542	-0.0542
33	825	13.04	36.00	216668	1600905	7.80	W	-1.5248	0.1825	0.2082	0.1082	0.0020	0.7328	0.1082	-0.0108
34	850	13.06	36.00	216643	1600906	10.00	W	11.3424	0.1816	0.2816	0.1816	-0.0210	1.3737	0.1157	-0.0816
35	875	13.08	36.00	216618	1600909	7.80	W	-1.1952	0.1715	0.2071	0.1071	0.0020	0.7415	0.1071	-0.0071
36	900	13.10	36.00	216583	1600911	8.00	W	-1.0896	0.1720	0.2346	0.1202	-0.0201	0.8062	0.1202	-0.0202
37	925	13.12	36.00	216558	1600914	8.50	W	-1.0400	0.1502	0.2502	0.1250	-0.0195	0.8670	0.1250	-0.0250
38	950	13.14	36.00	216534	1600918	9.20	W	8.0544	0.1526	0.2526	0.1526	-0.0153	0.9717	0.1526	-0.0526
39	975	13.16	36.00	216508	1600919	10.50	W	11.5888	0.1853	0.2853	0.1529	-0.0279	1.2954	0.1853	-0.0853
40	1000	13.18	36.00	216494	1600919	8.50	W	-1.0586	0.1877	0.2877	0.1288	-0.0137	0.8094	0.1288	-0.0288
41	25	16.01	34.00	217487	1600848	8.50	S	-1.0538	0.1751	0.2250	0.1275	-0.0248	0.8293	0.1275	-0.0275
42	50	16.03	34.00	217487	1600822	9.20	S	8.5440	0.1813	0.2526	0.1526	-0.0132	0.9229	0.1526	-0.0526
43	75	16.05	34.00	217487	1600800	9.60	S	8.3712	0.1854	0.2544	0.1544	-0.0126	0.9210	0.1544	-0.0544
44	100	16.06	34.00	217487	1600774	9.10	S	8.6928	0.1949	0.2507	0.1507	-0.0168	0.9151	0.1507	-0.0507
45	125	16.08	34.00	217485	1600748	6.60	S	-2.6320	0.1870	0.2700	0.0870	0.0369	0.6047	0.0870	-0.0109

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
46	150	16.09	34.00	217485	1600724	7.70	S	-1.2880	0.1443	0.2044	0.1044	0.0053	0.7992	0.1044	-0.0104
47	175	16.10	36.00	217486	1600698	8.00	S	-1.0927	0.1692	0.2037	0.1204	-0.0245	0.8112	0.1204	-0.0204
48	200	16.11	36.00	217484	1600674	9.80	S	8.1264	0.1997	0.2580	0.1580	-0.0187	0.9485	0.1580	-0.0580
49	225	16.13	36.00	217484	1600646	8.20	S	-1.0288	0.1727	0.2237	0.1224	-0.0223	0.7644	0.1224	-0.0224
50	250	16.14	36.00	217484	1600620	9.00	S	8.6320	0.1989	0.2501	0.1501	-0.0160	0.9373	0.1501	-0.0501
51	275	16.15	36.00	217483	1600595	8.30	S	-1.0729	0.1721	0.2111	0.1211	-0.0254	0.8200	0.1211	-0.0211
52	300	16.17	36.00	217483	1600570	10.50	S	11.8128	0.1863	0.2863	0.1559	-0.0359	1.2132	0.1630	-0.0863
53	325	16.17	36.00	217483	1600545	9.20	S	8.5200	0.1712	0.2527	0.1527	-0.0266	0.9204	0.1527	-0.0527
54	350	16.18	36.00	217484	1600519	10.20	S	11.1856	0.1821	0.2821	0.1821	-0.0367	1.2226	0.1682	-0.0821
55	375	16.20	36.00	217484	1600495	7.60	S	-1.8384	0.1704	0.2070	0.1070	0.0025	0.7240	0.1070	-0.0107
56	400	16.22	36.00	217487	1600469	9.20	S	8.2912	0.1851	0.2514	0.1514	-0.0245	0.9257	0.1514	-0.0352
57	425	16.25	36.00	217486	1600444	7.50	S	-1.5776	0.1924	0.2059	0.1059	0.0024	0.7296	0.1592	-0.0106
58	450	16.27	36.00	217491	1600421	9.50	S	8.8800	0.1854	0.2540	0.1540	-0.0178	0.9327	0.1540	-0.0403
59	475	16.29	36.00	217493	1600395	9.40	S	8.9632	0.1881	0.2539	0.1539	-0.0171	0.9323	0.1539	-0.0388
60	500	16.30	36.00	217494	1600368	9.40	S	8.8400	0.1945	0.2539	0.1539	-0.0155	0.9325	0.1539	-0.0395

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
61	525	16.32	36.00	217494	1600343	9.00	S	8.0400	0.1736	0.2514	0.1514	-0.0198	0.9319	0.1514	-0.0137
62	550	16.34	36.00	217494	1600319	8.40	S	-1.0699	0.1803	0.2480	0.1248	-0.0247	0.8294	0.1248	-0.0248
63	575	16.34	36.00	217493	1600291	8.70	S	-1.0459	0.1983	0.2798	0.1280	-0.0236	0.8298	0.1280	-0.0280
64	600	16.36	36.00	217493	1600265	8.40	S	-1.0688	0.1892	0.2429	0.1243	-0.0246	0.8280	0.1243	-0.0243
65	625	16.37	36.00	217492	1600240	8.20	S	-1.0600	0.1768	0.2210	0.1221	-0.0253	0.8221	0.1221	-0.0221
66	650	16.38	38.00	217491	1600217	8.00	S	-1.0880	0.1732	0.2073	0.1207	-0.0253	0.8159	0.1207	-0.0207
67	675	16.39	38.00	217491	1600191	8.10	S	-1.1000	0.1860	0.2086	0.1209	-0.0254	0.8912	0.1209	-0.0209
68	700	16.40	38.00	217492	1600165	9.00	S	8.2928	0.2192	0.2509	0.1509	-0.0274	0.9203	0.1251	-0.0251
69	725	16.42	38.00	217492	1600137	8.00	S	-1.0920	0.1914	0.2091	0.1209	-0.0213	0.8201	0.1209	-0.0209
70	750	16.43	38.00	217491	1600114	9.00	S	8.2224	0.1881	0.2509	0.1509	-0.0182	0.9408	0.1251	-0.0351
71	775	16.45	38.00	217491	1600087	8.70	S	-1.0432	0.1641	0.2641	0.1264	-0.0158	0.8079	0.1264	-0.0264
72	800	16.46	38.00	217493	1600061	9.20	S	8.6944	0.1840	0.2515	0.1515	-0.0183	0.9132	0.1515	-0.0515
73	825	16.48	38.00	217492	1600036	8.30	S	-1.0726	0.1746	0.2306	0.1231	-0.0258	0.8133	0.1231	-0.0231
74	850	16.49	38.00	217492	1600010	9.00	S	8.3664	0.1883	0.2514	0.1514	-0.0156	0.9325	0.1514	-0.0351
75	875	16.50	38.00	217494	1599986	8.40	S	-1.0208	0.1614	0.2261	0.1223	-0.0386	0.8581	0.1223	-0.0223

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
76	900	16.51	38.00	217494	1599960	8.00	S	-1.0880	0.1845	0.2184	0.1218	-0.0288	0.8563	0.1218	-0.0218
77	925	16.53	38.00	217494	1599932	8.90	S	-1.0072	0.1714	0.2304	0.1304	-0.0212	0.8074	0.1304	-0.0304
78	950	16.54	38.00	217493	1599907	8.60	S	-1.0440	0.1714	0.2571	0.1571	-0.0246	0.8053	0.1257	-0.0257
79	975	16.57	38.00	217493	1599893	9.00	S	8.3296	0.1850	0.2501	0.1501	-0.0125	0.9914	0.1501	-0.0501
80	1000	16.58	38.00	217493	1599876	8.00	S	-1.0972	0.1573	0.2030	0.1203	-0.0246	0.9427	0.1203	-0.0203
81	25	10.20	34.00	217490	1600899	8.60	N	-1.0440	0.1713	0.1257	0.1257	-0.0223	0.8373	0.1257	-0.0257
82	50	10.22	34.00	217498	1600924	9.60	N	8.5424	0.1718	0.2572	0.1257	-0.0238	0.9373	0.1572	-0.0572
83	75	10.24	34.00	217495	1600946	9.80	N	8.1600	0.1834	0.2583	0.1583	-0.0249	0.9311	0.1583	-0.0583
84	100	10.26	34.00	217498	1600972	9.40	N	8.0080	0.1855	0.2545	0.1545	-0.0242	0.9234	0.1545	-0.0545
85	125	10.28	34.00	217499	1600998	7.00	N	-1.8320	0.1563	0.2006	0.1006	0.0024	0.7236	0.1006	-0.0101
86	150	10.30	34.40	217497	1601021	10.50	N	11.5600	0.1850	0.2850	0.1850	-0.0352	1.2599	0.1850	-0.0850
87	175	10.32	34.40	217498	1601045	7.00	N	-1.9760	0.1821	0.2004	0.1225	0.0025	0.7323	0.1004	-0.0100
88	200	10.34	34.40	217496	1601071	9.50	N	8.5328	0.1856	0.2564	0.1564	-0.0263	0.9501	0.1564	-0.0564
89	225	10.36	34.40	217500	1601095	8.80	N	-1.0200	0.1600	0.1260	0.1260	-0.0277	0.8316	0.1260	-0.0260
90	250	10.38	34.40	217508	1601148	8.40	N	-1.0624	0.1834	0.1238	0.1238	-0.0299	0.8357	0.1238	-0.0238

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
91	275	10.40	34.40	217509	1601174	9.70	N	8.0048	0.1890	0.2569	0.1569	-0.0182	0.9309	0.1569	-0.0257
92	300	10.42	34.40	217513	1601198	8.30	N	-1.0880	0.1561	0.1240	0.1240	-0.0289	0.8327	0.1240	-0.0240
93	325	10.44	34.40	217514	1601222	9.10	N	8.5280	0.1852	0.2515	0.1235	-0.0226	0.9366	0.1515	-0.0259
94	350	10.46	35.00	217516	1601248	8.30	N	-1.0440	0.1516	0.1252	0.1252	-0.0208	0.8358	0.1252	-0.0252
95	375	10.48	35.00	217517	1601271	9.00	N	8.6624	0.1895	0.2514	0.1514	-0.0221	0.9331	0.1514	-0.0251
96	400	10.50	35.00	217517	1601297	9.10	N	8.2640	0.1983	0.2513	0.1513	-0.0236	0.9290	0.1513	-0.0263
97	425	10.52	35.00	217520	1601321	8.70	N	-1.0400	0.1726	0.1259	0.1259	-0.0399	0.8249	0.1259	-0.0259
98	450	10.54	35.00	217519	1601347	8.70	N	-1.0386	0.1666	0.1267	0.1267	-0.0299	0.8250	0.1267	-0.0267
99	475	10.56	35.00	217519	1601370	7.80	N	-1.2795	0.1707	0.2071	0.1071	0.0024	0.7232	0.1071	-0.0107
100	500	10.58	35.00	217518	1601396	9.00	N	8.7136	0.1853	0.2509	0.1509	-0.0174	0.9245	0.1509	-0.0509
101	525	11.00	35.00	217517	1601420	8.90	N	-1.0171	0.1823	0.1310	0.1310	-0.0251	0.8220	0.1310	-0.0310
102	550	11.02	35.00	217514	1601444	7.60	N	-1.3600	0.1783	0.2078	0.1221	0.0025	0.7219	0.1078	-0.0108
103	575	11.04	35.00	217513	1601469	8.00	N	-1.0888	0.1532	0.1214	0.1214	-0.0248	0.8316	0.1214	-0.0214
104	600	11.06	36.00	217513	1601494	7.60	N	-1.5520	0.1632	0.2063	0.1063	0.0025	0.7433	0.1063	-0.0106
105	625	11.08	36.00	217511	1601519	9.00	N	8.3296	0.1875	0.2519	0.1519	-0.0270	0.9466	0.1519	-0.0188

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
106	650	11.10	36.00	217511	1601544	8.20	N	-1.0704	0.1798	0.1221	0.1221	-0.0254	0.8537	0.1221	-0.0221
107	675	11.12	36.00	217510	1601569	7.40	N	-1.7200	0.1881	0.2039	0.1039	0.0019	0.7642	0.1039	-0.0104
108	700	11.14	36.00	217510	1601593	9.00	N	8.8800	0.1850	0.2504	0.1504	-0.0187	0.9531	0.1504	-0.0445
109	725	11.16	36.00	217509	1601619	7.90	N	-1.2032	0.1538	0.2015	0.1102	0.0023	0.7543	0.1102	-0.0110
110	750	11.18	36.00	217508	1601643	8.60	N	-1.0440	0.1798	0.1280	0.1280	-0.0263	0.8236	0.1280	-0.0280
111	775	11.20	36.00	217508	1601668	10.00	N	11.6800	0.2181	0.2807	0.1807	-0.0471	1.1404	0.1807	-0.0807
112	800	11.22	36.00	217509	1601693	9.60	N	8.2432	0.1835	0.2541	0.1541	-0.0287	0.9086	0.1541	-0.0541
113	825	11.24	36.00	217509	1601719	8.00	N	-1.0924	0.1720	0.1204	0.1204	-0.0308	0.8091	0.1204	-0.0204
114	850	11.26	36.00	217509	1601744	8.20	N	-1.0851	0.1821	0.1211	0.1211	-0.0188	0.8204	0.1211	-0.0211
115	875	11.28	36.00	217507	1601766	9.00	N	8.6192	0.1851	0.2513	0.1513	-0.0281	0.9306	0.1513	-0.0513
116	900	11.30	36.00	217508	1601792	9.10	N	8.8640	0.1955	0.2513	0.1513	-0.0253	0.9298	0.1513	-0.0513
117	925	11.32	36.00	217507	1601818	9.50	N	8.1200	0.1854	0.2543	0.1543	-0.0267	0.9253	0.1543	-0.0543
118	950	11.34	36.00	217507	1601844	9.30	N	8.5024	0.1807	0.2506	0.1506	-0.0263	0.9237	0.1506	-0.0506
119	975	11.36	36.00	217508	1601866	6.50	N	-2.6400	0.1809	0.2160	0.1001	0.0126	0.6213	0.1009	-0.0101
120	1000	11.38	36.00	217510	1601884	8.40	N	-1.0620	0.1800	0.1241	0.1241	-0.0261	0.8174	0.1241	-0.0241

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
121	25	13.30	36.00	217512	1600872	8.30	E	-1.0800	0.1690	0.1237	0.1237	-0.0246	0.8291	0.1237	-0.0237
122	50	13.32	36.00	217536	1600870	12.70	E	18.9776	0.2597	0.3026	0.1926	-0.0589	1.3738	0.2597	-0.0971
123	75	13.34	36.00	217561	1600869	8.00	E	-1.0760	0.1172	0.1213	0.1213	-0.0260	0.8305	0.1213	-0.0213
124	100	13.36	36.00	217586	1600868	8.20	E	-1.0867	0.1524	0.1215	0.1215	-0.0254	0.8361	0.1215	-0.0215
125	125	13.38	36.00	217611	1600867	8.90	E	-1.0251	0.1867	0.1309	0.1309	-0.0230	0.8464	0.1309	-0.0309
126	150	13.40	36.00	217636	1600866	8.60	E	-1.0227	0.1695	0.1269	0.1269	-0.0226	0.8488	0.1269	-0.0269
127	175	13.42	36.00	217661	1600864	9.70	E	8.2528	0.1816	0.2562	0.1256	-0.0256	0.9331	0.1562	-0.0562
128	200	13.44	36.00	217685	1600863	8.40	E	-1.0631	0.1693	0.1257	0.1257	-0.0254	0.8237	0.1257	-0.0257
129	225	13.46	36.00	217711	1600862	9.20	E	8.6320	0.1867	0.2522	0.1522	-0.0229	0.9278	0.1522	-0.0522
130	250	13.48	36.00	217735	1600859	8.50	E	-1.0552	0.1725	0.1249	0.1249	-0.0212	0.8351	0.1249	-0.0249
131	275	13.50	36.00	217759	1600857	8.60	E	-1.0464	0.1631	0.1263	0.1263	-0.0256	0.8939	0.1263	-0.0263
132	300	13.52	36.00	217784	1600853	8.60	E	-1.0476	0.1615	0.1261	0.1261	-0.0196	0.8576	0.1261	-0.0261
133	325	13.54	36.00	217809	1600852	8.70	E	-1.0374	0.1821	0.1282	0.1282	-0.0186	0.8446	0.1282	-0.0282
134	350	13.56	35.00	217834	1600849	9.20	E	8.5552	0.1853	0.2534	0.1534	-0.0199	0.9433	0.1534	-0.0534
135	375	13.58	35.00	217860	1600848	9.70	E	8.2320	0.1823	0.1582	0.1486	-0.0197	0.9378	0.1582	-0.0582

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
136	400	14.00	35.00	217882	1600847	9.70	E	8.7600	0.1786	0.1256	0.1336	-0.0229	0.9720	0.1565	-0.0565
137	425	14.02	35.00	217909	1600845	9.70	E	8.1696	0.1857	0.2567	0.1357	-0.0270	0.9318	0.1567	-0.0567
138	450	14.04	35.00	217932	1600843	8.00	E	-1.0403	0.1721	0.1212	0.1212	-0.0301	0.8279	0.1212	-0.0212
139	475	14.06	35.00	217958	1600841	8.40	E	-1.0634	0.1724	0.1240	0.1240	-0.0304	0.8268	0.1240	-0.0240
140	500	14.08	35.00	217982	1600838	7.80	E	-1.4000	0.1690	0.2069	0.1207	0.0029	0.7249	0.1069	-0.0107
141	525	14.10	35.00	218009	1600836	8.00	E	-1.0264	0.1859	0.1209	0.1209	-0.0246	0.8800	0.1209	-0.0209
142	550	14.12	35.00	218033	1600834	8.00	E	-1.0095	0.1769	0.1208	0.1208	-0.0232	0.8167	0.1208	-0.0208
143	575	14.14	35.00	218058	1600831	8.90	E	-1.0400	0.1797	0.1308	0.1308	-0.0235	0.9173	0.1308	-0.0308
144	600	14.16	35.00	218082	1600831	8.20	E	-1.0624	0.1723	0.1231	0.1231	-0.0229	0.8177	0.1231	-0.0231
145	625	14.18	35.00	218108	1600831	8.80	E	-1.0120	0.1811	0.1281	0.1281	-0.0233	0.8177	0.1281	-0.0281
146	650	14.20	35.00	218133	1600831	10.00	E	11.7344	0.1809	0.1281	0.1558	-0.0348	1.1866	0.1809	-0.0809
147	675	14.22	35.00	218158	1600831	9.50	E	8.3600	0.1993	0.1256	0.1560	-0.0254	0.9221	0.1560	-0.0560
148	700	14.24	35.00	218183	1600830	8.20	E	-1.0711	0.1603	0.1236	0.1236	-0.0277	0.8231	0.1236	-0.0236
149	725	14.26	35.00	218208	1600830	8.90	E	-1.0109	0.1880	0.1301	0.1301	-0.0284	0.8225	0.1301	-0.0301
150	750	14.28	35.00	218234	1600829	8.90	E	-1.0590	0.1943	0.1306	0.1231	-0.0269	0.8237	0.1306	-0.0306

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่	ระยะ	เวลา	อุณหภูมิ	ทิศ		ความชื้นในดิน	ทิศ	ดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices)							
	(เมตร)		(°C)	X	Y	(%โดยปริมาตร)		DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	NDWI	RVI	TNDVI	VI
151	775	14.30	35.00	218259	1600828	8.20	E	-1.0938	0.1621	0.1221	0.1221	-0.0243	0.8273	0.1221	-0.0221
152	800	14.32	35.00	218284	1600827	8.70	E	-1.0528	0.1924	0.1292	0.1292	-0.0242	0.8297	0.1292	-0.0292
153	825	14.34	35.00	218308	1600827	8.60	E	-1.0208	0.1630	0.1263	0.1263	-0.0262	0.8300	0.1263	-0.0263
154	850	14.36	35.00	218332	1600827	8.70	E	-1.0248	0.1743	0.1274	0.1274	-0.0267	0.8305	0.1274	-0.0274
155	875	14.38	35.00	218357	1600826	8.10	E	-1.0721	0.1843	0.1214	0.1214	-0.0262	0.8334	0.1214	-0.0214
156	900	14.40	35.00	218382	1600826	8.50	E	-1.0680	0.1599	0.1260	0.1260	-0.0265	0.8914	0.1260	-0.0599
157	925	14.42	35.00	218410	1600826	9.00	E	8.4080	0.1967	0.2501	0.1501	-0.0268	0.9226	0.1501	-0.0501
158	950	14.44	35.00	218432	1600825	9.10	E	8.8848	0.1739	0.2511	0.1511	-0.0261	0.9241	0.1511	-0.0511
159	975	14.46	35.00	218458	1600825	10.00	E	11.9904	0.1813	0.2813	0.1129	-0.0453	1.2960	0.2181	-0.0581
160	1000	14.48	35.00	218474	1600824	8.90	E	-1.0373	0.1746	0.1306	0.1306	-0.0236	0.8317	0.1306	-0.0647

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวขนิษฐา สุทธิบริบาล
เกิดวันที่	27 พฤศจิกายน 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์