



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)
ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

Water Footprint of Organic Jasmine Rice in Surin Province

نامผู้วิจัย นายมานพ พรหมดี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดิษฐ์ พรหมรินทร์, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรัณดี ไทยสยาม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณภาพร เปี่ยมสง่า, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสันทิ มตาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

Water Footprint of Organic Jasmine Rice in Surin Province

โดย

นายมานพ พรหมดี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มานพ พรหมดี 2557: วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์ในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากร
น้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัครชัย พรพรหมินทร์, D.Eng. 167 หน้า

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้แสดงปริมาณการใช้น้ำจืดรวมทุกขั้นตอนของการผลิต
สินค้าต่างๆ ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ภาคเกษตรกรรมของไทยมีการใช้น้ำจำนวนมากในการผลิต
ข้าว ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวไทยมีค่าสูงกว่าประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อย่างไร
ก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่าสายพันธุ์ข้าวและกระบวนการเพาะปลูกที่แตกต่างกันก็เป็นอีกสาเหตุ
หนึ่งที่ทำให้ผลผลิตและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกัน ในปัจจุบันกระแสความห่วงใยด้านสุขภาพ
และความปลอดภัยของอาหารได้รับความสนใจมากขึ้นทำให้อุตสาหกรรมบริโภคอาหารกลุ่มเกษตร
อินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ข้าวหอมมะลินทรีย์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากเป็น
สินค้าส่งออกที่สำคัญ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์อย่าง
ละเอียด ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยใช้ข้อมูลที่มีความจำเป็น
ทางสภาพภูมิอากาศ เพื่อหาค่าการคายระเหยของพืชโดยใช้วิธีของ Penman-Monteith รวมทั้ง
ข้อมูลรายละเอียดในการทำเกษตรกรรมในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2552/53-
พ.ศ.2554/55 ซึ่งพบว่าเกษตรกรในพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตม ใช้ค่า K_c ข้าวหอมมะลิ
105 ของกรมชลประทาน ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่า K_c ของ FAO ส่วนผลผลิตของข้าวหอมมะลินทรีย์นั้น
พบว่ามีผลผลิตน้อยกว่าเกือบเท่าตัว ดังนั้นการใช้ค่าพื้นฐานอาจส่งผลให้ได้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มี
ค่าสูงกว่าการศึกษาที่ผ่านมา ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์ในเขต
พื้นที่จังหวัดสุรินทร์ มีผลผลิตเฉลี่ย 226.25 ตัน/ตร.กม (362 กก./ไร่) ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าว
หอมมะลินทรีย์ เท่ากับ 3,440 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นค่าบวรวอเตอร์ฟุต พริ้นท์ 1,243 ลบ.ม./ตัน ค่า
กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 1,544 ลบ.ม./ตัน และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุต พริ้นท์ 653 ลบ.ม./ตัน ซึ่งมีค่า
มากกว่าการศึกษาที่ผ่านมาและสามารถนำไปวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้น้ำและกำหนด
แนวทางในการบริหารจัดการน้ำและการเพาะปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อไปใน
อนาคต

Manop Promdee 2014: Water Footprint of Organic Jasmine Rice in Surin Province.
Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources
Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor:
Assistant Professor Adichai Pornprommin, D.Eng. 167 pages.

Water footprint is an indicator showing the volume of fresh water by using in every process both directly and indirectly. At present, water has been known as a limited resource. Thus, water management and water use efficiency are important and challenging issues. From previous research, the agricultural sector of Thailand had used a lot of water to produce rice. Water footprint of rice in Thailand is higher than countries in Southeast Asia. However, it is known that different varieties and cultivation of rice are another reason affecting products and water footprint. Since there is the trend of health concerns from people around the world, the dietary organic groups are likely to increase in the future. Organic Jasmine Rice is an attractive alternative according to it is an exported product. Therefore, the water footprint of organic jasmine rice in Thailand should be studied in details. In this study, The local data of climate for finding the evapotranspiration by the Penman-Monteith method and the detailed information on agriculture are collected from the study area. Using agricultural season data in year 2009/2010-2011/2012, used to calculate water footprint. The typical agricultural practice for rice cultivation in this area is the paddy-sown field method. The crop coefficient (K_c) used in this study from the royal irrigation department of Thailand is larger than the value by FAO, In part of jasmine rice production found that the product is less than a half. Thus by using the foundation value might be effected to value water footprint is higher than the previous study These results in case study show that for planting organic jasmine rice in Surin province, the product average is 226.25 ton/km² (362 kg/Rai). Organic jasmine rice has water footprint value equilibrium to 3,440 m³/ton, separated to blue water footprint is 1,243 m²/ton, Green water footprint value 1,544 m²/ton and grey water footprint is 653 m²/ton, that is value are higher than previous study. Moreover, It can be analyze the effected of water using and specify the way in water management and planting with be proper for future

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.อดิชัย พรพรหมินทร์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการอันประกอบด้วย ผศ.ดร.วรรณดี ไทยสยาม กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อ.ดร.อรรถนันท์ เล็กอุทัย ผู้ทรงคุณวุฒิและ รศ.ชัยวัฒน์ ขยันการนาวิ ประธานกรรมการในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งทำเจ้าหน้าที่จากบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์ปฏิบัติการจัดสรรน้ำ ส่วนบริหารจัดการน้ำ สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน , กรมอุตุนิยมวิทยา ฝ่ายงานบริการข้อมูล กลุ่มภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา และศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลใช้ในการวิเคราะห์ รวมถึงการให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการศึกษาครั้งนี้

คุณความดีอันเป็นประโยชน์ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบให้แก่คุณพ่อลพ พรหมดี และ คุณแม่ลัดดา พรหมดี ผู้ที่ให้กำเนิดและเลี้ยงดูจนเติบโต ให้สติปัญญาและความสามารถให้ความรัก และความห่วงใย ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้เมตตา อบรม ให้ความรู้จนถึงปัจจุบัน

มานพ พรหมดี

ตุลาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	63
อุปกรณ์	63
วิธีการ	63
ผลและวิจารณ์	79
สรุปและข้อเสนอแนะ	95
สรุป	95
ข้อเสนอแนะ	102
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	103
ภาคผนวก	106
ภาคผนวก ก	ค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จ.สุรินทร์ ปี พ.ศ.2552/53 - พ.ศ.2554/55
	107
ภาคผนวก ข	ข้อมูลสถานีตรวจวัดต่างๆ (กรมอุตุนิยมวิทยา)
	144
ภาคผนวก ค	Schematic diagram การคำนวณหาอัตรารุ้ตปรินท์
	146
ภาคผนวก ง	เปรียบเทียบค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง Penman Monteith กับ โปรแกรม Eto Calculator V.3.1
	148
ภาคผนวก จ	อัตรารุ้ตปรินท์ของข้าวหอมมะลิ จ.สุรินทร์ ปี พ.ศ.2552/53 - พ.ศ.2554/55
	151
ภาคผนวก ฉ	ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน (N) ของข้าวหอมมะลิ จ.สุรินทร์
	159
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	167

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ต่อคนต่อปี	9
2	ค่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์	10
3	โครงสร้างต้นทุนของข้าวพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 จังหวัดสุรินทร์ (บาท/ไร่)	24
4	โครงสร้างต้นทุนของข้าวพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 จังหวัดสุรินทร์ (บาท/ตัน)	25
5	อัตราการสีข้าวเปลือก 1,000 กก.	26
6	ต้นทุนการแปรรูปพร้อมเป็นบรรจุภัณฑ์ (บาท/ตันข้าวเปลือก)	27
7	ระบบการแบ่งเนื้อดินของกระทรวงเกษตรประเทศสหรัฐอเมริกา	42
8	การแบ่งประเภทเนื้อดินในสามเหลี่ยมมาตรฐาน	43
9	ขนาดของช่องว่างภายในดิน	46
10	แสดงชั้นความลึกของเนื้อดิน	47
11	ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทั้งหมดส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และใช้ไม่ได้ ของดินต่างๆ	51
12	สรุปข้อมูลในการทำวิจัย วอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์	64
13	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ของข้าวหอมมะลิ 105	68
14	ข้อมูลที่ใช้การวิเคราะห์ในการหาค่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ จ.สุรินทร์	79
15	ผลผลิตเฉลี่ย กก./ไร่ แต่ละฤดูกาลผลิตของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์	80
16	เปรียบเทียบผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์	88
17	ค่าสูงสุด, ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตปริ้นท์รวมแต่ละกรณีศึกษา	91
18	ต้นทุนของการปลูกข้าวในพื้นที่ จ.สุรินทร์	93
19	แสดงความต้องการใช้น้ำของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์	96
20	เปรียบเทียบสัดส่วนค่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์กับงานวิจัยอื่น	98
21	เปรียบเทียบผลผลิตและค่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์กับงานวิจัยอื่น	99
22	สรุปราคาต้นทุนและกำไรของข้าวหอมมะลิ 105 จ.สุรินทร์	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	การคำนวณหาค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ปี พ.ศ.2552/53 จาก โปรแกรม Eto Calcultor V.3.1	108
ก2	ค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ปี พ.ศ.2553/54 จาก โปรแกรม Eto Calcultor V.3.1	120
ก3	ค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ปี พ.ศ.2554/55 จาก โปรแกรม Eto Calcultor V.3.1	132
ข1	ข้อมูลสถานีตรวจวัดต่างๆ (กรมอุตุนิยมวิทยา)	145

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 สมดุลของน้ำในแปลงนา	14
2 สมดุลน้ำในเขตรากพืช	16
3 การปลูกข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 นาหว่านน้ำตาม	23
4 แสดงที่ตั้งและอาณาเขต จ.สุรินทร์	29
5 แสดงอุณหภูมิในแต่ละเดือนของ จ. สุรินทร์	31
6 แสดงกราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ จ.สุรินทร์	32
7 แสดงค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำ ในแต่ละเดือน จ.สุรินทร์	33
8 แสดงปริมาณน้ำฝนสะสมในแต่ละเดือน จ.สุรินทร์	34
9 แสดงแผนที่กลุ่มชุดดิน จ.สุรินทร์	36
10 แสดงพื้นที่ความเหมาะสมในการปลูกข้าว จ.สุรินทร์	38
11 แสดงระดับความชื้นในดินที่จุดต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดิน	48
12 แสดงโปรแกรม ETo Calculator	65
13 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในโปรแกรม ETo Calculator	65
14 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ของข้าว	67
15 แผนที่พื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลินิธิย์ ฤดูแล้งปี พ.ศ.2552/53	73
16 แสดงพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลินิธิย์ในแผนที่ข้อมูลชุดที่ดิน ฤดูแล้งปี พ.ศ.2552/53	75
17 แสดงค่าพารามิเตอร์เพื่อกำหนดหาค่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์	77
18 ผลสมดุลน้ำในแปลงนาของข้าวหอมมะลินิธิย์ จ.สุรินทร์ ในเขตชลประทาน พ.ศ.2552/53	82
19 ตัวอย่างสมดุลน้ำในแปลงนาของข้าวหอมมะลินิธิย์ จ.สุรินทร์ นอกเขตชลประทาน พ.ศ.2552/53	83
20 ผลความเครียดน้ำที่เกิดขึ้นของข้าวหอมมะลินิธิย์ จ.สุรินทร์นอกเขตชลประทาน	84
21 วอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวหอมมะลินิธิย์ และแบบบัญชีผลผลิตในพื้นที่ จ.สุรินทร์	86
22 กราฟสรุปเปรียบเทียบผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวหอมมะลินิธิย์ จ.สุรินทร์กับงานวิจัยอื่น	87

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค1 แสดง Schematic diagram การคำนวณหาอัตราการฟุดปรินท์	147
ง1 เปรียบเทียบค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ.2552/53 Penman Monteith กับ โปรแกรม Eto Calculator V.3.1	149
ง2 เปรียบเทียบค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ.2553/54 Penman Monteith กับ โปรแกรม Eto Calculator V.3.1	149
ง3 เปรียบเทียบค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ.2554/55 Penman Monteith กับ โปรแกรม Eto Calculator V.3.1	150
จ1 วอเตอร์ฟุดปรินท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์ จ.สุรินทร์ ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ. 2552/53	152
จ2 วอเตอร์ฟุดปรินท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์ จ.สุรินทร์ (นอกเขตชลประทาน) ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ.2552/53	153
จ3 วอเตอร์ฟุดปรินท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์ จ.สุรินทร์ ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ. 2553/54	154
จ4 วอเตอร์ฟุดปรินท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์ จ.สุรินทร์ ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ. 2554/55	155
จ5 วอเตอร์ฟุดปรินท์ของข้าวหอมมะลิแบบใช้น้ำผสม จ.สุรินทร์ ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ.2552/53	156
จ6 วอเตอร์ฟุดปรินท์ของข้าวหอมมะลิแบบใช้น้ำผสม จ.สุรินทร์ ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ.2553/54	157
จ7 วอเตอร์ฟุดปรินท์ของข้าวหอมมะลิแบบใช้น้ำผสม จ.สุรินทร์ ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ.2554/55	158
ฉ1 ผลผลิตและปริมาณไนโตรเจนของข้าวหอมมะลินทรีย์ จ.สุรินทร์ ฤดูแล้ง เพาะปลูกพ.ศ.2552/53	160
ฉ2 ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน ของข้าวหอมมะลินทรีย์ จ.สุรินทร์ (นอกเขต ชลประทาน) ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ.2552/53	161

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
น3 ผลผลิตและปริมาณไนโตรเจนของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์ ฤดูการ เพาะปลูกพ.ศ.2553/54	162
น4 ผลผลิตและปริมาณไนโตรเจน(N)ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์ ฤดูการ เพาะปลูกพ.ศ.2553/54	163
น5 ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน(N)ของข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม จ.สุรินทร์ ฤดูการเพาะปลูก พ.ศ.2553/54	164
น6 ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน(N)ของข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม จ.สุรินทร์ ฤดูการเพาะปลูก พ.ศ.2553/54	165
น7 ผลผลิตและปริมาณไนโตรเจน(N)ของข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม จ.สุรินทร์ ฤดูการเพาะปลูก พ.ศ.2553/54	166

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AR	=	อัตราการใช้น้ำในพื้นที่ต่อไร่
CR	=	capillary rise
CWU	=	ความต้องการใช้น้ำของพืช (Crop Water Use)
C_{max}	=	ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ (Maximum Concentration)
C_{nat}	=	ความเข้มข้นมลพิษในธรรมชาติที่พิจารณา (Natural Concentration)
D	=	การพร่องของน้ำในเขตรากพืช (Depletion)
ET_o	=	การคายระเหยอ้างอิงของพืช (Reference Crop Evapotranspiration)
ET_c	=	การคายระเหยของพืช (Crop Evapotranspiration)
I	=	การส่งน้ำจากชลประทาน (Water Irrigation)
K_c	=	สัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient)
K_s	=	สัมประสิทธิ์ความเครียดน้ำ (Water Stress Coefficient)
MH	=	Mekonnen and Hoekstra 2010
P	=	น้ำฝน (Precipitation)
WF	=	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint)
WF_{total}	=	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมด (Total Water Footprint)
WF_{green}	=	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green Water Footprint)
WF_{blue}	=	บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue Water Footprint)
WF_{grey}	=	เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey Water Footprint)
RAW	=	น้ำที่มีอยู่ในดินที่ใช้การได้ (Readily Available Water)
RO	=	น้ำท่าผิวดิน (Run off)
TAW	=	น้ำทั้งหมดที่ใช้การได้ในเขตรากพืช (Total Available Soil Water Capacity in the root zone)
Y	=	ผลผลิตต่อไร่ (Yield)
α	=	สัดส่วนการชะล้าง (Leaching runoff)
ปลูกข้าวแบบเปียกสลับ	=	การปลูกข้าวใช้น้ำเค็มร่วมกับน้ำจืด

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

Water Footprint of Organic Jasmine Rice in Surin Province

คำนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นแนวทางที่ต้องบริหารจัดการและเร่งปฏิบัติในทุกภาคส่วน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ถือว่าเป็นเรื่องใหม่ที่จะกลายเป็นความท้าทายสำหรับภาคเกษตรกรรมรวมไปถึงอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องใช้น้ำเป็นตัวแปรสำคัญในการผลิตทั้งนี้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 ในหมวดยุทธศาสตร์การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ได้ให้ความสำคัญกับฉลากแสดงข้อมูลการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีข้อกำหนดเตรียมมาตรการรองรับผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากมาตรการทางการค้าและข้อตกลงระหว่างประเทศเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยเฉพาะมาตรการภาษีที่เก็บกักสินค้าข้ามพรมแดน (Border Tax Adjustments: BTAs) ส่งเสริมการติดฉลาก วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เพิ่มขึ้นในอนาคต (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2554) การลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จึงถูกจัดให้เป็นเป้าหมายหนึ่งในระดับประเทศ ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนและสนับสนุนสินค้านำเข้าที่ผนวกเงื่อนไขเกี่ยวกับการใช้น้ำเข้าไว้ด้วยภาคธุรกิจพัฒนาการจัดการทรัพยากรน้ำให้ดีขึ้นและลดความเสี่ยงในการทำลายสภาพแวดล้อม ส่วนผู้บริโภคสามารถลดการใช้น้ำโดยตรง ลดการทิ้งอาหารอย่างสูญเปล่าและลดการบริโภคสินค้าที่ต้องใช้น้ำมาก

ในอนาคตวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จึงเป็นดัชนีบ่งชี้ปริมาณการใช้น้ำโดยรวมทุกขั้นตอนของการผลิตสินค้านั้นๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อหน่วยของสินค้า โดยการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นอกจากต้องดูจากปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตแล้วยังต้องพิจารณาถึงแหล่งน้ำ (Source of water) ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จึงสามารถใช้ในการเปรียบเทียบได้ว่าการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ในแต่ละแห่งมีการใช้น้ำปริมาณเท่าใดและแตกต่างกันอย่างไร และอาจเป็นเครื่องมือในการกีดกันสินค้าโดยใช้ข้ออ้างเรื่องผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

ปัจจุบันข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญอันดับหนึ่งของประเทศไทย โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิอินทรีย์ ซึ่งพื้นที่หลักที่ปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในไทยร้อยละ 80 จะอยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือทำการผลิตและส่งขายประเทศแถบยุโรป ซึ่งในปัจจุบันความสนใจในเรื่องการดูแลสุขภาพและความปลอดภัยด้านอาหารของคนในโลกเพิ่มขึ้นทำให้การบริโภคอาหารกลุ่มเกษตรอินทรีย์จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคตจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงควรมีการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลงลึกถึงรายละเอียดระดับพื้นที่ย่อย ในเขตจังหวัดสุรินทร์ในฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2552/53 – พ.ศ.2554/55 ซึ่งการเลือกใช้พื้นที่ศึกษาระดับจังหวัดนั้นทำให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องชัดเจน มีการศึกษาประเมินปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากขั้นตอนต่างๆ ทั้งระบบ ภายใต้งบเงื่อนไขด้านสังคม เศรษฐกิจ และภูมิศาสตร์กายภาพ การมีข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ถูกต้องยังช่วยให้เกษตรกรและผู้วางนโยบายสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องในการจัดการน้ำ ซึ่งจะทำให้การผลิตสินค้าเกษตรมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนั้นการศึกษานี้ยังได้ศึกษาถึงข้อมูลรายละเอียดเชิงลึกของเกษตรกรแต่ละรายในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ เพื่อจะได้ทราบว่าในการเพาะปลูกข้าวของเกษตรกรแต่ละรายมีการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์กับการปลูกข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์
2. เพื่อคำนวณหาอัตราปุ๋ยปฐพีของข้าวหอมมะลินทรีย์อย่างละเอียดในระดับแปลงนา ซึ่งประกอบด้วย บลูเวอร์ปุ๋ยปฐพีที่กรีนเวอร์ปุ๋ยปฐพีและเกรย์เวอร์ปุ๋ยปฐพี
3. เพื่อเปรียบเทียบค่าอัตราปุ๋ยปฐพีที่คำนวณได้กับค่าที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา เช่น ค่าอัตราปุ๋ยปฐพีของ Chapagain และ Hoekstra (2010) ที่เป็นการคำนวณอย่างหยาบในระดับประเทศ เป็นต้น

ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษาที่เลือกใช้ ได้แก่ พื้นที่ของกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตข้าวหอมมะลินทรีย์ในเขตจังหวัดสุรินทร์เป็นพื้นที่การเพาะปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์ประมาณ 944 ไร่และพื้นที่การเพาะปลูกข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ประมาณ 1,434 ไร่ ฤดูนาปี 2552/53 - 2554/55
2. ศึกษาอัตราปุ๋ยปฐพีข้าวหอมมะลินทรีย์และข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้ข้อมูลการการเพาะปลูก ผลผลิตต่อไร่รายปีและการใช้ปุ๋ยฤดูนาปี 2552/53 - 2554/55
3. ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินผลตอบแทนด้านเศรษฐกิจ ผลผลิตต่อไร่รายปีเพื่อหาต้นทุนและผลตอบแทนของการผลิตข้าวหอมมะลินทรีย์และข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งจะอยู่ในรูปของมูลค่าบาทต่อไร่
4. ศึกษาค่าตัวแปรต่างๆ สำหรับการวิเคราะห์ หากไม่สามารถหาได้จากผลการทดลองในแปลงนา จะทำการสมมติจากค่ามาตรฐานที่ใช้งานในปัจจุบัน เช่น ค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) จะใช้ค่าที่ได้จากการศึกษาทดลองของกลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน เป็นต้น

ประโยชน์ที่ได้รับ

การมีข้อมูลวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ที่ถูกต้องจะช่วยทำให้เห็นภาพปริมาณการใช้น้ำที่ซ่อนเร้นอยู่ในกระบวนการผลิตได้อย่างชัดเจนและยังสามารถนำมาประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อีกด้วยซึ่งจะทำให้เข้าใจปัญหาการขาดแคลนน้ำและมลภาวะทางน้ำได้ดียิ่งขึ้นการศึกษาวอเตอร์ฟุตปริ้นท์และการใช้น้ำอย่างละเอียดในพื้นที่ระดับจังหวัดสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการกำหนดแผนบริหารจัดการการปลูกข้าวในระดับพื้นที่และสามารถประเมินถึงอัตราการใช้น้ำของเกษตรกรในพื้นที่ได้อีกทั้งยังสามารถช่วยวิเคราะห์ผลผลิต , ต้นทุนและกำไรที่เกิดขึ้นในการเพาะปลูกข้าวในแบบอินทรีย์และแบบเคมีร่วมกับอินทรีย์เพื่อช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเกษตรกรในพื้นที่ได้

การตรวจเอกสาร

Hoekstra and Hung (2002) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณน้ำเสมือนที่เชื่อมโยงระหว่างประเทศปี ค.ศ.1995-1999 เพื่อดูการเชื่อมโยงการขายพืช และวิเคราะห์สมดุลของน้ำเสมือนแต่ละประเทศโดยใช้ทางสภาพภูมิอากาศ เพื่อหาค่าการคายระเหยของพืชโดยใช้วิธีของ Penman-Monteith และข้อมูลการส่งออกของสินค้า พบว่า 13 % ของน้ำที่ใช้สำหรับการเพาะปลูกถูกใช้เพื่อการส่งออก ประเทศที่มีการส่งออกน้ำเสมือนมากที่สุดคือสหรัฐอเมริกา แคนาดาและไทยซึ่งมีการเชื่อมโยงกับความต้องการน้ำและน้ำที่ใช้การได้

Gerbens-Leenes and Hoekstra (2009) ได้ทำการศึกษาโดยมีเป้าหมายเพื่อประเมินค่ากรีนบุล และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำตาลเทียมและไบโอ-เอทานอล จากอ้อย บีท และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศหลักที่มีการผลิต เพื่อหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในหน่วยลูกบาศก์เมตร/กิกะจูล สามารถคำนวณได้จากประเภทของพืชที่ใช้ต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการการเกษตรและเงื่อนไขของสภาพภูมิอากาศในการทำเกษตร พบว่าอ้อย บีท และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมเท่ากับ 108 59 และ 110 ลูกบาศก์เมตร/กิกะจูล ตามลำดับ

สำหรับการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในประเทศไทย มีการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดนครสวรรค์ (ทิพย์ปภาและคณะ, 2554) , (Sukumalchart et al, 2011) ทำการศึกษาคำนวณหาบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดนครสวรรค์ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1. การประเมินค่าการคายระเหยของพืช 2. การคำนวณค่าหาความต้องการใช้น้ำของพืชโดยใช้วิธีสมดุลน้ำในเขตรากพืช 3. เมื่อคำนวณร่วมกับผลผลิตพืชต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ จากผลการศึกษาได้ค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะอยู่นอกเขตพื้นที่ชลประทาน โดยมีผลผลิตประมาณ 99% ของผลผลิตรวม ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมจึงสามารถประมาณเท่ากับค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งเท่ากับ 677 ลูกบาศก์เมตร/ตัน

ชินาธิปกรณ และ ชำรงรัตน์ (2554) ได้ทำการศึกษาหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอล จากมันสำปะหลังในประเทศไทย และทำการคาดการณ์ปริมาณการใช้น้ำ และปริมาณพื้นที่เพาะปลูกตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี สำหรับปริมาณการใช้น้ำตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนฯจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นทุกปีและเพิ่มขึ้นถึงเกือบ 10 เท่าเมื่อสิ้นสุดแผนฯ

ในปี พ.ศ.2565 แต่หากมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังจาก 3.4 เป็น 8.0 ตัน/ไร่ จะส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำลดลงร้อยละ 57.4 ในแต่ละปี โดยจะต้องใช้น้ำ 1.110 กิโลลูกบาศก์เมตร หรือเพิ่มขึ้นถึงเพียง 4 เท่า เมื่อสิ้นสุดแผนฯในปี พ.ศ.2565

รมณี และ ปณมณี (2554) ได้ทำการศึกษาได้ทำการคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมแป้งข้าว ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบระหว่างโรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับโรงงานในภาคตะวันออก จากการศึกษาพบว่าโรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 4.5 ลูกบาศก์เมตร/ข้าว 1 ตัน มีค่ามากกว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของโรงงานในภาคตะวันออกซึ่งมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 1.5 ลูกบาศก์เมตร/ข้าว 1 ตัน เนื่องจากมีกระบวนการผลิตและแปรรูปที่แตกต่างกัน จำนวนขั้นตอนที่ผลิตไม่เท่ากัน แหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการผลิต เครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตประกอบทั้งที่ตั้งของโรงงานและการเข้าถึงน้ำดิบและน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพแตกต่างกัน

ลักขณา (2555) ได้ทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตของปาล์มน้ำมันในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ทั้งหมด 16 จังหวัด (ปีพ.ศ.2550–2554) พบว่าค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 2,139 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ส่วนใหญ่เกิดจากปริมาณการใช้น้ำจากการคายระเหยของน้ำฝน 50% และ พบว่าในเขตพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้น้ำสูงกว่าภาคใต้ 3.9 เท่า โดยจังหวัดที่ใช้น้ำมากที่สุดคือ จ.พิจิตร มีค่าเท่ากับ 6,098 ลูกบาศก์เมตร/ตัน และจังหวัดที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดคือ จ.สุราษฎร์ธานีมีค่าเท่ากับ 1,070 ลูกบาศก์เมตร/ตัน

ธีระวัฒน์ (2555) ได้ทำการศึกษาค่าบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม ในช่วงปีเพาะปลูก 2552/2553 ทั้ง 2 ช่วงฤดูกาลเพาะปลูกนาปีและนาปรัง ทั้งในพื้นที่ในเขตชลประทานและพื้นที่นอกเขตชลประทาน พบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวเฉลี่ยรวมของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมเท่ากับ 1,627 ลูกบาศก์เมตร/ตัน แยกเป็นค่าบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 771 ลูกบาศก์เมตร/ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 47 ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 438 ลูกบาศก์เมตร/ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 27 และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 418 ลูกบาศก์เมตร/ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 26 หากพิจารณาในระดับประเทศและระดับโลก โดยพบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมนั้นมีค่า ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของประเทศไทยมากซึ่งมากกว่าเพียงเล็กน้อย

1,627 และ 1,617 ตามลำดับ สำหรับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของข้าวประเทศไทยเมื่อพิจารณาเทียบกับประเทศเวียดนามและค่าเฉลี่ยของโลกแล้วพบว่า ประเทศไทย มีค่าวอเตอร์ฟุต พริ้นท์เฉลี่ยของข้าวที่สูงกว่าประเทศเวียดนามมากถึงเกือบ 3 เท่าและยังสูงกว่าค่าเฉลี่ยของโลกอยู่มาก โดยมีค่า 1671 , 638 และ 1325 ตามลำดับ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) นำเสนอโดย Hoekstra (2003) เป็นดัชนีบ่งชี้แสดงปริมาณการใช้น้ำจืดรวมทุกขั้นตอนของการผลิตสินค้าต่างๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อหน่วยของสินค้าในส่วนกรณีภาคเกษตรกรรมการเพาะปลูกพืชไร่ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำจืดทั้งหมดที่ถูกใช้ในการเพาะปลูกพืชไร่เพื่อใช้เป็นดัชนีในการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้น้ำที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูก วอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

บลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ หมายถึง การคายระเหยของปริมาณน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ของน้ำจากการชลประทานตลอดจนห่วงโซ่ของการผลิตสินค้า เมื่อเกิดการคายระเหยแล้วจะตกลงกลับมาสู่พื้นที่รับน้ำอื่นหรือลงสู่ทะเลหรือการรวมเข้าไปสู่รูปแบบสินค้า

กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ หมายถึง น้ำฝนที่ตกลงมาแล้วซึมลงดิน ถูกพืชนำไปใช้ในการผลิตสินค้า

เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตสินค้าให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน

ข้อมูลที่มีความจำเป็นต้องใช้ในการคำนวณหาบลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ได้แก่ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุด ชั่วโมงที่มีแสงแดด อัลติจูดแลตติจูด ลองติจูด ความชื้น ความเร็วลม ข้อมูลน้ำฝน และค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) โดยข้อมูลเหล่านี้จะนำไปเข้าสู่สูตรการหาค่าการระเหยของพืชโดยใช้วิธีของ Penman-Monteith หลังจากที่ทราบค่าการคาย

ระเหยของพืชแล้วนำค่าที่ได้ไปคูณกับพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูกสำหรับหน่วยวัดของวอเตอร์ฟุต ปริ้นท์ที่มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/ตัน , ลิตร/กิโลกรัม โดยวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ในพืชคำนวณจาก ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตร/เฮกตาร์) / ปริมาณผลผลิตของพืชนั้น (ตัน/เฮกตาร์) ส่วนวอเตอร์ ฟุตปริ้นท์ในสัตว์ คำนวณจากปริมาณน้ำทั้งหมดในการผลิตและให้อาหารสัตว์ น้ำดื่มของสัตว์และน้ำที่ ใช้ในการกิจการเลี้ยงสัตว์อื่นๆ เช่น น้ำที่ใช้เพื่อทำความสะอาดคอกสัตว์ น้ำที่ใช้ในการระบายความ ร้อนเป็นต้น สำหรับวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ในผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์เป็นผลรวมของวอเตอร์ฟุต ปริ้นท์ของการผลิตผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนกระทั่งสิ้นสุดได้ออกมาเป็น ผลิตภัณฑ์นั้นๆ (Hoekstra, 2002)

สำหรับค่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของประเทศไทยสูงถึงอันดับ 3 ของโลกโดยมีการใช้น้ำต่อการ ผลิตสินค้า 1 หน่วยสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ ดังตารางที่ 1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้น้ำ ในการเกษตรสูงถึง 2,131 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี ซึ่งเกิดจากการผลิตเพื่อการส่งออกเป็นสำคัญทำให้มี ผู้ใช้น้ำเสมือนหรือวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก จนอาจจะสร้างปัญหาให้กับ ประเทศไทยได้ในอนาคต นอกจากนี้ยังได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยในระดับโลกสำหรับปริมาณน้ำเสมือน ที่ใช้ในการผลิตสินค้าต่อหน่วยมีหลายค่าที่น่าสนใจ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ต่อคนต่อหนึ่งปี

ลำดับที่	ประเทศ	ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี
1	สหรัฐอเมริกา	2,485
2	อิตาลี	2,332
3	ไทย	2,223
4	แคนาดา	2,049
5	ฝรั่งเศส	1,875
6	รัสเซีย	1,858
7	เยอรมนี	1,545
8	เม็กซิโก	1,441

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับที่	ประเทศ	ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี
9	ออสเตรเลีย	1,393
10	บราซิล	1,381

ที่มา : Hoekstra and Chapagain (2007)

ตารางที่ 2 ค่าอเวอเจอร์ฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

ชนิด	จำนวน	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิต(ลิตร)
เบียร์	1 แก้ว (250 มิลลิลิตร)	75
นม	1 แก้ว (200 มิลลิลิตร)	200
กาแฟ	1 แก้ว (140 มิลลิลิตร)	140
ไวน์	1 แก้ว (125 มิลลิลิตร)	120
น้ำส้ม	1 แก้ว (200 มิลลิลิตร)	170
ไข่	1 ฟอง (40 กรัม)	135
เสื้อยืดคอกกลมทำจากฝ้าย	1 ตัว	2,000
กระดาษ ขนาด A4	1 แผ่น	10
ไมโครชิป	1 ตัว	32

ที่มา : Hoekstra and Chapagain (2007)

ผลการศึกษาในช่วงปี 1997-2001 พบว่า ค่าเฉลี่ยอเวอเจอร์ฟุตปริ้นท์ของคน 1 คนเท่ากับ 1,240 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี โดยประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นอันดับ 1 มีค่าอเวอเจอร์ฟุตปริ้นท์เท่ากับ 2,483 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปีและไทยมีค่าอเวอเจอร์ฟุตปริ้นท์ของคนสูงเป็นอันดับ 3 ของโลกเท่ากับ 2,223 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี ประเทศที่มีค่าอเวอเจอร์ฟุตปริ้นท์น้อยที่สุดคือประเทศบังคลาเทศ มีค่าเท่ากับ 896 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี (Hoekstra and Chapagain, 2007)

การคำนวณหาฟุตพริ้นท์

ศึกษาทฤษฎีและวิธีการต่างๆ ในการคำนวณหาฟุตพริ้นท์ การศึกษาแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

1. วิธีการคำนวณฟุตพริ้นท์
2. วิธีการคำนวณปริมาณน้ำที่พืชใช้และการคายระเหยของพืช
3. การคำนวณสมดุลน้ำในแปลงนา
4. วิธีการคำนวณสมดุลน้ำในเขตรากพืช

1. วิธีการคำนวณฟุตพริ้นท์

ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในพืช (Total water footprint, WF_{total}) คำนวณจากผลรวมของบลูฟุตพริ้นท์ (WF_{blue}) กรีนฟุตพริ้นท์ (WF_{green}) และเกรย์ฟุตพริ้นท์ (WF_{grey}) ดังสมการนี้

$$WF_{total} = WF_{blue} + WF_{green} + WF_{gray} \quad (1)$$

โดยฟุตพริ้นท์สามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำที่พืชใช้ (Crop water use, CWU) ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (หน่วย m^3/rai) หารด้วยปริมาณผลผลิตของพืชนั้น (yield, Y) ตัน/ไร่ (หน่วย ton/rai) ดังนี้

$$(WF_{total}, WF_{blue}, WF_{green}) = \frac{(CWU_{total}, CWU_{blue}, CWU_{green})}{Y} \quad (2)$$

จากสมการ (2) จะพบว่า ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (CWU) เป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณหาฟุตพริ้นท์ (WF) โดยทั่วไป นักวิจัยจะสนใจปริมาณน้ำที่พืชใช้ เพื่อพิจารณาการให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ ผลผลิตสูงสุด แต่ฟุตพริ้นท์มีความหมายที่มากกว่านั้น โดยมองในแง่ของการใช้น้ำในการผลิตสินค้าต่อหน่วยสินค้า ซึ่งทำให้สามารถเปรียบเทียบการผลิตสินค้าชนิด

เดียวกันที่พื้นที่ต่างกันหรือเปรียบเทียบการผลิตสินค้าต่างชนิดกัน ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีในการวางแผนและบริหารการเลือกผลิตสินค้าและช่วงเวลาในการผลิตสินค้าที่ทำให้การใช้น้ำเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังกล่าวไว้ข้างต้น

ค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ซึ่งคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางน้ำเสียให้ความเข้มข้นลดลงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานของแม่น้ำลำคลองและคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำประเภท 2 โดยกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกำหนดให้มีปริมาณไนเตรด (NO_3) ในน้ำในหน่วยไนโตรเจน ต้องมีค่าไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตรดังสมการสมการ (3)

$$WF_{gray} = \frac{(\alpha * AR) / (C_{\max} - C_{\text{nat}})}{Y} \quad (3)$$

เมื่อ α คือ การรั่วซึมออกของปุ๋ย เนื่องจากไม่มีค่าจากภาคสนามในที่นี้จึงสมมติให้เท่ากับ 10% ของ AR (Mekonnen and Hoekstra, 2010) ค่า AR คือ อัตราการใช้ปุ๋ยในพื้นที่ต่อไร่ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งใช้ข้อมูลจากการเพาะปลูก $C_{\max}$ คือ ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร C_{nat} คือ ความเข้มข้นมลพิษในธรรมชาติที่พิจารณา มีหน่วยเป็นกิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เนื่องจากไม่มีข้อมูลในที่นี้จึงสมมติให้เท่ากับศูนย์ (Mekonnen and Hoekstra, 2010) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 0.4-0.52 % โดยน้ำหนัก (กัญจน์กรวลย์ ฤทธิ์เรืองเดช, 2554) ปุ๋ยพืชสดก่อนไถกลบ (ฟางข้าว-ถั่วเขียว) น้ำหนัก 1,670 กิโลกรัม/ไร่ มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.59 % (กรมวิชาการเกษตร)

2. วิธีการคำนวณปริมาณน้ำที่พืชใช้การคายระเหยของพืช

ปริมาณน้ำที่พืชใช้ทั้งหมด ปริมาณน้ำที่พืชใช้แบบบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และปริมาณน้ำที่พืชใช้แบบกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$CWU_{\text{total}} = \text{factor} \times \sum_{d=1}^{lqp} ET_c \quad (4)$$

$$CWU_{\text{blue}} = \text{factor} \times \sum_{d=1}^{lqp} ET_{\text{blue}} = \text{factor} \times \sum_{d=1}^{lqp} I \quad (5)$$

$$CWU_{green} = factor \times \sum_{d=1}^{lap} ET_{green} = CWU_{total} - CWU_{blue} \quad (6)$$

โดย d คือ ลำดับวันที่เพาะปลูก lap คือ จำนวนวันที่เพาะปลูกทั้งหมด $factor$ เป็นพารามิเตอร์ ใช้แปลงหน่วย ในกรณีที่การคายระเหยของพืช (ET) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) และปริมาณน้ำที่พืชใช้ (CWU) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ไร่ (m^3/rai) จะมีค่าเท่ากับ 1.6 และ I คือปริมาณน้ำจากชลประทาน ในกรณีที่พิจารณาการเพาะปลูกนอกเขตชลประทาน อาจมีการให้น้ำในรูปแบบที่ไม่ใช่น้ำฝน เช่น น้ำบาดาล น้ำจากบ่อเก็บกักในพื้นที่เพาะปลูก เป็นต้นแต่เนื่องจากการศึกษานี้ไม่มีข้อมูลการให้น้ำดังกล่าว จึงสมมติให้ค่า I , ET_{blue} และ CWU_{blue} จะเท่ากับศูนย์สำหรับพื้นที่นอกเขตชลประทาน

ค่าการคายระเหยของพืช (Evapotranspiration, ET_c มีหน่วยมิลลิเมตร/วัน) (mm/day) คำนวณจาก

$$ET_c = K_s K_c ET_o \quad (7)$$

โดยที่ ET_o คือ ค่าการคายระเหยอ้างอิงของพืช (Reference Crop Evapotranspiration, ET_o มีหน่วยมิลลิเมตร/วัน (mm/day) คำนวณได้จากสมการ Penman-Monteith FAO 56. (Allen et al., 1998) ดังนี้

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (8)$$

เมื่อ การคายระเหยอ้างอิง (ET_o , mm/day) ได้จากค่าคงที่ 0.408 ความชันของเส้นโค้งความดันไออิ่มตัว (Δ , kPa/Celsius) รังสีสุทธิ (R_n , MJ/m²/day) ฟลักซ์ของการถ่ายเทความร้อนของดิน (G , MJ/m²/day) ค่าคงที่ไซโครเมตริก (γ , kPa/Celsius) ค่าคงที่ 900 อุณหภูมิเฉลี่ย (T , Celsius) ค่าคงที่การเปลี่ยนหน่วย 273 ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร (U_2 , m/s) ความดันไออิ่มตัวเฉลี่ย (e_s , kPa) ความดันไอจริง (e_a , kPa) ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร (U_2 , m/s) และ K_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient) ซึ่งช่วงการเจริญเติบโตของพืชนั้นสมมติให้ค่า K_c มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงจากช่วงเริ่มต้นการเพาะปลูก ($K_{c,ini}$) ถึงช่วงกลางของการเพาะปลูก ($K_{c,mid}$) และมีค่าคงที่ไปจนถึงระยะ

สุดท้ายของการเพาะปลูกสมมติให้ค่า K_c ลดลงเป็นเส้นตรงจาก $K_{c,mid}$ ไปจนถึง $K_{c,end}$ และ K_s คือสัมประสิทธิ์ความเครียดน้ำ (Water Stress) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ในกรณีที่น้ำในดินในเขตรากพืชมีค่าการพร่อง (Depletion, D_r มีหน่วย mm) น้อยกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ที่ใช้ได้ (Readily available soil water in the root zone, RAW มีหน่วย (mm) จะได้ว่า $K_s = 1$ ในกรณีที่ $D_r > RAW$ จะได้ว่า K_s ลดลงเชิงเส้นตรง และถ้า D_r มีค่าเท่ากับน้ำที่อยู่ในดินทั้งหมดในเขตรากพืชที่ใช้การได้ (Total available soil water in the root zone, TAW มีหน่วย (mm) จะได้ว่า $K_s = 0$ ดังสมการ (9), (10) และ (11)

$$\text{กรณี } D_r < RAW \quad K_s = 1 \quad (9)$$

$$\text{กรณี } TAW < D_r < RAW \quad K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} \quad (10)$$

$$\text{กรณี } D_r = TAW \quad K_s = 0 \quad (11)$$

ในการศึกษานี้ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ข้าวหอมมะลิ 105 ของกรมชลประทาน (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน, 2551) และได้ทำการเปรียบเทียบกับค่า (K_c) ของ FAO โดย Allen (1998) ส่วนค่าการคายระเหยอ้างอิงคำนวณจากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา จังหวัดสุรินทร์ เนื่องจากข้อมูลในพื้นที่การศึกษานี้ยังไม่สมบูรณ์ จึงใช้โปรแกรม ETo Calculator v.3.1 (FAO, 2009) ในการคำนวณค่าการคายระเหยอ้างอิง

3. การคำนวณสมดุลน้ำในแปลงนา

สำหรับการหาค่าการใช้น้ำสำหรับนาข้าวหาได้จากหลักการสมดุลของน้ำในแปลงนาซึ่งมีตัวแปรต่างๆสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (วรารุณ, 2545)

$$W_i + R_e = E_T + P + S \quad (12)$$

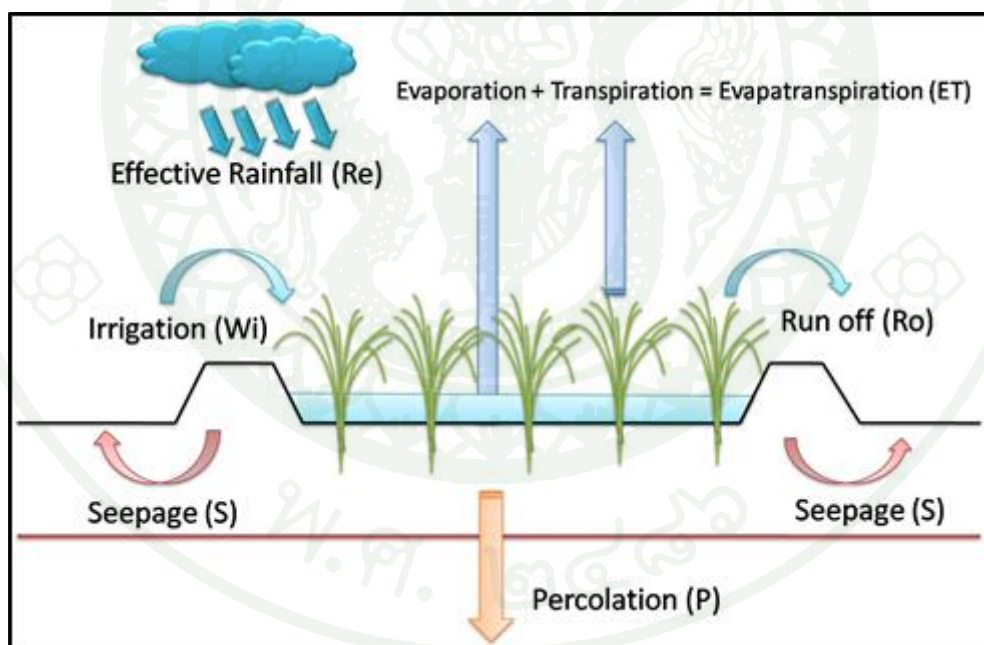
โดย	W_i	=	ปริมาณน้ำชลประทาน (irrigation water)
	R_e	=	ปริมาณฝนใช้ได้ (effective rainfall)
	E_T	=	ปริมาณการใช้น้ำของพืช (evapotranspiration)

P = ปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงเขตรากพืช (percolation)
 S = ปริมาณรั่วซึมทางด้านข้าง (seepage)

ในกรณีที่แปลงนาที่อยู่ข้างๆมีน้ำข้างเหมือนกันปริมาณรั่วซึมทางด้านข้างจะมีค่าไม่มากและโดยทั่วไปจะรวมค่า P และ S เข้าด้วยกันเรียกว่าปริมาณรั่วซึมในแปลงนา (PS) ดังนั้นสมการที่ (12) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$W_i = ET + PS - R_e - R_o \quad (13)$$

กรณีที่มีการใช้น้ำชลประทานเพื่อการอื่นเช่นการเตรียมดินหรือการตกกล้าจะต้องนำปริมาณน้ำส่วนนั้นมารวมอยู่ในค่า W_i ด้วย



ภาพที่ 1 สมดุลของน้ำในแปลงนา

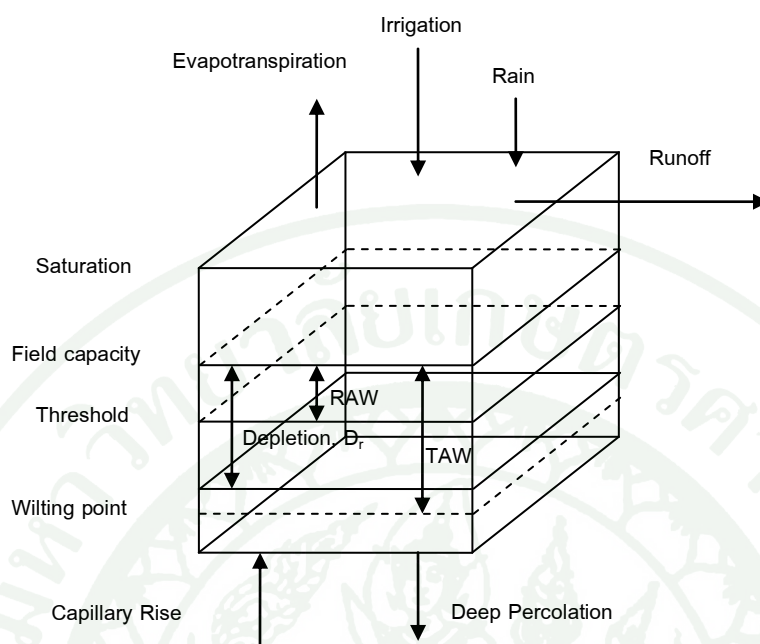
ที่มา : ดัดแปลงจากชูพันธุ์ (2547)

4. วิธีการคำนวณสมดุลน้ำในเขตรากพืช

แนวคิดของสมดุลน้ำในเขตรากพืช โดยที่สมมติให้ดินในเขตรากพืชได้รับน้ำจากฝน (Rain) หรือชลประทาน (Irrigation) ในปริมาณมากเกินไปความสามารถการซึมลงดิน จะมีส่วนเกินที่เป็นน้ำท่าผิวดิน (runoff) ไหลบนผิวดิน น้ำในส่วนที่ซึมลงดินจะทำให้ น้ำในเขตรากพืชอยู่ในระดับความชื้นอิ่มตัว (Saturation) ชั่วขณะและส่วนหนึ่งของน้ำจะซึมลึกลง (Deep percolation) ทำให้เหลือน้ำในดินเท่ากับระดับความจุความชื้นสนาม (Field Capacity) ซึ่งสามารถแปลงอยู่ในรูปของระดับน้ำ เรียกว่า น้ำที่อยู่ในดินทั้งหมดในเขตรากพืชที่ใช้การได้ (Total available soil water in the root zone, TAW) ในบางครั้งหากระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงอาจมีผลกระทบของ Capillary rise ต่อระดับน้ำในเขตรากพืช น้ำในเขตรากพืชสามารถลดลงเนื่องจากการคายระเหยหากน้ำพร่องลงต่ำกว่าระดับน้ำที่มีอยู่ที่ใช้การได้ (RAW) จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ความเครียดน้ำ ดังกล่าวในหัวข้อที่ผ่านมาในสมการ (9) , (10) และ (11) การคำนวณค่าการพร่องของน้ำในเขตรากพืช ณ วันที่ i ($D_{r,i}$) ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) สามารถคำนวณได้จากสมดุลน้ำในเขตรากพืช ดังสมการนี้

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P_i - RO_i) - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i \quad (14)$$

โดยที่ P_i คือ น้ำฝนในวันที่ i RO_i คือ น้ำท่าผิวดินในวันที่ i I_i คือ ความลึกน้ำชลประทานที่ซึมลงดินในวันที่ i CR_i คือ capillary rise จากน้ำใต้ดินในวันที่ i $ET_{c,i}$ คือ การคายระเหยของพืชในวันที่ i และ DP_i คือ น้ำที่สูญเสียออกจากเขตรากพืชโดยการซึมลึกในวันที่ i ในการศึกษาเรื่องนี้ยังไม่ได้พิจารณาการสูญเสียน้ำชลประทานจากการส่งน้ำ หากพิจารณาในส่วนนี้ บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2 สมดุลน้ำในเขตรากพืช

ที่มา: Allen et al. (1998)

ข้าว

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย ทั้งนี้เพราะการเกษตรส่วนใหญ่ของประเทศปลูกข้าวเป็นพืชหลัก ปัจจุบันข้าวยังเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ แต่ข้าวที่ผลิตได้ต่อไร่ส่วนมากยังมีผลผลิตต่อไร่ค่อนข้างต่ำ การผลิตข้าวในปัจจุบันเกษตรกรมีความจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมีมากขึ้น ทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย การใส่ปุ๋ยเคมีให้กับข้าวนั้นมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวเป็นอย่างยิ่ง หากใส่ในปริมาณที่ไม่เหมาะสมแล้วจะก่อให้เกิดความเสียหาย อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นเวลานานๆ จะทำลายความอุดมสมบูรณ์ของแร่ธาตุในดิน ทำให้จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินเช่น เชื้อราแบคทีเรียแอคติโนมัยซีทและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในดินมีจำนวนลดลงมีผลทำให้ดินเสื่อมคุณภาพดินมีสภาพเป็น กรดดินจับตัวกันเป็นก้อนแข็ง

เกษตรอินทรีย์ จึงเป็นระบบอีกทางเลือกหนึ่งโดยเฉพาะการผลิตข้าวอินทรีย์เป็นระบบการผลิตที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อม รักษาสมดุลของธรรมชาติและหลากหลายทางชีวภาพ โดยหลีกเลี่ยงการใช้สารสังเคราะห์ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และฮอร์โมนต่างๆ ตลอดจนไม่ใช้พืชและสัตว์ที่เกิดจากการตัดต่อพันธุกรรม ที่อาจก่อให้เกิดมลพิษในสภาพแวดล้อม เน้นการใช้อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยชีวภาพ ในการปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์

การศึกษาพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์ในประเทศไทยพบว่า พื้นที่ที่มีมาตรฐานรับรองมีอยู่ประมาณ 86,000 ไร่ และเป็นพื้นที่ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานในระดับสากลประมาณ 52,000 ไร่ มีผลผลิตปีละประมาณ 37,000 ตันข้าวเปลือก หากเทียบกับปีที่เริ่มปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์เมื่อปี 2535 มีผลผลิตเพียง 2,000 ตันเท่านั้น แต่ถึงอย่างไร พื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์ ก็มีเพียง 0.09% ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดของไทย และผลผลิตที่ได้ก็มีประมาณ 0.06% ของผลผลิตข้าวทั้งหมดของประเทศ

พื้นที่หลักที่ปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์ในประเทศไทย 80% จะอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ สุรินทร์ ยโสธร อุบลราชธานี อุรธานี มหาสารคาม ศรีสะเกษ ขอนแก่น ร้อยเอ็ด และอีก 20% ที่เหลือจะอยู่ในภาคเหนือ ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย พะเยา เพชรบูรณ์ และอุทัยธานี

ผลผลิตข้าวหอมมะลินทรีย์ของไไทยนั้น จากภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะได้ประมาณ 300-400 กิโลกรัม/ไร่ ในขณะที่ภาคเหนือจะได้ 600 กิโลกรัม/ไร่ หากสามารถเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้สูงมากขึ้น รวมทั้งลดต้นทุนการเพาะปลูก เกษตรกรก็จะมียาได้มากขึ้น เพราะการปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์มีข้อจำกัด คือ สามารถปลูกได้เพียงปีละครั้ง

1. ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับข้าวหอมมะลิ

ชื่อพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 (KhaoDawk Mali 105)

ได้มาโดยนายสุนทรสีหะเนนเจ้าพนักงานข้าวรวบรวมจากอำเภอบางคล้าจังหวัดฉะเชิงเทราเมื่อ พ.ศ.2493-2494 จำนวน 199 รวงแล้วนำไปคัดเลือกแบบคัดพันธุ์บริสุทธิ์ (Pure Line Selection) และปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง แล้วปลูกเปรียบเทียบพันธุ์

ท้องถิ่นในภาคเหนือภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจนได้สายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 4-2-105 ซึ่งเลข 4 หมายถึงสถานที่เก็บรวงข้าวคืออำเภอบางคล้าเลข 2 หมายถึงพันธุ์ทดสอบที่ 2 คือข้าวดอกมะลิและเลข 105 หมายถึงแถวหรือรวงที่ 105 จากจำนวน 199 รวงคณะกรรมการการพิจารณาพันธุ์ให้ใช้ขยายพันธุ์เป็นพันธุ์รับรองเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ.2502

เป็นพันธุ์ข้าวเจ้า มีวันเก็บเกี่ยวประมาณ 25 พฤศจิกายนของทุกปี ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 363 กิโลกรัม/ไร่ มีความสูงประมาณ 90 - 100 เซนติเมตร ขนาดเมล็ดข้าวกล้องกว้างx ยาวx หนา = $2.1 \times 7.5 \times 1.8$ มิลลิเมตรมีปริมาณ อมิโลส 12-17 % ทนแล้งได้ดีพอสมควรและทนต่อสภาพดินเปรี้ยวและดินเค็ม พื้นที่แนะนำในการปลูกคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือตอนบน

ชื่อพันธุ์ กข.15

เป็นพันธุ์ข้าวเจ้า มีวันเก็บเกี่ยวประมาณ 10 พ.ย.ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 560 กิโลกรัม/ไร่ ปริมาณ อมิโลสต่ำ ทนแล้งได้ดีพอสมควร เหมาะกับสภาพนาดอนหรือพื้นที่ฝนหมดเร็ว

สภาพพื้นที่

สภาพพื้นที่ราบลุ่มสามารถควบคุมน้ำได้ดี,พื้นที่นาดอนติดกับภูเขา ลาดเทลงไปถึงนาลุ่มติดกับแม่น้ำ ห่างไกลจากแหล่งมลพิษ

ลักษณะดิน

ดินเหนียวถึงดินร่วน มีความอุดมสูงถึงปานกลางและอุ้มน้ำได้ดี ระดับหน้าดินลึกไม่ต่ำกว่า 15เซนติเมตร มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ระหว่าง 5.0-6.0

สภาพภูมิอากาศ

มีอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว ประมาณ 22-23 องศาเซลเซียส มีแสงแดดจัด

แหล่งน้ำ

มีฝนสม่ำเสมอ ปีละไม่น้อยกว่า 1,000 มม. มีแหล่งน้ำและระบบน้ำเสริม เช่น เขื่อนฝาย อ่างเก็บน้ำ บ่อสำรองน้ำ หรือบ่อน้ำบาดาล เป็นน้ำสะอาด ปราศจากสารอินทรีย์ที่มีพิษปนเปื้อน หากน้ำมีความเสี่ยงจากการปนเปื้อน จะต้องทำการบำบัดทางธรรมชาติ ก่อนนำมาใช้น้ำ

ฤดูปลูก

ปลูกในฝนหรือฤดูนาปี คือช่วงเดือน พ.ค.-พ.ย. ของทุกปี ควรวางแผนการปลูกให้เหมาะสมกับสภาพการตกของฝน แต่ไม่เกินเดือน ส.ค.

การเตรียมเมล็ดพันธุ์

ใช้เมล็ดพันธุ์ที่ผลิตแบบอินทรีย์จากแหล่งที่เชื่อถือได้ เช่น ศูนย์วิจัยข้าว ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าว กรมการข้าว หากใช้เมล็ดพันธุ์ของเกษตรกร ต้องเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ปลูกแบบอินทรีย์ มีลักษณะตรงตามพันธุ์สะอาด และมีความงอกไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

การปลูกโดยวิธีปักดำ ใช้เมล็ดพันธุ์ 7-10 กิโลกรัม ตกกกล้าเพื่อปักดำในพื้นที่ 1 ไร่ ปลูกวิธีหว่านข้าวแห้ง ใช้เมล็ดพันธุ์ 15 - 20 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกโดยใช้เครื่องหยอดใช้เมล็ดพันธุ์ 7-10 กิโลกรัมต่อไร่

5. การเตรียมดินและวิธีการปลูก

การปลูกโดยวิธีปักดำ

การตกกกล้า

เตรียมแปลงตกกกล้า โดยไถตะกั่วไว้ 7-10 วัน ไถแปรเอาหน้าเข้าแซะไถ คราดปรับระดับผิวดิน แบ่งแปลงย่อยกว้างประมาณ 1-2 เมตร ยาวตามความยาวของแปลง ทำร่องน้ำระหว่างแปลงกว้างประมาณ 30 เซนติเมตร แล้วระบายน้ำออก หว่านเมล็ดข้าวที่เตรียมไว้บนแปลงให้สม่ำเสมอ

ใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 50-70 กรัมต่อตารางเมตร จะให้ความหนาแน่นของต้นกล้าที่พอดี ในระยะแรกอย่าให้น้ำท่วมแปลงกล้า แต่ให้มีความชื้นเพียงพอสำหรับการงอก เพิ่มระดับน้ำตามการเจริญเติบโตของต้นข้าว อย่าให้ท่วมต้นข้าวและไม่ควรเกิน 5 เซนติเมตรจากระดับหลังแปลง

การปักดำ

เตรียมแปลงปักดำโดยไถตะกั่วไว้ 7-10 วัน ไถแปรเอาหน้าเข้าแช่ซีไถ คราดปรับระดับผิวดิน แล้วทำเทือก รักษาระดับน้ำในแปลงปักดำประมาณ 5 เซนติเมตรจากผิวดิน ปักดำโดยใช้ต้นกล้าอายุประมาณ 25 วัน ระยะปักดำประมาณ 25x25 เซนติเมตร จำนวน 3-5 ต้นต่อกอ รักษาระดับน้ำในนาให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นข้าว ประมาณ 5-10 เซนติเมตร อย่าปล่อยให้ต้นข้าวขาดน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงก้านิโคตดอกถึงออกรวง หลังข้าวออกรวงแล้วประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์แล้วประมาณ 20 วันระบายน้ำออก

การปลูกแบบหยอดหรือหว่านข้าวแห้ง

เตรียมดินแห้งโดยไถตะกั่วดินถุดประมาณเดือน เมษายน-พฤษภาคมไถแปรแล้วคราดหรือใช้จอบหมุนพรวนดิน ใช้เครื่องหยอดแบบล้อจิกแถวคู่ หรือเครื่องพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ อัตราเมล็ดพันธุ์ 7 - 10 กิโลกรัมต่อไร่หรือหว่านข้าวแห้งอัตรา 15 - 20 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านเมล็ดถั่วเขียวร่วมด้วยอัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วคราดกลบ เมื่อฝนตกดินมีความชื้น ข้าวและถั่วเขียวจะงอกขึ้นมา ถั่วเขียวจะช่วยคุมวัชพืชในระยะแรกและเน่าตายเป็นปุ๋ยพืชสดเมื่อมีน้ำขังในนา

การปลูกแบบนาหว่านน้ำตม

การนาคาหว่านน้ำตมจะต้องปรับพื้นที่นาให้สม่ำเสมอ มีคันนาล้อมรอบและสามารถควบคุมน้ำได้ การเตรียมดินก็ปฏิบัติเช่นเดียวกับการเตรียมดินในนาดำ หลังการเก็บเกี่ยวข้าวแล้วควรปล่อยให้เมล็ดข้าวที่ร่วงหล่นในนามีเวลางอกเป็นต้นข้าว เพื่อลดปัญหาข้าวเรื้อ หรือข้าววัชพืชนา แล้วจึงไถตะกั่ว แล้วปล่อยน้ำเข้าพอให้ดินชุ่มอยู่เสมอ ประมาณ 5-10 วัน เพื่อให้เมล็ดวัชพืชงอกขึ้นมาเป็นต้นอ่อนเสียก่อนจึงปล่อยน้ำเข้านา แล้วทำการไถแปรและคราด หรือใช้ลูกทูป จะช่วยทำลายวัชพืชได้ หากทำเช่นนี้ 1-2 ครั้ง หรือมากกว่านั้น โดยทิ้งระยะห่างกันประมาณ 4-5 วัน หลังจากไถตะกั่วไถแปร และคราดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขังน้ำไว้ประมาณ 3 สัปดาห์ เพื่อให้ลูกหญ้าที่

เป็นวัชพืชน้ำ เช่น ผักตบชวา ขาเขียด หัวทรงกระเทียม ผักปอดและกกเล็ก เป็นต้น จอกเสียก่อน จึงรดให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ลูกเห็บจะหลุดลอยไปติดคันนาได้ทางลม ก็จะสามารถช้อนออกได้หมด เป็นการทำลายวัชพืชวิธีหนึ่ง

เมื่อคราดแล้วจึงระบายน้ำออกและปรับเทือกให้สม่ำเสมอ สำหรับผู้ที่ปลูกทุบหรืออีขลุ่ย ฟางข้าวให้จมลงไปดินแทนการไถ หลังจากขำแล้วควรเอาน้ำแช่ไว้ ให้ฟางเน่าเปื่อยจนหมด ความร้อนเสียก่อน อย่างน้อย 3 อาทิตย์ แล้วจึงขำใหม่ เพราะแก๊สที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของฟางจะเป็นอันตรายต่อต้นข้าว จะทำให้รากข้าวดำไม่สามารถหาอาหารได้ หลังจากนั้นจึงระบายน้ำออกเพื่อปรับเทือก การปรับพื้นที่นาหรือการปรับเทือกให้สม่ำเสมอ จะทำให้ควบคุมน้ำได้สะดวก การงอกของข้าวดีเติบโตสม่ำเสมอ เพราะเมล็ดข้าวมักจะตายถ้าตกลงไปในแอ่งหรือหลุมที่มีน้ำขัง เว้นแต่กรณีดินเป็นกรดจัดละอองดินตกตะกอนเร็วเท่านั้นที่ต้นข้าวสามารถขึ้นได้ แต่ถ้าแปลงใหญ่เกินไปจะทำให้ น้ำเกิดคลื่น ทำให้อายุหลุดลอยง่าย และข้าวรวมกันเป็นกระจุก ไม่สม่ำเสมอ

นอกจากนั้นการปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอ ยังช่วยควบคุมการงอกของเมล็ดวัชพืช ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของการทำนาหว่านน้ำตามอีกด้วย การปรับพื้นที่ทำเทือก ควรทำก่อนหว่านข้าวหนึ่งวัน เพื่อให้ตะกอนตกดีเสียก่อน แล้วแบ่งกระต๋องนาออกเป็นแปลงย่อยๆ ขนาดกว้าง 3-5 เมตร ยาวตามความยาวของกระต๋องนา ทั้งนี้แล้วแต่ความสามารถของคนหว่าน ถ้าคนหว่านมีความชำนาญอาจแบ่งให้กว้าง การแบ่งอาจใช้วิธีแหวกร่อง หรือใช้ไถกระเทียมผูกเชือกลากให้เป็นร่องก็ได้ เพื่อให้ น้ำตกลงจากแปลงให้หมด และร่องนี้ยังใช้เป็นทางเดินระหว่างหว่านข้าว หว่านปุ๋ย และพ่นสารเคมีได้ตลอดแปลง โดยไม่ต้องเข้าไปในแปลงย่อยได้อีกด้วย

6. การใส่ปุ๋ยนาหว่านน้ำตาม

ดินร่วนทรายหรือดินทราย

การใส่ปุ๋ยเคมี ครั้งที่ 1

ข้าวไวต่อช่วงแสงใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่ในประมาณ 20-30 วัน หลังหว่านข้าว หากไม่มีปุ๋ย 16-16-8 ให้ใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตสูตรต่างๆ เช่น 16-20-0, 18-22-

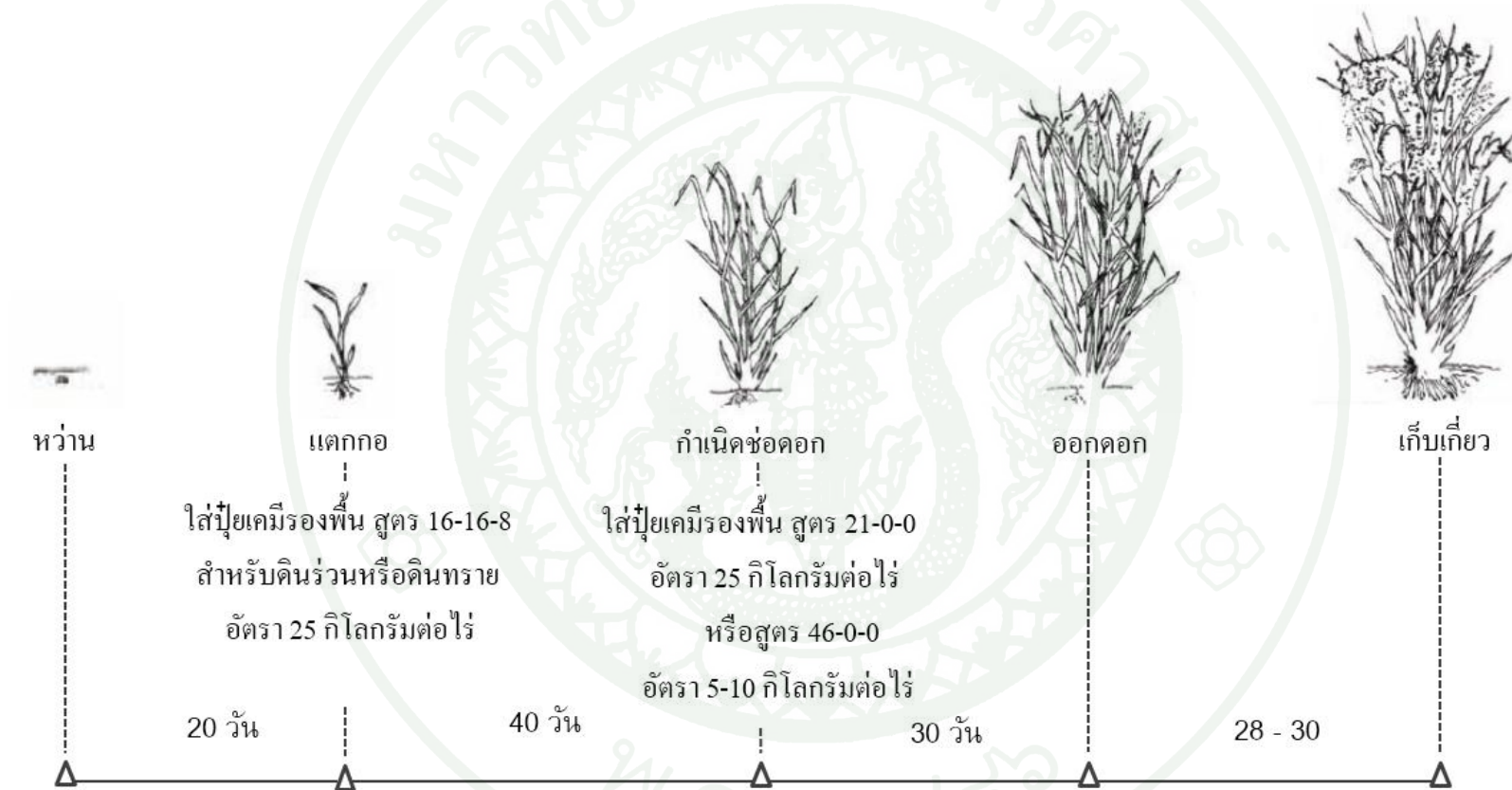
0, 20-20-0 และ 18-46-0 แทนได้โดยใส่อัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) อัตรา 5-10 กิโลกรัมต่อไร่

การใส่ปุ๋ยเคมี ครั้งที่ 2

ข้าวไวต่อช่วงแสงใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ หรือปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะก้านิโคชดอก หรือ 30 วันก่อนข้าวออกดอก

ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยหมัก

ควรไถกลบตอซังข้าวภายหลังการเก็บเกี่ยวก่อนการไถเคาะใส่วัสดุอินทรีย์เพื่อบำรุงดิน เช่นมูลสัตว์ ปุ๋ยหมัก เป็นต้น อัตราที่แนะนำคือ 600 กิโลกรัม น้ำหนักแห้งต่อไร่ หรือใช้เศษใบไม้ในอัตราประมาณ 250 กิโลกรัม น้ำหนักแห้งต่อไร่ โดยใส่ในแปลงนา เมื่อไถเคาะก็จะเป็นการไถกลบวัสดุอินทรีย์ไปด้วย ปุ๋ยอินทรีย์ ในกรณีที่ปุ๋ยพืชสดเจริญเติบโตได้ไม่ดี ให้มวลชีวภาพไม่เพียงพอ ถ้าใส่เดี่ยวๆใช้อัตราสูง 700-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ถ้าใช้ร่วมกับปุ๋ยพืชสดสามารถลดอัตราได้ครึ่งหนึ่ง สำหรับปุ๋ยเคมี ลำดับขั้นตอนการใส่ปุ๋ยที่แนะนำดังแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การปลูกข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 นาหว่านน้าตม

ที่มา: สำนักงาน กปร. (2555)

จากข้อมูล “การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ของเกษตรกรผู้จัดทำแปลงขยายพันธุ์ข้าว ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าว ในปีการผลิต 2552/53 -2554/55 ” ของศูนย์พันธุ์ข้าวสุรินทร์ พบว่าโครงสร้างต้นทุนของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จังหวัดสุรินทร์ จะมีดังนี้

ตารางที่ 3 โครงสร้างต้นทุนของข้าวพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 จังหวัดสุรินทร์ (บาท/ไร่)

(บาท/ไร่)	2552	2553	2554	เฉลี่ย
ค่าแรง:เตรียมดิน เมล็ดพันธุ์	89	333	87	170
ค่าแรง:เพาะปลูก และดูแลรักษา	454	555	398	469
ค่าแรง:กิจกรรมเก็บเกี่ยว	713	390	360	488
ค่าวัสดุ:เตรียมดิน เมล็ดพันธุ์	589	510	879	659
ค่าวัสดุ:เพาะปลูก และดูแลรักษา	729	940	947	872
ค่าวัสดุ:กิจกรรมเก็บเกี่ยว	204	447	568	406
ค่าเช่าที่ดิน	530	530	530	530
รวม	3,308	3,705	3,769	3,594

ที่มา : ชาญวัช (2555)

จากตารางที่ 3 ต้นทุนการผลิตข้าวเปลือกหอมมะลินิธิ์ ในหน่วยของ ต้น/บาท ใน ปีผลผลิต พ.ศ.2552/53 – 2554/55 จะพบโครงสร้างราคาดังตารางที่ 4 เพื่อคิดมูลค่าออกมาในรูปบาทต่อตันในกระบวนการต่อไป ทั้งการสีข้าวและบรรจุผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4 โครงสร้างต้นทุนของข้าวพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 จังหวัดสุรินทร์ (บาท/ตัน)

โครงสร้างต้นทุน	(บาท/ตัน)	(บาท/ตัน)	(บาท/ตัน)	เฉลี่ย
ค่าแรง:เตรียมดิน เมล็ดพันธุ์	247	921	238	469
ค่าแรง:เพาะปลูก และดูแลรักษา	1,261	1,535	1,089	1,295
ค่าแรง:กิจกรรมเก็บเกี่ยว	1,981	1,078	985	1,348
ค่าวัสดุ:เตรียมดิน เมล็ดพันธุ์	1,636	1,410	2,405	1,817
ค่าวัสดุ:เพาะปลูก และดูแลรักษา	2,025	2,599	2,591	2,405
ค่าวัสดุ:กิจกรรมเก็บเกี่ยว	567	1,236	1,554	1,119
ค่าเช่าที่ดิน	1,472	1,465	1,450	1,463
รวม	9,190	10,244	10,313	9,916

ที่มา : ชาญรัช (2555)

จากข้อมูลในตาราง สามารถหาต้นทุนการผลิตตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นตั้งแต่การลงทุนเพาะปลูก การสีข้าวจนถึงต้นทุนการแปรรูปและบรรจุผลิตภัณฑ์พร้อมจำหน่าย เพื่อที่จะได้ทราบข้อมูลโครงสร้างราคาข้าวที่แท้จริงโดยอัตราการสีข้าวเปลือก 1,000 กก. เป็นข้าวสาร ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราการสีข้าวเปลือก 1,000 กก. เป็นข้าวสาร 5 % เฉลี่ยจากสำนักงานสถิติ สมาคม
โรงสีข้าวและกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ (กิโลกรัม)

%	ผลิตภัณฑ์	น้ำหนัก (กก.)	ราคาขาย (บาท/กก.)	รวม (บาท)
42%	ข้าวขาว 5 %	423.17	31.75	13,435.65
24%	ปลายข้าว	239.89	13.75	3,298.49
7%	รำละเอียด	72.84	3.70	269.51
3%	รำหยาบ	29.04	3.00	87.12
24%	แกลบ	235.06	1.00	235.06
รวม		1,000.00		17,325.82

ตารางที่ 6 ต้นทุนการแปรรูปพร้อมเป็นบรรจุภัณฑ์ (บาท/ตันข้าวเปลือก)

ค่าใช้จ่ายโรงสีจนได้ผลิตภัณฑ์ข้าว	หน่วย	จำนวน	บาท/หน่วย	บาท
ค่าบริการสถานที่รับซื้อและจัดเก็บ	กก.	1,000	0	150
ค่าขนถ่ายน้ำหนักรถบรรทุกข้าวเปลือก	คันรถ	1	20	20
ค่าบรรจุ ปรับน้ำหนัก กองเรียงข้าวเปลือก	กระสอบ	14	6	86
ค่าจ้างรถขนข้าวมาจัดเก็บ	กก.	250	0	100
ค่าจ้างขนข้าวขึ้นลงจากรถรับซื้อนอก สถานที่	กก.	250	0	18
ค่าจ้างขนข้าวลงหลุมสี	กระสอบ	14	3	43
ค่าจ้างสีข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร	กก.	1,000	1	1,000
ค่าถุงพลาสติกบรรจุข้าวสารขนาด 5 กก.	ใบ	80	2	160
ค่ากระสอบฟางบรรจุถุงพลาสติกที่ใส่ ข้าวสาร	ใบ	10	7	68
ค่าขนส่งข้าวสาร	กก.	400	2	600
ค่าขึ้นกระสอบบรรจุข้าวสาร	กระสอบ	10	3	30
ค่าลงกระสอบบรรจุข้าวสาร	กระสอบ	10	2	20
รวม				2,294

ที่มา : เกษตรพอเพียง (2010)

ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

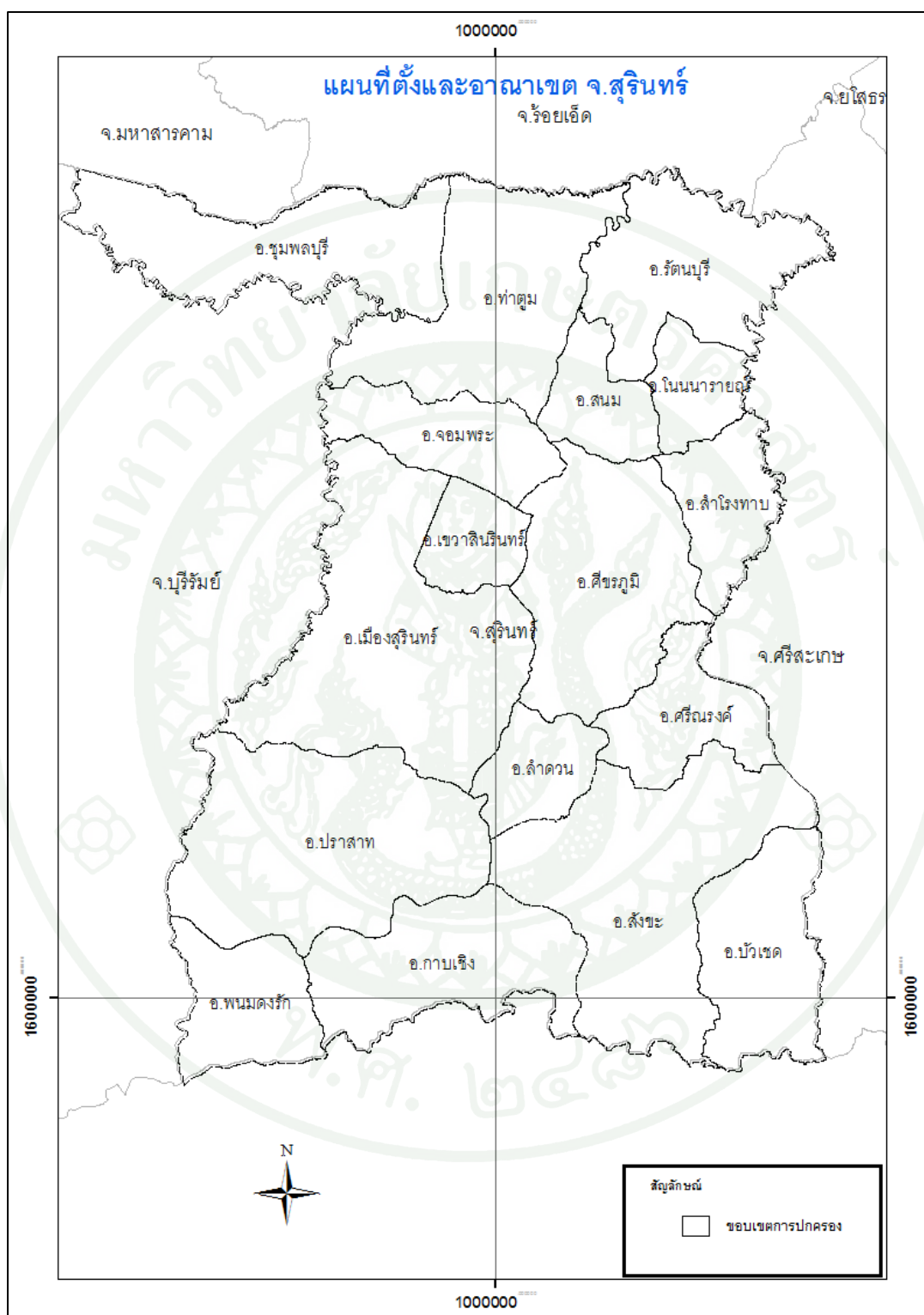
สภาพภูมิประเทศของจังหวัดสุรินทร์

ข้อมูลทั่วไป

ที่ตั้งและอาณาเขต

จังหวัดสุรินทร์ เป็นจังหวัดหนึ่งที่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $14^{\circ}30'$ ถึง $15^{\circ}30'$ เหนือและเส้นแวงที่ $103^{\circ}00'$ ถึง $104^{\circ}15'$ ตะวันออก สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 115-483 เมตร ห่างจากกรุงเทพฯ โดยทางรถยนต์เป็นระยะทางประมาณ 457 กิโลเมตร มีพื้นที่ประมาณ 8,124,056 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 5,077,535 ไร่ แบ่งการปกครองออกเป็น 13 อำเภอเป็นจังหวัดชายแดนที่มีเขตติดต่อกับประเทศกัมพูชาประชาธิปไตย มีเทือกเขาพนมดงรักกั้นเขตแดน มีช่องทางขึ้นลงข้ามเทือกเขาหลายแห่งที่สำคัญได้แก่ช่องประสาทตาเหมื่อน ช่องจอมและช่องโดนเกิ้ล มีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	จังหวัดร้อยเอ็ด (อำเภอสุวรรณภูมิ และอำเภอเกษตรวิสัย)
ทิศใต้	ติดต่อกับ	ประเทศกัมพูชาประชาธิปไตย
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	จังหวัดศรีสะเกษ (อำเภออุทุมพรพิสัย และอำเภอราศีไศล)
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดบุรีรัมย์ (อำเภอกระสัง และอำเภอสตึก)



ภาพที่ 4 แสดงที่ตั้งและอาณาเขตของจังหวัดสุรินทร์

ลักษณะภูมิประเทศ

จังหวัดสุรินทร์ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของที่ราบสูงของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ด้านเหนือของจังหวัดในเขตอำเภอลำทะเมนชัยและรัตนบุรีติดต่อกับจังหวัดร้อยเอ็ด และมหาสารคาม เป็นพื้นที่ราบลุ่ม มีแม่น้ำมูลและแม่น้ำชีไหลผ่านลักษณะพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ (nearby flat) ถึงลูกคลื่นลอนลาด (undulating) แล้วลาดต่ำลงสู่แม่น้ำมูลและลำห้วยพลับพลา ที่อยู่ในเขตทุ่งกุลาร้องไห้ พื้นที่บริเวณนี้เป็นป่าผสมกับการทำนาป่าส่วนใหญ่เป็นป่าแดงโปรง (dry dipterocarps forest) ถัดลงไปเป็นบริเวณตอนกลางของจังหวัดมีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาดสลับกับพื้นที่ราบ โดยเป็นที่พื้นที่ราบลุ่มเป็นส่วนใหญ่จึงมีสภาพเป็นพื้นที่ป่าผสมนา ส่วนทางด้านใต้ของจังหวัดเป็นที่สูงของเทือกเขาพนมดงรัก ที่มีเขตติดต่อกับประเทศกัมพูชาประชาธิปไตย ได้แก่บริเวณอำเภอกาบเชิงและอำเภอบัวเชดมีสภาพเป็นป่าดิบและภูเขาสลับซับซ้อน มีป่าไม้เบญจพรรณ (mixed deciduous forest) และแนวภูเขาตลอด (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2550)

สภาพภูมิอากาศและฝนในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

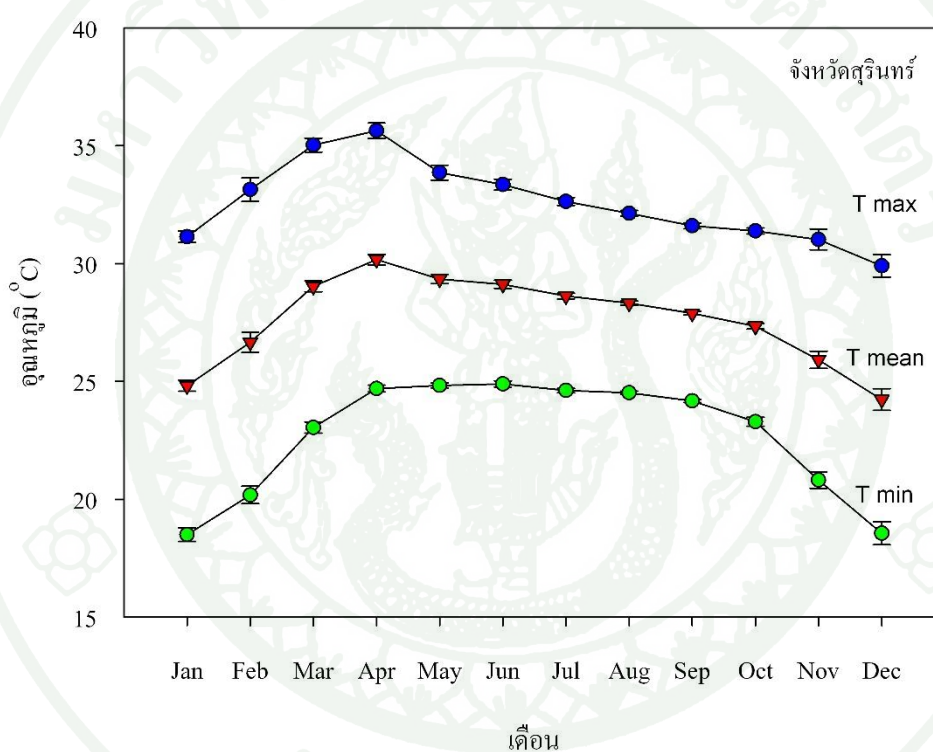
สภาพภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

อุณหภูมิ

ลักษณะภูมิอากาศภูมิอากาศแบบฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู หรือแบบทุ่งหญ้าสะวันนา (Tropical savanna climate: Aw) ตามระบบของ Koppen คือ ในรอบปีหนึ่งๆ จะมีฤดูฝนและฤดูแล้งแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้เกิด 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมและฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทั้งปีของจังหวัดสุรินทร์ (ภาพที่ 5) เห็นได้ว่ามีสภาพอากาศหนาวเย็นช่วงต้นปีอุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนมกราคม 24.8 ± 0.23 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) อุณหภูมิต่ำสุดลดลงถึง 18.5 ± 0.28 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) อุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มขยับสูงขึ้นเรื่อยๆ จากเดือนกุมภาพันธ์

26.6 ± 0.42 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ถึง เดือนเมษายน 30.1 ± 0.22 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ซึ่งเป็นช่วงกลางฤดูร้อน อุณหภูมิในตอนกลางวันร้อนจัดในเดือนมีนาคมและเมษายนโดยอุณหภูมิสูงสุด 35.0 ± 0.29 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) และ 35.6 ± 0.32 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ในเดือนมีนาคมและเมษายนตามลำดับหลังจากนั้นอุณหภูมิลดลงเล็กน้อยเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝน จนถึงเดือนกรกฎาคม จากนั้นลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเข้าสู่ฤดูหนาวอุณหภูมิลดลงถึงต่ำสุดช่วงปลายปี ในเดือนธันวาคมมีอุณหภูมิต่ำสุด 18.5 ± 0.48 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) เฉลี่ย 24.2 ± 0.46 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

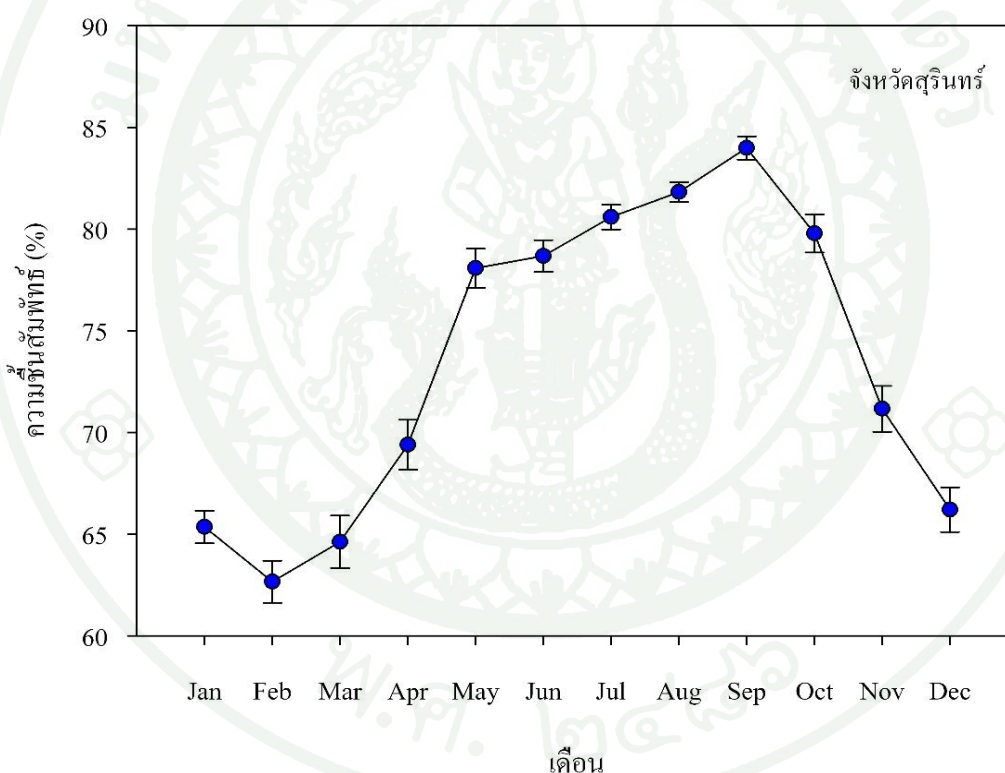


ภาพที่ 5 กราฟแสดงอุณหภูมิในแต่ละเดือนของจังหวัดสุรินทร์ ประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุด (T max) ต่ำสุด (T min) เฉลี่ย (T mean) (ค่าเฉลี่ย 10 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2551)

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา (2551)

ความชื้นสัมพัทธ์

จากกราฟความชื้นสัมพัทธ์ของจังหวัดสุรินทร์ (ภาพที่ 6) ในเดือนกุมภาพันธ์ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 62.66 ± 1.03 % ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเดือนพฤษภาคมอยู่ที่ 78.07 ± 0.96 % และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนกันยายนซึ่ง ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในเดือนกันยายนอยู่ที่ 83.98 ± 0.56 % เนื่องจากเข้าสู่ฤดูฝนและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ลดลงช่วงสิ้นสุดฤดูฝนในเดือนตุลาคม ถึงธันวาคมมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 79.78 ± 0.93 % และ 66.20 ± 1.09 % เนื่องจากเป็นช่วงเข้าสู่ฤดูแล้ง

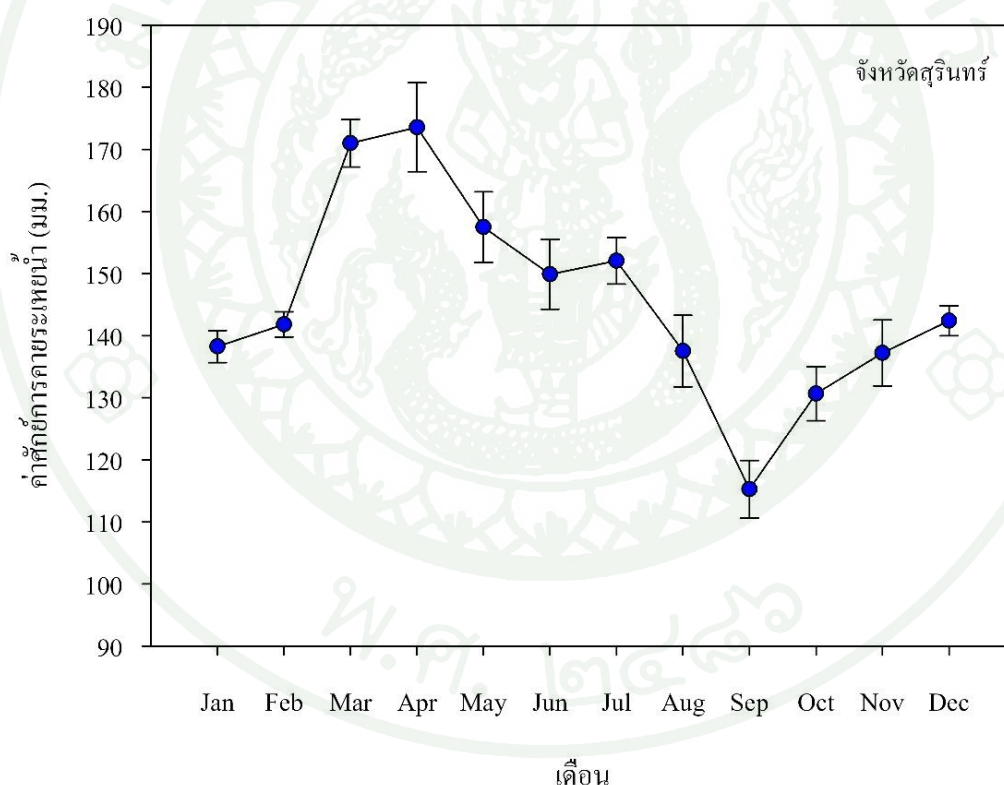


ภาพที่ 6 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ (%) (ค่าเฉลี่ย 10 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2551)

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2551)

ค่าศักย์การคายระเหยน้ำ

ค่าศักย์การคายระเหยน้ำในจังหวัดสุรินทร์จะแปรผันไปตามฤดูกาล ในเดือนมกราคม ค่าศักย์การคายระเหยน้ำ อยู่ที่ 138.24 ± 2.58 มิลลิเมตรค่าศักย์การคายระเหยน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนในเดือนมีนาคม มีค่าศักย์การคายระเหยน้ำอยู่ที่ 170.99 ± 3.84 มิลลิเมตร ถึงสูงสุดในเดือนเมษายน โดยมีค่าศักย์การคายระเหยน้ำอยู่ที่ 173.56 ± 7.15 มิลลิเมตร หลังจากนั้นค่าศักย์การคายระเหยน้ำได้ลดต่ำลงอย่างรวดเร็วในเดือนพฤษภาคมด้วยการเข้าสู่ฤดูฝนค่าศักย์การคายระเหยน้ำต่ำสุดอยู่ในเดือนกันยายน โดยมีค่าศักย์การคายระเหยน้ำอยู่ที่ 115.28 ± 4.62 มิลลิเมตร และค่าศักย์การคายระเหยน้ำเพิ่มมากขึ้นช่วงสิ้นสุดฤดูฝนในเดือนตุลาคม ถึงธันวาคม ดังในภาพที่ 7



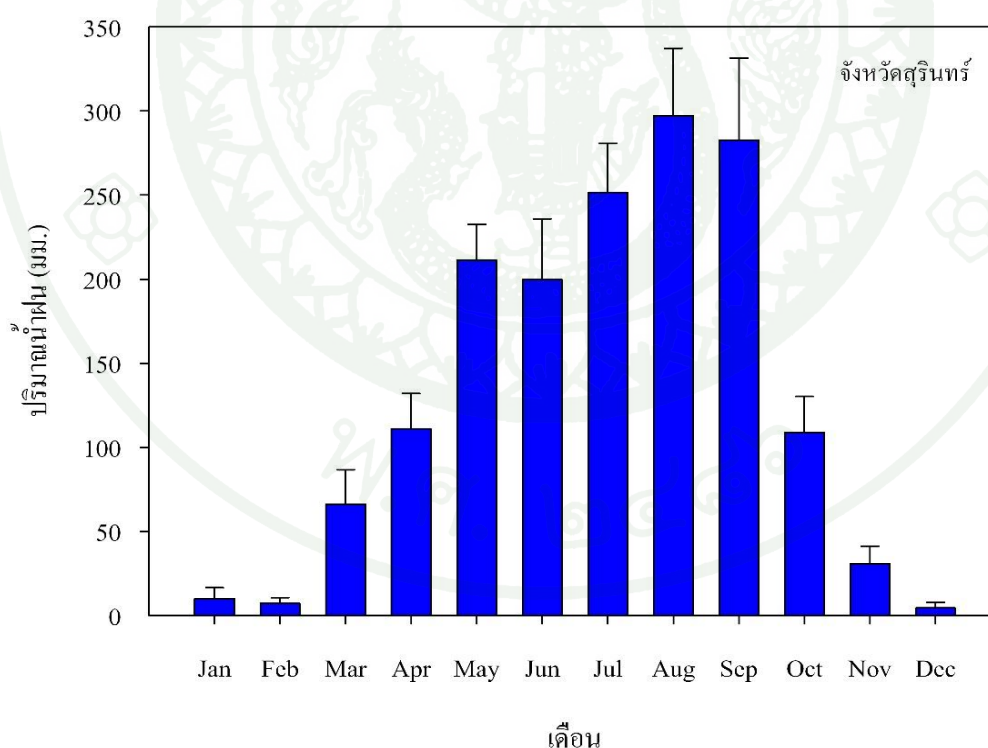
ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่าศักย์การคายระเหยน้ำ (มิลลิเมตร) ในแต่ละเดือนของจังหวัดสุรินทร์ (ค่าเฉลี่ย 10 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2551)

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา (2551)

สภาพน้ำฝนในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

ปริมาณน้ำฝน

สภาพน้ำฝน (pattern) ในแต่ละเดือนของจังหวัดสุรินทร์ แสดงให้เห็นถึงฤดูกาลที่โดยปกติ จะเริ่มราวเดือนเมษายนโดยมีปริมาณน้ำฝน 111.01 ± 20.96 มิลลิเมตร (ค่าเฉลี่ย 10 ปี พ.ศ.2542-2551) ปริมาณน้ำฝนเพิ่มมากขึ้นเป็น 211.11 ± 21.44 มิลลิเมตร ในเดือนพฤษภาคมปริมาณน้ำฝน สูงสุดอยู่ในเดือนสิงหาคม (297.29 ± 40.05 มิลลิเมตร)และเดือนกันยายน (282.77 ± 48.70 มิลลิเมตร) ก่อนที่ปริมาณจะลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนตุลาคมและฤดูฝนสิ้นสุดในเดือน พฤศจิกายนปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยรายเดือน 10 ปีย้อนหลัง พบว่า เดือนสิงหาคมมีปริมาณน้ำฝน เฉลี่ยสะสมมากที่สุด คือ 297.29 ± 40.05 มิลลิเมตรปริมาณน้ำฝนทั้งปี 1580.55 ± 262.51 มิลลิเมตร (ค่าเฉลี่ย 10 ปี พ.ศ.2542-2551) ดังในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนสะสมในแต่ละเดือนของจังหวัดสุรินทร์

(ค่าเฉลี่ย 10 ระหว่างปี พ.ศ. 2542 - 2551)

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2551)

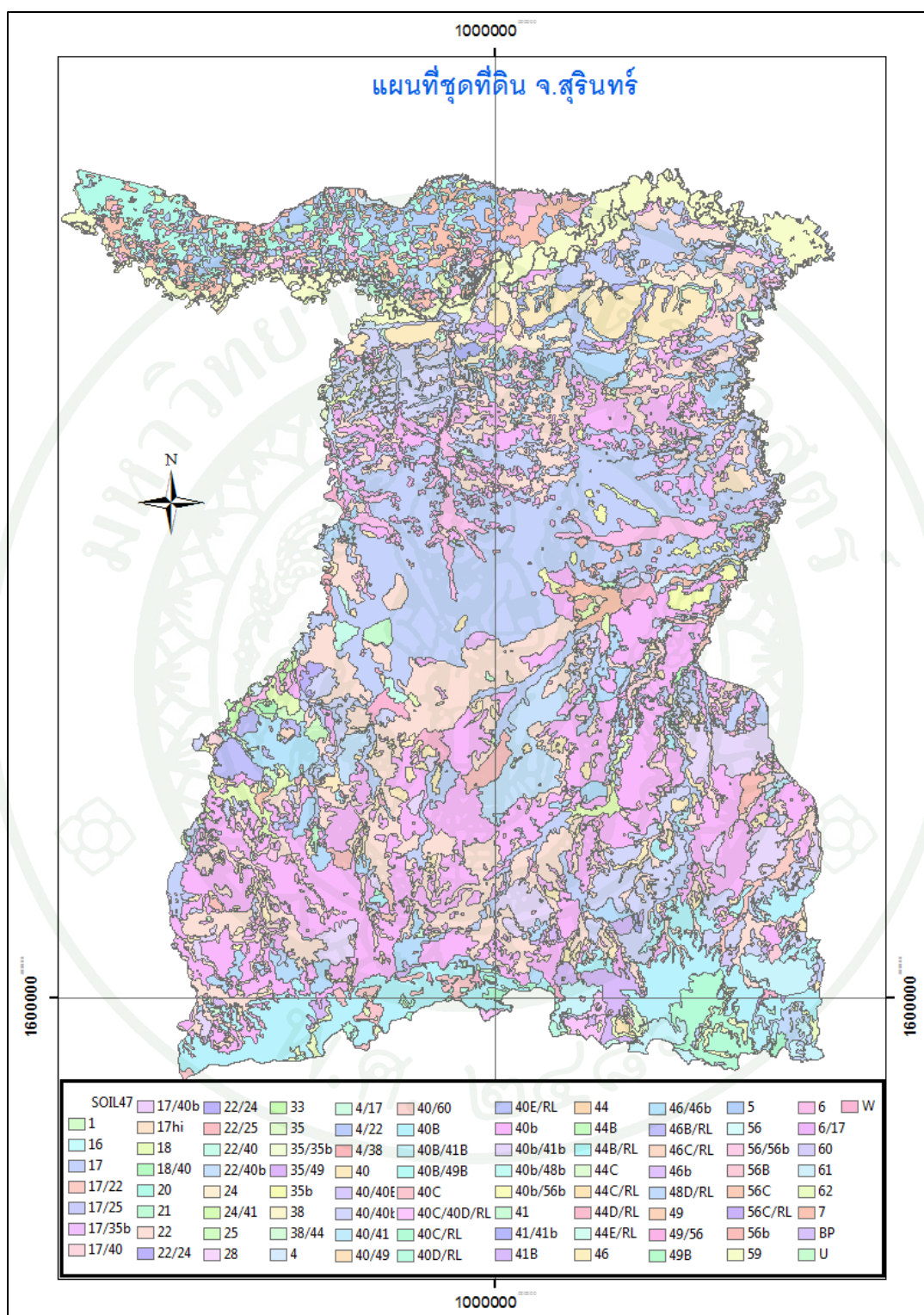
สภาพดินในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

สภาพดินโดยทั่วไป

จังหวัดสุรินทร์มีเนื้อที่ประมาณ 5,077,535 ไร่ พบดินทั้งหมด 56 หน่วยแผนที่ 25 กลุ่มชุดดินลักษณะดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกข้าวมีเนื้อที่ประมาณ 690,612 ไร่ หรือร้อยละ 13.60 ของเนื้อที่ทั้งหมดและที่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับเนื้อดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินแน่นทึบหรือค่อนข้างเป็นทรายขาดแคลนน้ำได้ง่าย และมีคราบเกลือบนผิวดิน มีเนื้อที่ประมาณ 2,166,544 ไร่ หรือร้อยละ 42.66 ของเนื้อที่ทั้งหมดดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืชไร่ไม้ผลและไม้ยืนต้น มีเนื้อที่ประมาณ 93,299 ไร่หรือร้อยละ 1.84 ของเนื้อที่ทั้งหมดและที่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับเนื้อดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ขาดแคลนน้ำได้ง่ายและมีการชะล้างพังทลายดินบนมีเนื้อที่ประมาณ 955,354 ไร่ หรือร้อยละ 18.81 ของเนื้อที่ทั้งหมดดินที่เหมาะสมสำหรับการรักษาไว้เป็นป่าธรรมชาติและเป็นแหล่งต้นน้ำลำธารมีเนื้อที่ประมาณ 473 ไร่ หรือร้อยละ 0.01 ของเนื้อที่ทั้งหมด

แผนที่กลุ่มชุดดิน

แผนที่ของกลุ่มชุดดินที่พบในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ดินที่พบมากที่สุดในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์คือกลุ่มชุดดินที่ 15 มีเนื้อที่ประมาณ 1,131,865 ไร่หรือร้อยละ 22.29 ของเนื้อที่จังหวัดกลุ่มชุดดินที่ 15 มีความเหมาะสมในการทำนามากกว่าการปลูกพืชไร่ ไม้ผลและพืชผัก ซึ่งเกษตรกรก็ได้ใช้ประโยชน์ในการทำนาอยู่แล้วในช่วงฤดูฝน อย่างไรก็ตามกลุ่มชุดดินนี้ยังสามารถปลูกพืชไร่ และพืชผักต่างๆ ได้เป็นอย่างดีในช่วงฤดูแล้ง ถ้าน้ำชลประทานและเกษตรกรได้ปฏิบัติกันอยู่แล้วในบางพื้นที่ เพื่อให้เกษตรกรมีทางเลือกกลุ่มชุดดินที่พบรองลงมาคือกลุ่มชุดดินที่ 40 มีเนื้อที่ประมาณ 560,166 ไร่หรือร้อยละ 11.04 ของเนื้อที่จังหวัดกลุ่มชุดดินที่ 40 มีความเหมาะสมในการปลูกพืชไร่ และไม้ผลค่อนข้างไม่เหมาะสมที่จะนำมาปลูกพืชผัก และไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำนา เนื่องจากเนื้อดินค่อนข้างเป็นทรายและสภาพพื้นที่ไม่อำนวยแต่สามารถใช้ประโยชน์ในการปลูกไม้โตเร็วและปลูกหญ้าเลี้ยงสัตว์ได้ดี



ภาพที่ 9 แผนที่กลุ่มชุดดินจังหวัดสุรินทร์

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2556)

ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกข้าวในการให้ผลผลิตของข้าวที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

พื้นที่ความเหมาะสมในการปลูกข้าวของจังหวัดสุรินทร์

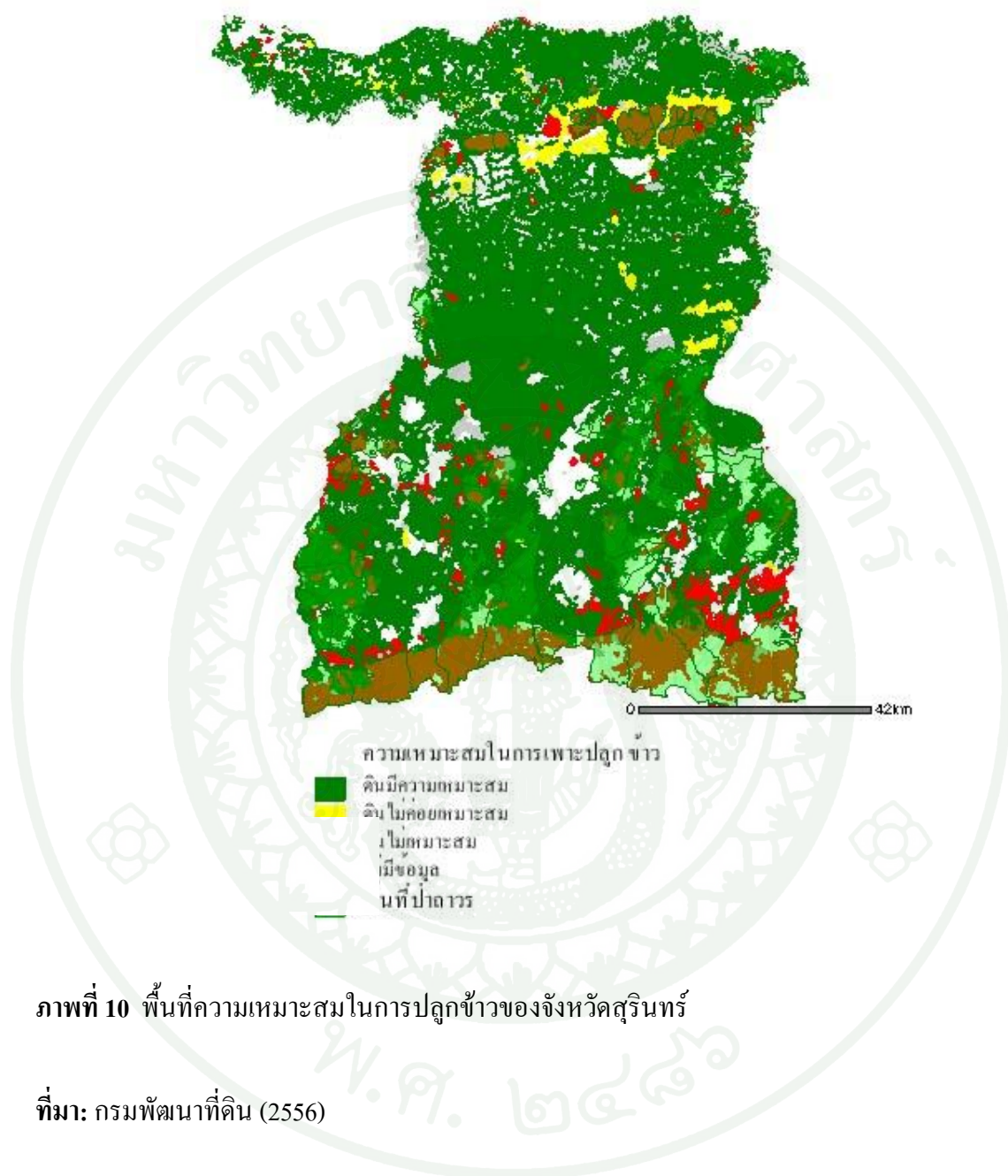
1. ดินที่มีความเหมาะสมดีสำหรับปลูกข้าวได้แก่กลุ่มชุดดินที่ 1, 4, 5, 7, 15, 17, 17/22 มีเนื้อที่ประมาณ 690, 612 ไร่หรือร้อยละ 13.60 ของเนื้อที่ทั้งหมด

2. ดินที่มีความเหมาะสมดีสำหรับปลูกข้าวแต่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ พื้นที่ดอนอาจขาดน้ำ ได้แก่อุ่มชุดดินที่ 15hi, 17hi, 18hi, 19 มีเนื้อที่ประมาณ 1,072,047 ไร่หรือร้อยละ 21.11 ของเนื้อที่ทั้งหมด

เนื้อดินแน่นทึบหรือค่อนข้างเป็นทราย อาจขาดแคลนน้ำได้ เมื่อฝนทิ้งช่วง ได้แก่อุ่มชุดดินที่ 17hiB, 19B, 21B, 24B, 19/18hi, 19/21hiB, 19B/18hiB มีเนื้อที่ประมาณ 1,015,980 ไร่หรือร้อยละ 20.01 ของเนื้อที่ทั้งหมด

ดินต้นความอุดมสมบูรณ์ต่ำ อาจขาดแคลนน้ำเมื่อฝนทิ้งช่วง ได้แก่อุ่มชุดดินที่ 25B มีเนื้อที่ประมาณ 570 ไร่ หรือร้อยละ 0.01 ของเนื้อที่ทั้งหมด

ดินมีคราบเกลือบนผิวดินได้แก่อุ่มชุดดินที่ 20 มีเนื้อที่ประมาณ 77,947 ไร่ หรือร้อยละ 1.53 ของเนื้อที่ทั้งหมด



แหล่งน้ำและระบบชลประทานในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

สภาพแหล่งน้ำโดยทั่วไป

จังหวัดสุรินทร์มีลำน้ำธรรมชาติที่สำคัญ 8 สาย คือ แม่น้ำมูล ลำน้ำชีน้อย ลำห้วยอารีย์ ลำห้วยพลับพลา ลำห้วยระวี ลำห้วยทับทัน ลำห้วยสำราญ และลำห้วยแก้ว เป็นลำน้ำที่ทำประโยชน์แก่จังหวัดนอกจากนั้นยังมีแหล่งน้ำอื่น ๆ ในเขตอำเภอต่าง ๆ รวมถึงแหล่งน้ำที่ไม่เอื้อประโยชน์มากนัก เนื่องจากในฤดูแล้งไม่มีน้ำอีกเป็นจำนวนมาก

สภาพลุ่มน้ำที่สำคัญของจังหวัดสุรินทร์

1. ลำห้วยพลับพลา	มีพื้นที่รับน้ำ	1,113	ตร.กม.
2. ลำน้ำมูล	มีพื้นที่รับน้ำ	720	ตร.กม.
3. ลำห้วยแก้ว	มีพื้นที่รับน้ำ	460	ตร.กม.
4. ลำห้วยอารีย์	มีพื้นที่รับน้ำ	350	ตร.กม.
5. ลำห้วยระวี	มีพื้นที่รับน้ำ	810	ตร.กม.
6. ลำน้ำชีน้อย	มีพื้นที่รับน้ำ	4,591	ตร.กม.
7. ลำห้วยทับทัน	มีพื้นที่รับน้ำ	2,571	ตร.กม.
8. ลำห้วยสำราญ	มีพื้นที่รับน้ำ	485	ตร.กม.

ระบบชลประทานและพื้นที่รับน้ำชลประทาน

อ่างเก็บน้ำของจังหวัดมีหลายแห่ง ที่สำคัญ ได้แก่

1. อ่างเก็บน้ำห้วยเสนง ตั้งอยู่ระหว่างบ้านเจนีงกับบ้านโคกกะเพอ ต.เจนีง อ.เมือง มีความจุที่ระดับเก็บกัก 20.022 ล้านลูกบาศก์เมตร ส่งน้ำเพื่อการเกษตรพื้นที่ชลประทาน 50,000 ไร่ เป็นแหล่งน้ำสำคัญในการผลิตน้ำประปาของจังหวัด ปีละประมาณ 8.67 ล้านลูกบาศก์เมตร และเป็นที่ตั้งของอาคารที่ประทับเรือนรับรองเมื่อคราวพระบรมวงศานุวงศ์เสด็จปฏิบัติพระราชกรณียกิจ ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2. อ่างเก็บน้ำอำปืด ตั้งอยู่ที่บ้านอำปืด หมู่ที่ 9 ต.เทนมียะ อ.เมืองมีความจุที่ระดับเก็บกัก 27.675 ล้านลูกบาศก์เมตรเป็นแหล่งน้ำสำคัญเพื่อรองรับความต้องการน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยเสนง ส่งน้ำเพื่อการเกษตรพื้นที่ชลประทาน 4,600 ไร่ และรองรับการใช้น้ำในการอุตสาหกรรม ปีละ ประมาณ 540,000 ลูกบาศก์เมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช

ในการเพาะปลูกพืชจำเป็นต้องใช้น้ำซึ่งน้ำที่จะนำมาใช้จะต้องมีทั้งปริมาณและคุณภาพที่เหมาะสมกับความต้องการของพืชในระยะต่างๆ ดินและน้ำมีความสำคัญต่อพืชอย่างมากเพราะดินจะเป็นที่สำหรับให้รากพืชจับยึดยืนอยู่ให้มั่นคงและเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารส่วนน้ำก็ทำหน้าที่ให้ความชุ่มชื้นและละลายสารอาหารให้พืชดูดไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ดังนั้นจึงควรทราบถึงคุณสมบัติของดินน้ำและพืชซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการให้น้ำแก่พืช เนื่องจากเราทำการปลูกพืชบนดิน และทำการให้น้ำเพื่อให้พืชได้เจริญเติบโต ดังนั้น จึงจำเป็นที่ควรจะทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบให้น้ำ (ดิเรก และคณะ, 2545) รูปแบบต่างๆ ของน้ำในดินก่อนข้างซับซ้อน จะผันแปรจากสภาพที่เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระไปจนถึงสภาพที่จับยึดแน่นกับผิวอนุภาคดิน อาจแบ่งได้เป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 3 ชนิด (แม้ว่าไม่อาจแยกกันอย่างชัดเจนก็ตาม) ได้แก่ น้ำอิสระ (Gravitational Water) น้ำซึบ (capillary water) และน้ำเยื่อ (hygroscopic water)

คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช

เนื่องจากดินเปรียบเสมือนถังน้ำหรือที่เก็บน้ำโดยธรรมชาติให้แก่พืชนำไปใช้โดยรากของพืชจะดูดเอาความชื้นในดินไปใช้น้ำที่เก็บไว้ให้พืชนำไปใช้นี้จะอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่เป็นของแข็งช่องว่างเหล่านี้ถ้าไม่มีน้ำบรรจุอยู่ก็จะมีอากาศเข้าไปแทนที่

องค์ประกอบของดิน

ดินมีองค์ประกอบ 4 ส่วนคืออนินทรีย์วัตถุอนินทรีย์วัตถุน้ำและอากาศองค์ประกอบของดินแต่ละส่วนมีประโยชน์ต่อพืชดังนี้

1. อนินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของดินเกิดจากการสลายของหินและแร่ต่างๆ ออกเป็นชิ้นเล็กๆ ที่มีขนาดต่างกันดินแต่ละแห่งจะมีขนาดของอนินทรีย์วัตถุและชนิดของแร่ธาตุแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการย่อยสลายที่เกิดขึ้นของดินแต่ละชนิดและแร่ธาตุต้นกำเนิดดิน

2. อนินทรีย์วัตถุในดินประกอบด้วยเศษซากพืชซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยแล้วหรือที่กำลังย่อยสลาย สารและที่หลงเหลือจากการย่อยสลายสารที่ได้จากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ดินสารต่างๆ เหล่านี้ รวมเรียกว่า “ฮิวมัส” ซึ่งเป็นสารแขวนลอยสีดำหรือน้ำมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและแร่ธาตุ อาหารพืชได้สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารอนินทรีย์ อนินทรีย์วัตถุทำให้ดินร่วนโปร่งมีการระบาย น้ำและอากาศดีเป็นที่มาของธาตุอาหารพืชหลายชนิดเช่นธาตุไนโตรเจนฟอสฟอรัสและการย่อย สลายซากพืชซากสัตว์ทำให้ได้ฮิวมัสเพิ่มขึ้นอีก

3. น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญของพืชน้ำนอกจากจะเป็นแหล่งรวมสารอาหารที่รากพืชจะ ดูดขึ้นมาหล่อเลี้ยงต้นพืชแล้วยังช่วยละลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในสภาพที่พืชสามารถนำไปใช้ ได้

4. อากาศส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างเม็ดดินส่วนที่ไม่มีน้ำและเป็นที่อยู่ของอากาศรากพืช ใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในช่องอากาศของดินเพื่อการหายใจดูต้นน้ำและธาตุอาหารไปใช้เลี้ยงลำต้นกิ่ง ก้านใบและผลได้โดยทั่วไปแล้วอากาศในดินมีออกซิเจนน้อยกว่าอากาศบนดินดังนั้นการถ่ายเท อากาศของดินจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชดินที่มีการถ่ายเทอากาศน้อยจะมีปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 10 เปอร์เซ็นต์จะทำให้การทำงานของรากพืชถูกจำกัดนอกจากนี้ ออกซิเจนยังมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดินอีกด้วย

ส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชควรประกอบด้วยอนินทรีย์วัตถุร้อยละ 45 อนินทรีย์วัตถุ ร้อยละ 5 น้ำร้อยละ 25 และอากาศร้อยละ 25

เนื้อดิน

เนื้อดินเป็นคุณสมบัติของดินแสดงถึงความหนาแน่นความละเอียดของดินเนื้อดินหมายถึง สัดส่วนของอนุภาคอนินทรีย์วัตถุของดิน โดยคุณสมบัติของดินจำแนกตามลักษณะของเม็ดดินได้ 3 ชนิดได้แก่เม็ดทราย (Sand) เม็ดซิลต์หรือทรายแป้ง (Silt) และเม็ดดินเหนียว (Clay) ในอัตราส่วน

ต่างๆกันดินที่มีอนุภาคของทรายเป็นส่วนประกอบหลักจะเรียกว่า “ดินเนื้อหยาบ” และดินที่มีอนุภาคดินเหนียวเป็นส่วนประกอบหลักจะเรียกว่า “ดินเนื้อละเอียด” ซึ่งสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีกว่าดินทรายส่วนดินทรายจะให้น้ำซึมผ่านและมีการระบายน้ำได้ดีแต่มีความสามารถในการเก็บอุ้มน้ำไว้ในดินได้น้อยการแบ่งเนื้อดินสามารถแบ่งได้ละเอียดตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการโดยทั่วไปนิยมยึดถือตามมาตรฐานของ 2 องค์กรคือระบบการแบ่งของกระทรวงเกษตรประเทศสหรัฐอเมริกา (United State. Department of Agriculture Scheme) และระบบสากล (International Scheme) ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ระบบการแบ่งของกระทรวงเกษตรประเทศสหรัฐอเมริกา (United State Department of Agriculture Scheme) และระบบสากล (International Scheme)

ระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา		ระบบสากล	
ชื่อกลุ่ม	เส้นผ่าศูนย์กลางสมมูล (มม.)	ชื่อกลุ่ม	เส้นผ่าศูนย์กลางสมมูล (มม.)
ทรายหยาบมาก	2.0 - 1.0		
ทรายหยาบ	1.0 - 0.5	ทรายหยาบ	2.0 - 0.2
ทรายปานกลาง	0.5 - 0.10	ทรายละเอียด	0.20 - 0.02
ทรายละเอียด	0.25 - 0.10	ทรายแป้ง	0.02 - 0.002
ทรายละเอียดมาก	0.10 - 0.05	ดินเหนียว	เล็กกว่า 0.002
ทรายแป้ง	0.05 - 0.002		
ดินเหนียว	เล็กกว่า 0.002		

ที่มา: มณฑิธร (2545)

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ดินพบว่าดินนั้นประกอบด้วยทรายร้อยละ 30 ทรายแป้งร้อยละ 40 และดินเหนียวร้อยละ 30 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสามเหลี่ยมมาตรฐานจะพบว่าดินชนิดนี้เป็นดินประเภทดินเหนียว (Clay loam) หรือดินร่วนปนดินเหนียวจากประเภทของดินในสามเหลี่ยมมาตรฐานซึ่งมี 12 ชนิดนั้นสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือดินเนื้อหยาบดินร่วนและดินเนื้อละเอียดใน

แต่ละกลุ่มมีข้อดีและข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่มเพื่อการเกษตรกรรมและการจัดการน้ำแตกต่างกัน
ไปดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การแบ่งประเภทเนื้อดินในสามเหลี่ยมมาตรฐาน

กลุ่มของเนื้อ ดิน	ประเภทของเนื้อดิน		ข้อดีและข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม	
	ชื่อ ภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ดินเนื้อ หยาบ	1. Sand	ดินทราย	1. ไถพรวนง่าย	1. อุ้มน้ำและธาตุอาหาร ได้น้อย
	2. Loamy sand	ดินทรายร่วน หรือดินทราย ปนดินร่วน		2. ระบายน้ำได้เร็ว เกินไป
2. ดินร่วน	3. Sand loam	ดินร่วนปน ทราย	1. ไถพรวนง่าย	1. ธาตุอาหารถูกชะล้าง ได้ง่าย
	4. Loam	ดินร่วน	2. อุ้มน้ำและ ธาตุอาหาร ได้มาก พอสมควร	2. ความอุดมสมบูรณ์ ของดินต่ำ
	5. Silt loam	ดินร่วนปนซิลต์ หรือดินร่วนปน ตะกอนหรือดิน ร่วนปนทราย แป้ง	3. ระบายน้ำ และอากาศดี พอสมควร	
	6. Silt	ทรายแป้งหรือ ซิลต์หรือ ตะกอน	4. เหมาะแก่ การปลูกพืช	

ตารางที่ 8 (ต่อ)

กลุ่มของเนื้อดิน	ประเภทของเนื้อดิน		ข้อดีและข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม	
	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย	ข้อดี	ข้อเสีย
3. ดินเนื้อละเอียด	7. Sand clay loam	ดินร่วนเหนียวปนทราย		
	8. Clay loam	ดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนปนดินเหนียว		
	9. Silty clay Loam	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งหรือดินร่วนเหนียวปนซิลต์หรือดินร่วนเหนียวปนตะกอน	1. อุ้มน้ำและธาตุอาหารได้มาก	1. ระบายน้ำและอากาศไม่ดี
	10. Sand clay	ดินเหนียวปนทราย	2. ความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง	2. ไถพรวนยาก
	11. Silty clay	ดินเหนียวปนซิลต์หรือดินเหนียวตะกอน		
	12. Clay	ดินเหนียว		

ที่มา: มณฑิธร (2545)

โครงสร้างของดิน

โครงสร้างของดินหมายถึงคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการเรียงตัวและเกาะกันระหว่างเม็ดดินเป็นก้อนดินซึ่งการจัดเรียงตัวของอนุภาคปฐภูมิของดินเป็นอนุภาคทุติยภูมิซึ่งนิยมเรียกว่า “เม็ดดิน” (Soil Aggregate) ปกติแล้วโครงสร้างของดินกำหนดจากรูปร่างขนาดความคงทนต่อการแตกแยกของเม็ดดิน โครงสร้างของดินจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศในดิน อัตราการซึมของน้ำในดินตลอดจนการแผ่กระจายของรากพืช ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงโครงสร้างของดินในเขตรากพืชด้วยการเขตรกรรมอยู่เสมอ โครงสร้างของดินเหมาะสมต่อการปลูกพืชมักเกิดขึ้นในดินชั้นบนที่เคยมีการไถพรวนเป็นดินที่โปร่งร่วนซุยเหมาะแก่การเพาะปลูกซึ่งเกิดจากอินทรีย์วัตถุ

ความโปร่งและความแน่นทึบของดิน

ความโปร่งและความแน่นทึบของดินหมายถึงปริมาตรของช่องว่างที่มีอยู่ในดินเกิดจากการยึดตัวของอนุภาคดินที่เป็นของแข็งดินที่มีปริมาตรของช่องว่างมากถือว่าเป็นดินโปร่งดินที่มีปริมาตรของช่องว่างน้อยถือว่าเป็นดินแน่นทึบแม้ว่าดินที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชควรมีช่องว่างในดินร้อยละ 50 แต่ช่องว่างแต่ละขนาดมีคุณสมบัติที่ต่างกันสัดส่วนของขนาดช่องว่างที่เหมาะสมคือช่องว่างขนาดใหญ่ช่องว่างขนาดกลางช่องว่างขนาดเล็กเป็น 5 : 4 : 1 ขนาดของช่องว่างจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคของดินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและโครงสร้างของดินดินที่มีอนุภาคใหญ่เช่นดินทรายจะมีช่องว่างขนาดใหญ่แต่มีปริมาตรรวมของช่องว่างน้อยในดินที่มีอนุภาคขนาดเล็กเช่นดินเหนียวจะมีขนาดของช่องว่างเล็กแต่มีปริมาตรรวมของช่องว่างมากการเพิ่มอินทรีย์วัตถุทำให้ดินร่วนซุยขึ้น หรือทำให้ดินโปร่งขึ้นเพราะอินทรีย์วัตถุเป็นสิ่งที่ช่วยทำให้ดินจับตัวเป็นเม็ดทำให้ช่องว่างในดินเพิ่มขึ้น ขนาดของช่องว่างภายในดินแบ่งได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ขนาดของช่องว่างภายในดิน

ขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลางของ ช่องว่าง (มิลลิเมตร)	สมบัติของช่องว่าง
ใหญ่	> 0.01	น้ำซึมผ่านช่องว่างในดิน ได้ง่ายช่องว่างเหล่านี้ จะเป็นที่อยู่ของอากาศในดิน
กลาง	$0.0002 - 0.01$	น้ำถูกยึดเอาไว้และพืช นํานํามาใช้ประโยชน์ได้ เมื่อดินแห้งช่องว่างนี้ เป็นที่อยู่ของอากาศ
เล็ก	< 0.0002	ดินดูดน้ำได้อย่างเหนียวแน่น พืชนํามาใช้ประโยชน์ไม่ได้ ช่องว่างนี้จะสูญเสียน้ำ เมื่อดินแห้งมาก

ที่มา : ดิเรก และคณะ (2545)

ความลึกของดิน

ดินควรมีความลึกเพียงพอให้รากพืชเจริญเติบโตจนไซแทรกเข้าไปในเนื้อดินได้ความลึกของดินจะมีอิทธิพลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของดินการกระจายรากพืชและการทราบถึงระดับความชื้นของดินทำให้สามารถกำหนดความถี่ในการให้น้ำแก่พืชได้ขึ้นความลึกของเนื้อดินแบ่งได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงชั้นความลึกของเนื้อดิน

ระยะความลึก	ชั้นความลึก
0 - 10	ดินตื้นมาก
10 - 20	ดินตื้น
20 - 40	ดินลึกปานกลาง
40 - 60	ดินลึก

ที่มา: ดิเรก และคณะ (2545)

ความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้

ดินโดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบที่สำคัญอันประกอบขึ้นด้วยสสาร 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ชนิด ปริมาณ และการจัดเรียงตัวกันของสสารทั้ง 3 สถานะ ทำให้แบ่งแยกและเรียกชื่อดิน ได้ต่างชนิดกันรวมทั้งทำให้ดินแต่ละชนิดสามารถเก็บกักน้ำไว้ในดินได้ต่างกัน ซึ่งเราเรียกว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Water holding capacity of soil) โดยทั่วไปจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อดิน และ โครงสร้างดิน เฉพาะอย่างยิ่งขนาดและปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดินเป็นสำคัญการที่น้ำจะแทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินได้นั้นอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของดิน และ โมเลกุลของน้ำ (cohesive force) และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกัน (adhesive Force) ซึ่งรวมเรียกว่าแรงดูดซับ (capillary force) ถ้าหากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินนั้นอยู่เต็มช่องว่างระหว่างเม็ดดินเราเรียกดินนั้นว่า ดินอิ่มตัว (saturated) น้ำที่มีอยู่เต็มช่องว่างระหว่างเม็ดดินเมื่อถูกกระทำด้วยแรงดึงดูดของโลกก็จะระบายออกจากช่องว่างขนาดใหญ่ลงสู่ที่ต่ำในดินที่ไหลด้วยสาเหตุดังกล่าวเราเรียกว่าน้ำอิสระ (gravitational water หรือ free water) เมื่อน้ำอิสระระบายออกจนหมดใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน ความชื้นในดินที่จุดนี้เราเรียกว่า ความชื้นชลประทาน (field capacity) ซึ่งถือว่าเป็นค่าพิคคบน (upper Limit) ของช่วงระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดิน สำหรับดินเนื้อปานกลาง และดินเนื้อละเอียด พืชต้องใช้แรงดึงความชื้นประมาณ 1/3 บาร์สำหรับดินเนื้อหยาบพืชต้องใช้แรงดึงความชื้นประมาณ 1/10 บาร์ จากพิคคบน (upper Limit) จนถึงพิคคล่าง (lower Limit) ณ จุดที่มีความชื้นเท่ากับ ความชื้น ณ จุดเหี่ยวเฉถาวร (permanent wilting point) เราเรียกปริมาณน้ำที่อยู่ในดินของช่วงพิคคบนจนถึงช่วงพิคค

กล่าวนี้ว่า น้ำซึบ (capillary water) โดยถือว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินช่วงนี้เป็นร้อยละ 100 ของปริมาณน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ได้ ที่ระดับความชื้น ณ จุดเหี่ยวเฉาถาวรนี้พืชต้องใช้แรงดึงความชื้นประมาณ 15 บาร์ โดยมีพืชไม่กี่ชนิดที่สามารถสร้างแรงดึงความชื้นในรากได้ถึง 15 บาร์ (วิบูลย์, 2526) ดิเรกและคณะ (2545) กล่าวว่า พืชไม่สามารถใช้ความชื้นที่ดินอุ้มไว้ได้นี้ทั้งหมดเพราะเมื่อระดับความชื้นในดินถูกพืชใช้จนเหลือความชื้นน้อยมากจนใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวรแล้วพืชอาจได้รับความเสียหายได้เพราะความชื้นในช่วงนี้จะถูกดินดูดยึดเอาไว้มากจนรากพืชไม่สามารถดูดมาใช้ได้ ดังนั้น จึงต้องทำการให้น้ำเมื่อความชื้นในดินลดลงใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวร ซึ่งเรื่องนี้เป็นเรื่องที่สำคัญต่อการตัดสินใจในการกำหนดในการให้น้ำแก่พืชมาก ซึ่งโดยทั่วไป จะยอมให้ความชื้นในดินลดลงประมาณร้อยละ 50 ถึง 60 ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ ซึ่งความชื้นในดินที่ยอมให้ลดลงก่อนทำการให้น้ำครั้งต่อไปเรียกว่า ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ ส่วนความชื้นที่เหลือในดินหลังจากที่พืชดูดเอาความชื้นที่ยอมให้ดูดไปใช้ได้หมดแล้ว คือ ความชื้นจุดวิกฤติ ซึ่งคำอธิบายดังกล่าวนี้สามารถแสดงให้เข้าใจง่าย ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ระดับความชื้นในดินที่จุดต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดิน

ที่มา : ดัดแปลงจาก วิบูลย์ (2526)

การหาจำนวนความชื้นในดิน

Cuenca (1989) กล่าวว่า มีวิธีการหาความชื้นดินอยู่มากมายหลายวิธี ซึ่งจะทำให้การตรวจวัดก่อนที่จะมีการให้น้ำโดยการประเมินค่าความแห้งของดินต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ยอมรับได้เป็นตัวชี้วัด พร้อมกับการประเมินสภาพอากาศ เพื่อใช้พิจารณาเวลาในการให้น้ำ การตรวจวัดความชื้นดินหลังการให้น้ำ เพื่อประเมินปริมาณน้ำที่จะทำให้ดินบริเวณเขตรากมีความชื้นที่เพียงพอโดยปกติตารางในการให้น้ำของการปลูกพืชในระดับการค้า จะใช้เครื่องมือในการตรวจวัดสถานะของน้ำในดิน

ระดับความชื้นที่สำคัญของดินระดับความชื้นที่สำคัญภายในดินตามลักษณะของน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินเพื่อประโยชน์ในการกำหนดหรือคำนวณหาปริมาณน้ำในดินที่ระดับความชื้นต่างๆดังนี้

1. จุดความชื้นอิ่มน้ำหรือจุดความชื้นเมื่อดินอิ่มน้ำ (Water Saturated) เป็นชั้นของน้ำในดินที่เกิดขึ้นเมื่อปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ดดินทั้งหมดถูกแทนที่ด้วยน้ำอาจจะมีอากาศอยู่บ้างในช่องว่างขนาดเล็กๆแต่ก็มีปริมาณน้อยมากถ้าดินมีความสามารถระบายน้ำได้ดีแล้วปริมาณน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ก็จะเคลื่อนที่ลงไปข้างล่างเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

2. ความชื้นชลประทานหรือความชื้นสนาม (Field Capacity) หมายถึงความชื้นที่เหลือในดินหลังจากที่น้ำอิสระได้ถูกระบายออกไปจากช่องว่างขนาดใหญ่หมดแล้วหรือมีปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินสามารถอุ้มไว้เพื่อด้านทานแรงดึงดูดของโลกในสภาพเช่นนี้น้ำจะมีอยู่เต็มในช่องว่างขนาดเล็กส่วนอากาศอยู่เต็มช่องว่างขนาดใหญ่เช่นปริมาณความชื้นหลังจากที่ฝนตกหนักหรือหายุคให้น้ำแล้ว 2 – 3 วันเป็นความชื้นชลประทานหรือความชื้นสนามโดยทั่วไปแล้วแรงดึงดูดความชื้นที่จุความชื้นชลประทานมีค่า 1/3 บาร์แต่ค่านี้เปลี่ยนไปตามลักษณะเนื้อดินเช่นดินเหนียวหยาบจะมีค่าแรงดึงดูดความชื้นประมาณ 1/10 บาร์และดินเหนียวหรือดินค่อนข้างเหนียวมีค่าประมาณ 0.6 บาร์ ระดับความชื้นชลประทานนี้ถือว่าเป็นระดับสูงสุดของความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available water) กล่าวคือพืชสามารถดูดกินความชื้นในระดับนี้ได้และความชื้นระดับนี้ก็อยู่ในดินได้นานพอให้พืชดูดกินซึ่งระดับความชื้นที่สูงกว่านี้เช่นน้ำอิสระรากพืชมีโอกาสดูดน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยมากจนไม่ถือว่าเป็นประโยชน์ต่อพืชเนื่องจากระบายไปจากดินในบริเวณที่มีรากพืชได้เร็ว

3. จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) คือความชื้นในดินเมื่อพืชไม่สามารถดูดมา ใช้ให้เพียงพอสำหรับการคายน้ำและพืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรเรียกว่า “ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร” ระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรนี้ถือว่าเป็นพิกัดล่างสุดของความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยทั่วไปแล้วค่าแรงดึงดูดความชื้นเท่ากับ 15 บาร์อาการเหี่ยวเฉาของพืชอาจเกิดขึ้นได้หลายครั้งเป็นการเหี่ยวเฉาชั่วคราวก่อนที่จะถึงจุดที่พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวรเช่นการสูญเสียความชื้นจากการคายน้ำเนื่องจากอัตราการคายน้ำของพืชจากดินน้อยกว่าอัตราการคายน้ำออกทางใบการที่ จะทราบว่าการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรหรือไม่นั้นทำได้โดยการนำพืชที่เหี่ยวเฉานั้นไปไว้ในห้องที่มีอากาศเย็นหรือมีบรรยากาศรอบๆ ต้นพืชที่อ้อมตัวด้วยไอน้ำคือมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อยละ 100 เป็นเวลาอย่างน้อย 15 ชั่วโมงแล้วพืชนั้นยังแสดงการเหี่ยวเฉาอยู่แสดงว่าถึงจุดที่พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร

4. ความชื้นเมื่ออบแห้งปริมาณความชื้นในดินภายหลังถูกอบไว้ที่อุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลากว่า 15 ชั่วโมงจนกระทั่งไม่มีน้ำระเหยออกจากดินดินในสภาพนี้มีค่าแรงดึงดูดความชื้น 10,000 บาร์ขึ้นไปและนิยมใช้น้ำหนักดินอบแห้งเป็นหลักสำหรับคำนวณหาค่าต่างๆ

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

ความสามารถที่ดินสามารถเก็บน้ำหรืออุ้มน้ำไว้ให้แก่พืชดูดไปใช้ระดับน้ำหรือความชื้นจะอยู่ระหว่างระดับความชื้นในดินที่ความชื้นชลประทานกับจุดเหี่ยวเฉาถาวรหรือความชื้นในสภาพที่ดินยึดไว้ด้วยแรงดึงดูดความชื้นตั้งแต่ $1/3 - 15$ บาร์เป็นความชื้นที่เป็นประโยชน์ในปริมาณสูงสุดของความชื้นที่ดินชนิดหนึ่งๆสามารถดูดยึดไว้เป็นประโยชน์ต่อพืชความสามารถในการอุ้มน้ำของดินจะแตกต่างกันไปตามลักษณะโครงสร้างและลักษณะของเนื้อดินโดยเฉพาะขนาดของช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะมีผลมากต่อการอุ้มน้ำไว้ ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้นี้มักจะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้งและเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรหรือเป็นความลึกของน้ำต่อความลึกของดินเช่นดินร่วนปนทรายมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 1.20 มิลลิเมตรต่อความลึกของดิน 1 เซนติเมตร เป็นต้น ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทั้งหมดส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และใช้ไม่ได้ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทั้งหมดส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และใช้ไม่ได้
ของดินชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (มม.น้ำ/ชม.ดิน)		
	รวมทั้งหมด	พืชนำเอาไปใช้ได้	พืชใช้ไม่ได้
(1)	(2)	(3)	(4)
ดินทราย	0.65 - 1.50	0.35 - 0.85	0.30 - 0.65
ดินร่วนปนทราย	1.50 - 2.30	0.75 - 1.15	0.75 - 1.00
ดินร่วน	2.30 - 3.40	1.15 - 1.70	1.15 - 1.50
ดินร่วนปนตะกอนทราย	3.40 - 4.00	1.70 - 2.00	1.70 - 2.00
ดินร่วนปนดินเหนียวปนตะกอน	3.60 - 4.15	1.50 - 1.80	2.10 - 2.35
ทราย			
ดินเหนียว	3.80 - 4.15	1.50 - 1.60	2.30 - 2.55

ที่มา: มณฑะธีร (2545)

การระเหยและการคายน้ำของพืช

ในเรื่องวัฏจักรของน้ำ หัวข้อที่มีความสำคัญและเป็นที่สนใจในการทำการเกษตร คือ การระเหยน้ำ และการคายน้ำของพืช โดยสามในสี่ของปริมาณน้ำจากฟ้าทั้งหมดที่โลกได้รับ กลับคืนสู่บรรยากาศโดยการ ระเหย และการคายน้ำ (Fangmeier et al.,2006) ปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียไปจากแปลงพืช โดยการระเหยจากดิน (Soil evaporation) และการคายน้ำจากพืช (plant transpiration) เรียกว่า การคายระเหยน้ำ (evapotranspiration,ET) การระเหยน้ำเป็นกระบวนการที่อาศัยพลังงานในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอน้ำ

นักอุตุนิยมวิทยาได้แบ่งการคายระเหยน้ำออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกันคือ

- 1) การคายระเหยน้ำจริง (actual evapotranspiration,) หมายถึงปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นจากการคายน้ำที่ผิวดินและการคายน้ำของพืชสู่บรรยากาศได้จริงในสภาวะอากาศขณะนั้นซึ่งปริมาณ

น้ำที่สูญเสียโดยการคายระเหยน้ำนี้มีปัจจัยในการควบคุมหลายอย่างเช่นรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ความเร็วลมปริมาณไอน้ำในอากาศคุณภาพน้ำชนิดพืชความชื้นในดิน เป็นต้น

2) การคายระเหยน้ำได้สูงสุด (potential evapotranspiration,) ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นจากการระเหยน้ำและการคายน้ำของพืชสู่บรรยากาศได้สูงสุดในสภาวะอากาศขณะนั้นถ้ามีน้ำให้แก่กระบวนการคายระเหยน้ำได้อย่างเหมาะสมเพียงพอปริมาณการคายระเหยน้ำได้สูงสุดนี้จะมีค่าสูงหรือเท่ากับปริมาณการคายระเหยน้ำจริงเสมอ

ปัจจัยที่ควบคุมการคายระเหยน้ำ

ปริมาณการคายระเหยน้ำจะผันแปรไปตามลักษณะพื้นที่ชนิดป่าลักษณะอากาศความชื้นในดินและปัจจัยทางสรีรวิทยาของพืช (เกษม, 2539) ซึ่งวิชา (2535) ได้แบ่งปัจจัยที่ควบคุมการคายระเหยน้ำออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. ปัจจัยที่เกี่ยวกับลักษณะอากาศ (meteorological factors)

ปัจจัยที่เกี่ยวกับลักษณะอากาศซึ่ง วิชา (2535) และเกษม (2522) สามารถจำแนกได้ดังนี้

1.1 ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ (solar radiation)

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงสู่ผิวโลกขึ้นอยู่กับลักษณะสิ่งแวดล้อมของโลกได้แก่ ตำแหน่งพื้นที่ผิวโลกฤดูกาลช่วงเวลาของวันสภาพของท้องฟ้าเป็นต้นโดยเฉลี่ยแล้วโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ประมาณ 0.0487 วัตต์ต่อตารางเมตรจากการศึกษาของ Chunkao (1971) พบว่าปริมาณรังสีของรังสีคลื่นสั้นจะมีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิและการคายระเหยน้ำโดยตรงเมื่อโลกได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ในปริมาณมากอัตราการคายระเหยน้ำก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

1.2 อุณหภูมิของอากาศ (air temperature)

อุณหภูมิหมายถึงค่าที่ใช้เพื่อชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเคลื่อนย้ายความร้อนโดยกระบวนการพาความร้อน (convection) อุณหภูมิของอากาศจะแปรผันตรงกับปริมาณรังสีจาก

ดวงอาทิตย์ที่โลกได้รับอุณหภูมิของอากาศส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์แต่ก็มีบางที่เกิดจากโลกเช่นภูเขาไฟระเบิดน้ำพุร้อนและอาจมาจากการใช้พลังงานของมนุษย์ถ้าอุณหภูมิของอากาศสูงโอกาสที่กลายเป็นไอน้ำอยู่ในก้อนอากาศหนึ่งหน่วยปริมาตรค่อนข้างสูงขึ้นนั่นหมายความว่าอุณหภูมิยิ่งสูงการคายระเหยยิ่งสูงขึ้นด้วย

1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (relative humidity)

ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอน้ำโดยทั่วไป ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากไอน้ำในอากาศไม่พอเพียงและในช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการระเหยน้ำจะมีมากขึ้นตามไปด้วย สำหรับในช่วงที่มีอากาศเย็นเช่นตอนกลางคืนความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่ามากขึ้น อัตราการระเหยน้ำมีค่าสูงขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลง

1.4 การเคลื่อนที่ของลม (wind movement)

ลมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อัตราการระเหยน้ำสูงขึ้นเพราะว่าลมพัดมาไอน้ำจากบริเวณที่มีความชื้นสูงไปสู่บริเวณที่มีความชื้นต่ำ ได้ทำให้บริเวณที่เคยมีความชื้นสูงมีไอน้ำลดลงโอกาสที่น้ำจะระเหยก็มีมากขึ้น ลมเป็นตัวพัดพาไอน้ำซึ่งมีการสะสมความร้อนของอากาศให้กระจายทั่วๆไปและลมจะพัดจากบริเวณที่มีอากาศเย็นไปสู่ที่มีอากาศร้อน ทำให้อากาศเย็นลอยตัวขึ้นความสามารถที่จะให้ไอน้ำในอากาศอยู่ในหนึ่งหน่วยปริมาตรมีมากขึ้นการระเหยน้ำก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

2. ธรรมชาติของผิวหน้าในการระเหยน้ำ (nature of evaporating surface) การระเหยน้ำจะแตกต่างกันตามชนิดของสสารต่างๆ (วิชา, 2535) ดังนี้

2.1 พืชพรรณที่ปกคลุม (vegetative cover)

พืชพรรณแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในการยึดน้ำเอาไว้และการคายน้ำออกสู่บรรยากาศซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (species) ความหนาแน่นของพืชพรรณ (density) ระยะห่างระหว่างต้น (spacing) จำนวนเปอร์เซ็นต์เรือนยอดปกคลุมดิน (ground cover) การกระจายของพันธุ์

พืชในพื้นที่ (distribution) สัดส่วนของพันธุ์พืชในพื้นที่ (proportion of species) เป็นต้นพืชพันธุ์ชนิดใดสามารถยืมน้ำไว้ได้มากโอกาสที่จะสูญเสียน้ำสู่บรรยากาศโดยการระเหยก็มีมากขึ้นด้วยและพืชพันธุ์ที่มีอัตราการคายน้ำสูงการสูญเสียน้ำก็มีมากเช่นกัน

2.2 สิ่งก่อสร้างที่สัมผัสกับฝน (infrastructure)

สิ่งก่อสร้างในที่โล่งมีโอกาสสัมผัสกับฝนและผิวของสิ่งก่อสร้างเช่นหลังคาบ้าน ถนนลานจอดรถสนามกีฬา เป็นต้นจะดูดซับน้ำไว้และสูญเสียให้กับบรรยากาศต่อไปโดยไม่มีโอกาสที่จะซึมลงสู่ดิน

2.3 การอิ่มตัวของผิวน้ำการระเหย (saturation of evaporating surface)

ผิวน้ำของสารใดที่อิ่มตัวด้วยน้ำก็เปรียบเสมือนผิวน้ำที่อิ่มตัวหรือเป็นผิวน้ำอิสระที่จะระเหย (free water surface) โอกาสที่น้ำจะระเหยเท่ากับจำนวนผิวน้ำของผิวน้ำอิสระที่เกิดขึ้น

3. ปัจจัยที่เกี่ยวกับสรีระวิทยาของพืช (plant physiology)

ปัจจัยที่เกี่ยวกับสรีระของพืชที่มีผลต่อการคายระเหยน้ำในรูปของการคายน้ำจากปากใบของพืชซึ่งมีปัจจัยในการควบคุมดังนี้

3.1 ลักษณะอากาศ (meteorological factors)

ลักษณะอากาศได้แก่รังสีดวงอาทิตย์อุณหภูมิของอากาศความเร็วลมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจำนวนชั่วโมงที่พืชได้รับแสงแดด เป็นต้นซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชพืชต้องการคายน้ำเพื่อลดความร้อนและเพื่อดูดแร่ธาตุขึ้นมาใช้และคายน้ำออกจากปากใบ

3.2 สภาพความชื้นในดิน (soil moisture condition)

ปริมาณความชื้นในดินเป็นตัวจำกัดการคายน้ำได้อย่างมากถ้าสภาพความชื้นในดินมีน้อยพืชพรรณก็ต้องเก็บไว้ใช้มากกว่าที่จะปล่อยไปเพื่อการคายน้ำหรือกล่าวได้ว่าการคายน้ำจะผันแปรตามความชื้นดิน

การคายน้ำเป็นกระบวนการหลักที่กระตุ้นให้พืชดูดน้ำทวนทิศทางการดึงดูดของโลกและ frictional resistance ในทางลำเลียงภายในต้นพืช อัตราการดูดน้ำจะถูกควบคุมโดยอัตราการคายน้ำเป็นหลัก ส่วน root pressure ซึ่งเป็น active absorption ของน้ำจะมีความสำคัญน้อยกว่าในการดูดน้ำ และความสำคัญจะเด่นชัดก็ต่อเมื่อพืชมีการคายน้ำหรือหยุดการคายน้ำเท่านั้น (นวรรตน์, 2541) การระเหย (evaporation) หมายถึงการที่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงสถานะไปเป็นไอน้ำ หรือโมเลกุลของน้ำไปเป็นไอ ล่องลอยไปสู่อากาศ น้ำหนึ่งกรัมระเหยกลายเป็นไอ ต้องการความร้อน 2.5 kJ (หรือ 500 แคลอรี) โดยได้รับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ ความร้อนจากบรรยากาศชั้นบนหรือความร้อนจากใต้พิภพเป็นสำคัญ (สายสุนีย์, 2546) การระเหยและการคายน้ำของพืช ซึ่งเรียกรวมกันว่า การคายระเหยน้ำของพืช (ET) จะใช้เป็นข้อมูลในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งมีวิธีการตรวจวัดต่างๆ เช่น (1) ใช้ถังวัดการใช้น้ำหรือ Lysimeter ในการศึกษา (2) การตรวจวัดในแปลงโดยการวัดปริมาณน้ำเข้า-ออก ในพื้นที่ศึกษาขนาดเล็ก (3) การศึกษาจากปริมาณน้ำในดินหรือความชื้นดิน (4) ศึกษาจากข้อมูลทางภูมิอากาศ (5) ศึกษาจากปริมาณการใช้น้ำของพืชและการระเหยน้ำจากผิวน้ำและผิวดิน (6) ศึกษาปริมาณน้ำที่เข้า-ออก พื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่และใช้ระยะเวลานาน (Allen et al., 1998) ลิทธิพร (2536) กล่าวว่าสิ่งสำคัญที่ควบคุมการระเหยของพื้นผิวดินและผิวน้ำ คือ ความชื้นในบรรยากาศ ลม และความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมการระเหยจากแปลงพืชด้วย น้ำส่วนใหญ่วัตถุที่พืชดูดเข้าไปจะถูกคายออกมาทางใบโดยผ่านรูเล็กๆ ตามผิวใบเรียกว่า stomata กระบวนการนี้เรียกว่าการคายน้ำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรของน้ำ โดยความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างน้ำหล่อเลี้ยงที่อยู่ในเซลล์ของรากพืช และน้ำที่อยู่ในดินทำให้เกิดความดัน osmotic ทำให้น้ำในดินสามารถเคลื่อนผ่านเนื้อเยื่อของรากพืชเข้าไปในเซลล์รากพืชได้ จากนั้นจะเคลื่อนตัวไปยัง intercellular space ในขณะที่อากาศเคลื่อนตัวเข้าสู่ใบ น้ำที่จะถูกปล่อยออกผ่านทาง Stomata (สายสุนีย์, 2546) potential evapotranspiration จะมีค่ามากกว่า เท่ากับหรือน้อยกว่า ค่าของ evapotranspiration ก็ได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ความชื้นในดินระหว่างฤดูกาลเพาะปลูก หรือชนิดของพืชที่ปลูก เป็นต้น (ราสินี, 2539) การสูญเสียน้ำสู่บรรยากาศถูกกำหนดโดยทั้งปัจจัยแวดล้อมและปัจจัยพืช ผลของปัจจัยแวดล้อมต่อการคายระเหยน้ำเรียกว่า atmospheric demand หรือ evaporatory demand ยิ่ง atmospheric demand สูง การสูญเสียน้ำก็ยิ่งเร็ว ปัจจัยที่กล่าวถึงต่อไปนี้มีอิทธิพลต่อ atmospheric demand (นวรรตน์, 2541)

1. แสงอาทิตย์ (solar radiation) จากแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ถูกดูดซับไว้โดยใบพืชเพียงร้อยละ 1 ถึง 5 เท่านั้นที่ถูกนำไปใช้เพื่อการสังเคราะห์แสง ร้อยละ 75 ถึง 85 จะไปทำให้อุณหภูมิใบเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดการคายน้ำ แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจึงไปทำให้ atmospheric demand เพิ่มขึ้น

2. อุณหภูมิ (temperature) การที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะไปมีผลให้ความสามารถของอากาศในการ อุ่นน้ำมากขึ้น ซึ่งหมายถึง atmospheric demand สูงขึ้น

3. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ปริมาณน้ำในอากาศเพิ่มขึ้นทำให้ air เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่า atmospheric demand ลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น

4. ลม (wind) การคายน้ำเกิดขึ้นเมื่อน้ำมีการแพร่ออกจากปากใบ เมื่อลมสงบจะทำให้เกิด diffusion gradient barrier รอบๆ ปากใบ ทำให้การคายน้ำลดลง เมื่อลมพัดพาเอาความชื้นรอบๆ ใบ ออก จะทำให้เกิดความแตกต่างมากขึ้นระหว่าง water potential ภายในใบและนอกปากใบ และมีผลให้การแพร่ของน้ำออกจากใบมากขึ้น

วิธีการหาอัตราการระเหยที่ใช้ในปัจจุบันที่ได้เลือกมาเปรียบเทียบกับอัตราการระเหยที่ประเมินจากภาพถ่ายดาวเทียม ได้แก่ การหาอัตราการระเหยโดยวิธี FAO Penman-Monteith (Allen et al.,1998) และการหาอัตราการระเหยโดยใช้ถ้าวัดการระเหย class A (Doorenbos and Pruitt, 1977) อัตราการระเหยที่หาจากวิธี Penman-Monteith นั้น เป็นอัตราการระเหย หรือปริมาณการใช้ น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration, ET_0) ซึ่งมีสมมติฐานว่าเป็นอัตราการระเหย จากหญ้าที่ปกคลุมดินสม่ำเสมอและมีน้ำไม่จำกัด และอัตราการระเหยที่หาจากถ้าวัดการระเหย ได้ใช้ค่าปรับแก้มาเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงเช่นเดียวกัน (เอกสิทธิ์, 2547)

ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืชเป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบระบบชลประทานและโครงการชลประทานจำเป็นต้องทราบ เพราะปริมาณการใช้น้ำของพืชนี้จะเข้ามาเกี่ยวข้องกับปริมาณและความถี่ ในการให้น้ำ การออกแบบขนาดอาคารชลประทาน การจัดหาंनाมาให้กับโครงการชลประทาน ตลอดจนการศึกษาว่าโครงการชลประทานนั้นจะให้ผลที่คุ้มค่าหรือไม่ด้วยปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ภาษาอังกฤษเรียกว่า consumptive use of water หรือ evapotranspiration

เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ปริมาณดังกล่าวนี้ประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ สองส่วน (วิบูลย์, 2526)

1. ปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดิน นำไปใช้สร้างเซลล์ และเนื้อเยื่อแล้วคายออกทางใบสู่บรรยากาศ ซึ่งเรียกว่า การคายน้ำ (transpiration)

2. ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบๆ ต้นพืช จากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝนหรือการให้น้ำซึ่งเรียกว่า การระเหย (evaporation)

วิบูลย์ (2526) กล่าวว่า การใช้น้ำของพืชเมื่อดินมีความชื้นมากพอตลอดเวลานั้น ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศรอบๆ ต้นพืช ชนิดของพืช และช่วงการเจริญเติบโต (growth stages) โดยปกติแล้วพืชมีการใช้น้ำน้อยที่สุดเมื่อเริ่มเพาะปลูกและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมากที่สุดเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อพืชออกผล ผลแก่ และถึงเวลาเก็บเกี่ยว เราอาจแบ่งการเจริญเติบโตของพืชออกเป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ ช่วงเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative Stage) ช่วงออกดอก (flowering Stage) และช่วงออกผล (fruiting Stage) สำหรับช่วงการผลิใบยังแบ่งออกเป็นสองช่วงย่อย คือ เมื่อพืชยังอ่อนอยู่ และเมื่อพืชมีการแตกกิ่งก้านอย่างเต็มที่แล้ว ส่วนช่วงออกผลอาจแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้เช่นกัน คือ ช่วงที่ผลและเมล็ดยังสดอยู่ (wet fruiting stage) และช่วงที่เมล็ดหรือผลเริ่มแห้ง (dry fruiting stage) ซึ่งพืชจะต้องการน้ำน้อยมาก (Allen, 1998) กล่าวว่า ช่วงเวลาที่พืชต้องการน้ำมากที่สุดจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชถึงแม้ว่าตลอดช่วงการเจริญเติบโตของพืชพืชจะให้น้ำอย่างต่อเนื่อง แต่อัตราการใช้น้ำจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืช ระดับการเจริญเติบโต และสภาพภูมิอากาศ เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ ลม และความชื้น

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (consumption use) คือปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียไปจากพื้นที่เพาะปลูกซึ่งประกอบด้วยปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดินเพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อแล้วคายออกสู่บรรยากาศ (transpiration) รวมถึงปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผิวดินและผิวน้ำ (evaporation) (วิบูลย์, 2526)

Allen et al. (1998) สรุปปริมาณการใช้น้ำของพืชว่าขึ้นกับปัจจัย 3 ปัจจัยต่อไปนี้คือ

1. พืชเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการประเมินการใช้น้ำที่แตกต่างกันไปโดยขึ้นกับชนิดและช่วงอายุของพืชการใช้น้ำของพืชจะน้อยเมื่อเริ่มต้นปลูกและเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆจนมากที่สุดเมื่อพืชโตเต็มที่และอยู่ในวัยขยายพันธุ์จากนั้นความต้องการน้ำจะค่อยๆลดลง (วิบูลย์, 2526)

2. สภาพภูมิอากาศรอบคันพืชได้แก่รังสีแสงอาทิตย์อันมีความสัมพันธ์กับการระเหยน้ำออกจากดินรวมถึงสภาพอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศทั้งนี้เพราะพลังงานรังสีจะก่อให้เกิดความร้อนขึ้นในวัตถุความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกระบายออกในรูปความร้อนแฝงซึ่งทำให้เกิดการระเหยน้ำออกสู่บรรยากาศ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

3. ดินได้แก่ความชื้นในดินดินที่มีระดับความชื้นใกล้เคียงจุดความจุสนาม (field capacity, FC) เป็นจุดที่ดินมีความชื้นเหมาะสมและพืชใช้ประโยชน์ได้ระดับความชื้นในดินที่สูงมีผลต่อระดับพลังงานศักย์น้ำที่สูงด้วยซึ่งส่งผลให้น้ำไหลจากดินเข้าไปในรากพืชได้ง่ายขณะที่พืชกำลังดูดน้ำนอกจากนี้ความหนาแน่นดินชั้นรากพืชยังมีผลต่อแหล่งปริมาณน้ำกักเก็บสำรองสำหรับพืชโดยความหนาแน่นดินชั้นรากที่มากมีผลต่อปริมาณน้ำสำรองสำหรับพืชใช้มากด้วยสุดท้ายคือลักษณะเนื้อดินและสภาพน้ำในดินซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการปลดปล่อยน้ำและเคลื่อนที่ของน้ำในดินไปยังพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

การประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยใช้ข้อมูลจากภูมิอากาศโดยมีหลักการและแนวคิดที่ว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง คือ สภาพของดิน ชนิดของอายุของพืช สภาพภูมิอากาศรอบๆ ต้นพืช และการจัดการเพาะปลูก สามารถเลือกใช้สมการใดสมการหนึ่งที่เหมาะสมกับข้อมูลทางภูมิอากาศที่มีอยู่จาก 3 วิธีดังต่อไปนี้

1. วิธีที่หนึ่ง โดยใช้ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยน้ำของพืช หรือปริมาณการใช้น้ำ ของพืชอ้างอิง (ET_0) และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช หลักการในการดำเนินการก็คือ ให้พืชมีการเจริญงอกงามดีมีอัตราการใช้น้ำตลอดเวลา แต่ผลของการใช้น้ำของพืชจะไม่มีผลกระทบต่อจัดการเพาะปลูกหรือองค์ประกอบอื่นๆ ทั้งนี้ เพื่อให้การใช้น้ำของพืชที่เลือกมาศึกษาขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งพืชที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้มากที่สุดก็คือหญ้า และต่อมาก็มีการใช้พืชอื่นๆ อีก เช่น อัลฟัลฟา มาทำการศึกษา เราเรียกว่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่เลือกมาปลูกในดินที่มีความชื้นสูงตลอดเวลา เพื่อให้อัตราการใช้น้ำขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวว่าการ

ใช้น้ำของพืชอ้างอิง หรือศักย์การใช้น้ำของพืช หรือศักย์การคายระเหยของน้ำตรงกับภาษาอังกฤษว่า potential evapotranspiration และนิยมใช้ตัวย่อว่า ET_o

(ธีระพงษ์, 2538) ในการหาค่าการใช้น้ำของพืชมาตรฐานส่วนใหญ่จะทำการคำนวณจากข้อมูลภูมิอากาศโดยใช้สูตรคำนวณโดยเฉพาะสูตร Penman จะมีการใช้อย่างแพร่หลายและมีการพัฒนาตลอดมาซึ่งในปี 1990 ทางผู้เชี่ยวชาญของ FAO ได้แนะนำให้ใช้สูตร Penman Monteith โดยในต่างประเทศถือว่า Penman Monteith น่าจะเป็นวิธีการคำนวณ ET_o ที่ถูกต้องแม่นยำมากกว่าวิธีอื่นๆ สำหรับประเทศไทยยังมีการใช้ไม่แพร่หลายดังนั้นถ้าสูตรดังกล่าวมาปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์บางค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยแล้วคาดว่าสูตรนี้ได้รับความนิยมในการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านเกษตรและการจัดการชลประทานทั่วไป จากหลักดังกล่าวสามารถคำนวณศักย์การคายระเหยน้ำของพืช หรือปริมาณการใช้น้ำ ของพืชอ้างอิง (ET_o) ในสมการที่ (8)

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชหรือ K_c เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืชเพียงอย่างเดียวค่าดังกล่าวนี้ได้จากการทดลองวัดจริงๆ ในสนาม โดยการปลูกหญ้าหรือพืชอ้างอิงอื่นๆ และพืชที่ต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชในช่วงการเจริญเติบโตช่วงใดช่วงหนึ่งหรือตลอดฤดูกาลเพาะปลูก เนื่องจากสภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติของดินและองค์ประกอบอื่นๆ คล้ายคลึงกัน ดังนั้น ค่า K_c จึงขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืชเพียงอย่างเดียว เพราะฉะนั้นค่าที่วัดได้นี้สามารถนำไปใช้ได้โดยทั่วไป โดยไม่ขึ้นอยู่กับสถานที่เพาะปลูกหรือสภาพภูมิอากาศ โดยรอบนั้น คือ ถ้าหากเราคำนวณ ET_o โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศได้แล้ว ถ้าเราต้องการจะทราบปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชใด ก็เอาค่า K_c ของพืชที่ต้องการทราบมาคูณกับค่า ET_o ก็จะได้ปริมาณการใช้น้ำของพืช ดังนั้น เมื่อมีข้อมูลการคายระเหยน้ำของพืชหรือปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c) สามารถหาอัตราการคายระเหยของน้ำจริงของแปลงพืชชนิดอื่นที่ไม่ใช่พืชอ้างอิง ดังในสมการที่ (7)

2. วิธีที่สอง โดยใช้ค่าปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหยแบบเอ (Epan) สัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหย สำหรับถาดวัดแบบ เอ (K_p) และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c) หลักการระเหยน้ำเป็นการแพร่กระจายไอน้ำสู่บรรยากาศ แต่เนื่องจากการคายน้ำของพืชนั้นจะถูกควบคุมโดยการเปิดปิดของรูปากใบแตกต่างกันจากการระเหยจากผิวน้ำไม่มีอะไรควบคุมเลย

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์มาคูณกับค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหย ตามปกติมักใช้ถาดที่เรียกว่า Class A pan ของกรมอุตุนิยมวิทยาสหรัฐอเมริกา

ส่วนประกอบของถาดวัดการระเหยน้าแบบ เอ ได้แก่ ถาดน้ำ ขอวัดระดับน้ำ และที่รองรับขอวัดระดับน้ำ ถาดน้ำนี้มีลักษณะทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 120.7 เซนติเมตร มีความลึก 25 เซนติเมตร วัสดุที่นิยมใช้ คือ เหล็กเคลือบสังกะสี (เบอร์ 22) ตัวถาดตั้งอยู่บนฐานไม้ซึ่งมีความสูง 15 เซนติเมตร จากฐานดินและฐานดินนี้ควรจะสูงกว่าระดับเดิมเล็กน้อย ถาดน้ำที่ติดตั้งแล้วควรอยู่ในแนวระดับ ระดับน้ำในถาดควรรักษาให้อยู่ในระดับที่คงที่ คือ ที่ระดับความลึกจากขอบประมาณ 5 เซนติเมตร และไม่ควรลดต่ำกว่า 7.5 เซนติเมตร ทั้งนี้ ก็เพราะจะทำให้เกิดลมหมุนเหนือผิวน้ำระเหยแตกต่างกันซึ่งจะเป็นตัวกระเทือนต่อปริมาณการระเหยน้า (สิทธิพร, 2536) ทำการตรวจวัดการระเหยน้าของถาดวัดทุกวันและตรวจวัดในเวลาเช้า และเป็นเวลาเดียวกับการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝน ที่รองรับขอวัดมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงทำด้วยโลหะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร ลึก 20 เซนติเมตร และยึดติดอยู่กับฐาน ซึ่งจะช่วยป้องกันการกระเพื่อมของผิวน้ำขึ้นตอนการวัดโดยการวางขอวัดระดับน้ำลงบนที่รองรับขอวัด เลื่อนก้านขอวัดขึ้นลงให้ปลายของจมลงได้น้ำเล็กน้อย แล้วหมุนให้ปลายขอเลื่อนขึ้นมาช้าๆ จนแตะผิวน้ำ จากนั้นก็ยกขอวัดระดับน้ำขึ้นมา อ่านขีดสเกลบนก้านขอวัดและเป็นกลางตามลำดับ (Doorenbos and Pruitt, 1977) โดยสรุปเมื่อมีข้อมูลปริมาณการระเหยน้าจากถาดวัดการระเหยแบบ เอ (Epan) ซึ่งอ่านค่าได้จากอุปกรณ์นี้ที่ติดตั้งในแปลงพืชและสัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหยสำหรับ ถาดวัดแบบ เอ (K_p) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c) สามารถหาปริมาณการใช้น้ำของพืชได้จาก

$$ET_c = K_p \times Epan \times K_c \quad (15)$$

เมื่อ	ET_c	=	เป็นการใช้น้ำของพืช
	K_p	=	สัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหย แบบ เอ
	$Epan$	=	ปริมาณการระเหยน้าจากถาดวัดการระเหย
	K_c	=	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

เครื่องมือที่ใช้วัดการระเหยอาจแบ่งได้ออกเป็นสองแบบด้วยกันคือแบบที่เป็นถาดบรรจุน้ำหรือที่เรียกว่าถาดวัดการระเหย (Evaporation Pan) ซึ่งยอมให้น้ำระเหยจากผิวน้ำโดยตรงและแบบที่ให้น้ำระเหยจากผิววัตถุที่พุ่มซึ่งเปียกน้ำถึงแม้ว่าการระเหยของน้ำจะไม่เหมือนกับคายน้ำของพืช

แต่ขบวนการของทั้งสองอย่างคล้ายคลึงกันมากกล่าวคือเป็นการแพร่กระจายของไอน้ำสู่บรรยากาศ แต่การคายน้ำจะถูกควบคุมโดยการเปิดปิดของรูใบในขณะที่การระเหยจากผิวน้ำไม่มีอะไรควบคุมเลยเนื่องจากว่าสภาพภูมิอากาศทุกอย่างเช่นรังสีจากดวงอาทิตย์อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ความเร็วของลมเป็นต้นที่มีผลต่อการคายน้ำก็มีผลต่อการระเหยของน้ำจากผิวดการระเหยด้วยเช่นกัน ดังนั้นการวัดการระเหยที่ได้รับการติดตั้งอย่างถูกต้องจึงใช้เทียบหาปริมาณการใช้น้ำของพืชในช่วงสั้นๆ ได้อย่างละเอียดถูกต้องกว่าสูตรเอมไพริคัลที่ใช้ข้อมูลภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวหรือหลายอย่าง นอกจากนั้นการวัดการระเหยยังใช้ง่ายและราคาถูกอีกด้วย (วิบูลย์, 2526)

3. วิธีที่สาม โดยใช้ข้อมูลปริมาณการระเหยน้ำจากผิวดการระเหยแบบ เอ (E_{pan}) และสัมประสิทธิ์ผิวดการระเหยแบบ เอ (K_p) แนวคิดของการหาปริมาณการใช้น้ำโดยวิธีนี้มาจากเมื่อมีข้อมูล E_{pan} หรือปริมาณการระเหยน้ำจากผิวดการระเหยแบบ เอ เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ไม่มีข้อมูลทั้ง ET_c หรือปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง และ K_c หรือสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ในกรณีนี้ได้มีผู้แนะนำให้หาปริมาณใช้น้ำของพืชโดยการคำนวณจากค่าของ K_p หรือสัมประสิทธิ์ของผิวดการระเหยแบบเบ็ดเสร็จสำหรับผิวดการระเหยแบบ เอ แทนค่า K_c และ K_p โดยใช้สมการ (ดิเรก และคณะ, 2545)

$$ET_c = E_{pan} \times K_p \quad (16)$$

เมื่อ ET_c = เป็นการใช้น้ำของพืชที่ต้องการทราบ
 E_{pan} = ปริมาณการระเหยน้ำจากผิวดการระเหยแบบ เอ
 K_p = สัมประสิทธิ์ของผิวดการระเหยแบบเบ็ดเสร็จ

สำหรับความต้องการน้ำเพื่อการเพาะปลูกข้าวแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือความต้องการน้ำเพื่อการเตรียมแปลงและความต้องการน้ำเพื่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว ความต้องการน้ำเพื่อการเตรียมแปลงชูพันธุ์ (2547) อ้างถึงดิเรก (2528) กล่าวว่าความต้องการน้ำที่ใช้เตรียมแปลงสำหรับการเพาะปลูกข้าวรวมทั้งสิ้นประมาณ 200 – 350 มิลลิเมตร ความต้องการน้ำเพื่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่ต้องสูญเสียไป 3 ทางด้วยกันคือการระเหย (evaporation) การคายน้ำ (transpiration) และการซึมลงไปในดิน (percolation) โดยปริมาณการใช้น้ำของข้าวที่ตรวจวัดจากถึงวัดการใช้น้ำ (lysimeter) ของสถานีคันคว่ำและวิจัยการใช้น้ำชลประทานกรมชลประทานประมาณวันละ 4 - 7 มิลลิเมตรในฤดูฝนและประมาณวันละ 5 - 9 มิลลิเมตร ในฤดูแล้งส่วนการซึมลงไปในดินทั้งแนวราบและแนวตั้งขึ้นอยู่กับสภาพของดินชนิดของดินสภาพความลึกของชั้นดิน

และระดับน้ำใต้ดินเช่นดินเหนียวและมีระดับน้ำใต้ดินตื้นจะมีการสูญเสียน้ำประมาณวันละ 1 - 2 มิลลิเมตร แต่ถ้าสภาพเป็นดินทรายและมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกอาจจะมีการสูญเสียน้ำถึงประมาณวันละ 7 - 10 มิลลิเมตร (ดิเรก, 2526)



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. โปรแกรม Microsoft excel
3. โปรแกรม ArcGis 9.3
4. โปรแกรม ETo Calculator
5. ข้อมูลการเพาะปลูกข้าวหอมมะลินิธิย์พื้นที่จังหวัดสุรินทร์
6. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์
7. เครื่องเขียนและอุปกรณ์สำนักงาน

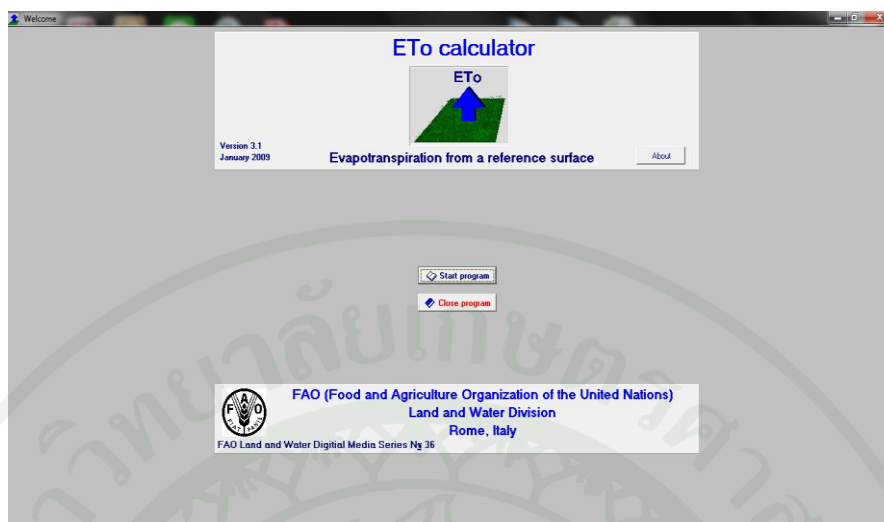
วิธีการ

การศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลการเพาะปลูกในฤดูนาปี พ.ศ.2552/53 – พ.ศ.2554/55 จากเกษตรกรที่ปลูกข้าวหอมมะลินิธิย์ในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ จำนวน 63 ตัวอย่างและเกษตรกรที่ปลูกข้าวหอมมะลิที่ใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ จำนวน 88 ตัวอย่าง และใช้ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจวัดอากาศกรมอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลฝนจากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำฝนสถานี 432301 จังหวัดสุรินทร์ มาทำการศึกษาค่าต่างๆด้วยโปรแกรม ETo Calculator v.3.1 จาก FAO จากนั้นทำการศึกษาหาค่าอเวอเตอร์พุตปริ้นท์ของเกษตรกรแต่ละราย ด้วยแบบจำลองที่เขียนขึ้นจาก Microsoft Excel เพื่อทำการหาค่าอเวอเตอร์พุตปริ้นท์ของข้าวหอมมะลินิธิย์และข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลในระดับประเทศหรือระดับโลกจากนักวิจัยท่านอื่นๆ ต่อไป

ในการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม ETo Calculator โดย (FAO, 2009) (ภาพที่ 12) เพื่อคำนวณหาค่าการคายระเหยอ้างอิง (ET_o) ของพืชในช่วงปี พ.ศ.2552 – พ.ศ.2553 โดยใช้สมการ Penman-Monteith (The ETo Calculator, 2009) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณโดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในการคำนวณ เช่น อุณหภูมิค่าสุด อุณหภูมิสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และจำนวนชั่วโมงแสงแดดรายวัน (ภาพที่ 13) ซึ่งสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สรุปข้อมูลในการทำวิจัย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์ในพื้นที่ จ.สุรินทร์

ข้อมูล	พ.ศ.	สถานีตรวจวัด	ที่มา
1.อุณหภูมิต่ำสุด	2552-54	432301	กรมอุตุนิยมวิทยา
2.อุณหภูมิสูงสุด	2552-54	432301	กรมอุตุนิยมวิทยา
3.ความชื้นสัมพัทธ์	2552-54	432301	กรมอุตุนิยมวิทยา
4.ความเร็วลม	2552-54	432301	กรมอุตุนิยมวิทยา
5. K_c ข้าวหอมมะลิ 105	-	-	กรมชลประทาน
6.ข้อมูลปริมาณน้ำฝน	2552-54	432301	กรมอุตุนิยมวิทยา
		432201	กรมอุตุนิยมวิทยา
7.ข้อมูลแผนที่ชุดที่ดิน	-	-	กรมพัฒนาที่ดิน
8.การเพาะปลูกข้าว	2552-54	-	ศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์
8.1 พันธุ์ข้าว			
8.2 วันที่ปลูก/เก็บเกี่ยว			
8.3 ผลผลิต (กก./ไร่)			
8.4 พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)			
8.5 ปริมาณปุ๋ยที่ใช้			



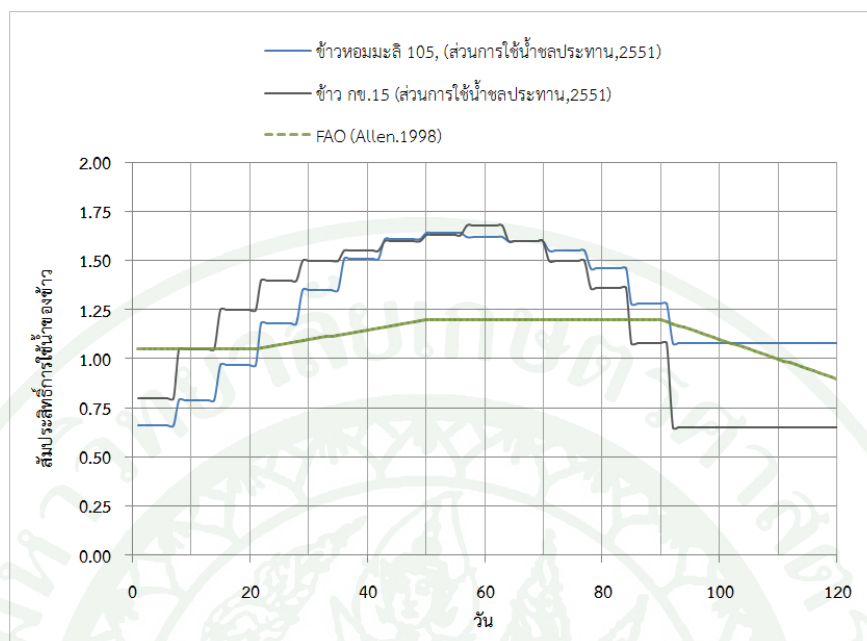
ภาพที่ 12 แสดงโปรแกรม ETo Calculator

ที่มา: FAO (2009)

ภาพที่ 13 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในโปรแกรม ETo Calculator

ที่มา: FAO (2009)

ในการศึกษานี้ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ของข้าวหอมมะลิ 105 ของกรมชลประทาน (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน, 2551) เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานที่ได้มีการศึกษาในประเทศไทย และตรงกับสายพันธุ์ข้าวที่ใช้ศึกษา หากเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ของข้าว กข.15 (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน, 2551) ที่ใช้ในการศึกษาของโครงการส่งน้ำฯ โลกกระเทียม ชีระวัฒน์ (2555) และข้าวของ FAO โดย Allen (1998) ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่า K_c ของ FAO มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.20 ค่าเฉลี่ยตลอดการเพาะปลูกเท่ากับ 1.12 ต่ำกว่าข้าวหอมมะลิ 105 ที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.64 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.31 และต่ำกว่าข้าว กข.15 ที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.68 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.33 อีกทั้งข้าวของ FAO มีช่วงระยะเวลาการเพาะปลูกประมาณ 150-180 วันยาวนานกว่าของกรมชลประทานที่มีช่วงเวลาเพาะปลูก 14 สัปดาห์ไม่รวมเตรียมแปลง จากข้อมูลเบื้องต้นทำให้ทราบว่า หากใช้ค่า K_c ของ FAO จะส่งผลต่อการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับข้าวในประเทศไทยไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง เนื่องจากค่า K_c ที่ต่ำกว่า และช่วงเวลาการเพาะปลูกที่ยาวนานกว่า อย่างไรก็ตามจากข้อมูลการเพาะปลูกพบว่าเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา ปลูกข้าวยาวนานกว่า 14 สัปดาห์ไม่รวมเตรียมแปลง ดังนั้นจึงสมมติให้ช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นใช้ค่า K_c ค่าสุดท้าย 1.08 ของกรมชลประทานต่อไปจนถึงวันเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 สัมประสิทธิ์พืช (K_c) ของข้าวหอมมะลิ 105, กข.15 กรมชลประทาน (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน, 2551) เปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ของข้าว FAO

ที่มา: Allen (1998)

ตารางที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ของข้าวหอมมะลิ 105

สัปดาห์ที่	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าว Penman-Monteith		
	ข้าวหอมมะลิ 105	ข้าว กข.15	ข้าว. FAO
1	0.66	0.80	1.05
2	0.79	1.05	1.05
3	0.97	1.25	1.05
4	1.18	1.40	1.06
5	1.35	1.50	1.09
6	1.51	1.55	1.13
7	1.61	1.60	1.16
8	1.64	1.63	1.20
9	1.62	1.68	1.20
10	1.60	1.60	1.20
11	1.55	1.50	1.20
12	1.46	1.36	1.20
13	1.28	1.08	1.20
14	1.08	0.65	1.18
15			1.11
16			1.04
17			0.97
เฉลี่ย	1.31	1.33	1.12

ที่มา: Allen (1998)

วิธีการคำนวณสมดุลน้ำในแปลงนา

การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์ ในแต่ละฤดูเพาะปลูกทั้งข้าวนาปี 2552/53 – 2554/55 ใช้ข้อมูลจากเกษตรกรที่ปลูกข้าวในพื้นที่จริงของพื้นที่จังหวัด โดยใช้ข้อมูลจากศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์ ได้เก็บตัวอย่างเกษตรกรที่ปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์ ที่อยู่ในเขตพื้นที่ชลประทาน ฤดูนาปี 2552/53 จำนวน 18 ราย ฤดูนาปี 2553/54 จำนวน 21 ราย ฤดูนาปี 2554/55 จำนวน 24 ราย นอกเขตพื้นที่ชลประทานฤดูนาปี 2552/53 จำนวน 24 ราย และตัวอย่างข้อมูลจากเกษตรกรที่ปลูกข้าวหอมมะลิที่ใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ฤดูนาปี 2552/53 จำนวน 26 ราย ฤดูนาปี 2553/54 จำนวน 30 ราย ฤดูนาปี 2554/55 จำนวน 32 ราย บริเวณพื้นที่เพาะปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์และขอบเขตพื้นที่ชลประทาน พื้นที่จังหวัดสุรินทร์ ฤดูนาปี 2552/53 (ภาพที่ 15) โดยพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์

ความต้องการน้ำเพื่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่ต้องสูญเสียไป 4 ทางด้วยกัน 1. คือการคายระเหยของพืช (Evapotranspiration) 2. การไหลออกก้นดินแบบน้ำท่าผิวดิน (Runoff) 3. การซึมลงไปในดิน (Percolation) 4. การซึมในแนวราบหรือด้านข้าง (Seepage) ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพและชนิดของดิน สภาพความลึกของชั้นดินและระดับน้ำใต้ดิน เช่น ดินเหนียวและมีระดับน้ำใต้ดินตื้นจะมีการสูญเสียน้ำประมาณวันละ 1-2 มม. (วิบูลย์, 2526)

ในการศึกษาได้กำหนดค่าความสูงของระดับคันดินในเขตพื้นที่ชลประทาน 40 ซม. และระดับคันดินนอกเขตพื้นที่ชลประทาน 50 ซม. ระดับน้ำในแปลงนาให้มีค่าสูงสุด (Max) ได้ไม่เกิน 0.5 ของความสูงต้นข้าว ถ้าระดับน้ำสูงสุดเกิน 40 ซม. และระดับน้ำสูงสุดเกิน 50 ซม. สำหรับคันดินนอกเขตพื้นที่ชลประทาน ให้ถือว่าเป็นน้ำส่วนเกินเป็น Run Off ออกจากแปลงนา พื้นที่ส่วนระดับน้ำต่ำสุด (Min) ในแปลงนากำหนดให้ไม่น้อยกว่า 0.25 ของความสูงต้นข้าว ถ้าระดับน้ำในแปลงนาลดต่ำกว่าค่า Min ต้องทำการเติมน้ำลงในแปลงนาให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของข้าวและหากระดับน้ำในแปลงนาเท่ากับศูนย์จึงจะทำสมดุลน้ำในเขตรากพืช

ข้อมูลจากภาคสนาม

จากข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่ภาคสนามนำมาศึกษาได้ดังนี้ เกษตรกรในพื้นที่ชลประทานส่วนใหญ่ใช้วิธีการเพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านนํ้าตม ส่วนเกษตรกรนอกพื้นที่ชลประทานใช้วิธีการเพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้ง พันธุ์ข้าวที่ทำการเพาะปลูกเป็นพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 ความสูงต้นข้าวประมาณ 90 – 110 ซม. มีอายุเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 110 - 120 วัน ซึ่งจะออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคม และเก็บเกี่ยวประมาณวันที่ 20 พฤศจิกายน ซึ่งในการเพาะปลูกแต่ละฤดูเพาะปลูกในพื้นที่ศึกษา จากข้อมูลพฤติกรรมกรรมการเพาะปลูกทำให้ได้ขั้นตอนในการคิดคำนวณการใช้นํ้าเพื่อการเพาะปลูก ดังนี้

พื้นที่เขตชลประทาน

-ระยะเวลาในการเตรียมแปลง 7 วัน หรือ 1 สัปดาห์ โดยให้ใช้นํ้าในการเตรียมแปลง 200 มม.(กรมชลประทาน,2550)

-เริ่มหว่านเมล็ดพันธุ์ลงแปลงนาในวันที่ 8 โดยทิ้งไว้หนึ่งวันในวันที่ 9 ทำการปล่อยนํ้าออกจากแปลงนาเพื่อไม่ให้เมล็ดข้าวที่หว่านลงไปเกิดการเน่าเสีย ซึ่งสมมติให้นํ้าคงเหลืออยู่เล็กน้อยบนผิวดิน

-เมื่อต้นข้าวเริ่มงอกมีความสูงประมาณ 10-15 ซม. เกษตรกรก็จะเริ่มทำการสูบน้ำเข้านาอีกครั้ง โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาการสูบน้ำเข้านาคือการรักษาระดับนํ้าในแปลงนาให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับอายุและการเจริญเติบโตของต้นข้าว

-เมื่อเห็นว่าปริมาณนํ้าในแปลงนาเริ่มลดลงน้อยกว่า 1 ใน 4 ของความสูงต้นข้าวตลอดช่วงการเจริญเติบโต โดยการศึกษานี้ได้กำหนดให้ระดับนํ้าในแปลงนาต้องมีค่าต่ำสุดไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของความสูงของต้นข้าว ซึ่งถ้าระดับนํ้าในแปลงนาต่ำกว่า 1 ใน 4 ของความสูงต้นข้าว ให้เติมนํ้าชลประทานเข้าไปในแปลงนาได้สูงสุดไม่เกิน 1 ใน 2 ของความสูงต้นข้าว

-ระดับคันนาเฉลี่ยประมาณ 40 ซม. โดยถ้าระดับน้ำในแปลงนาสูงกว่า 40 ซม. ถือว่าเป็นน้ำล้นคันดินออกจากแปลงนาตลอดช่วงการเจริญเติบโต

-ก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 7 วัน จะทำการปล่อยน้ำทั้งหมดออกจากแปลงนาเพื่อเตรียมการเก็บเกี่ยวผลผลิต

พื้นที่นอกเขตชลประทาน

-ระยะเวลาในการเตรียมแปลง 7 วัน หรือ 1 สัปดาห์ โดยกำหนดให้ใช้น้ำในการเตรียมแปลงในฤดูนาปีเท่ากับศูนย์

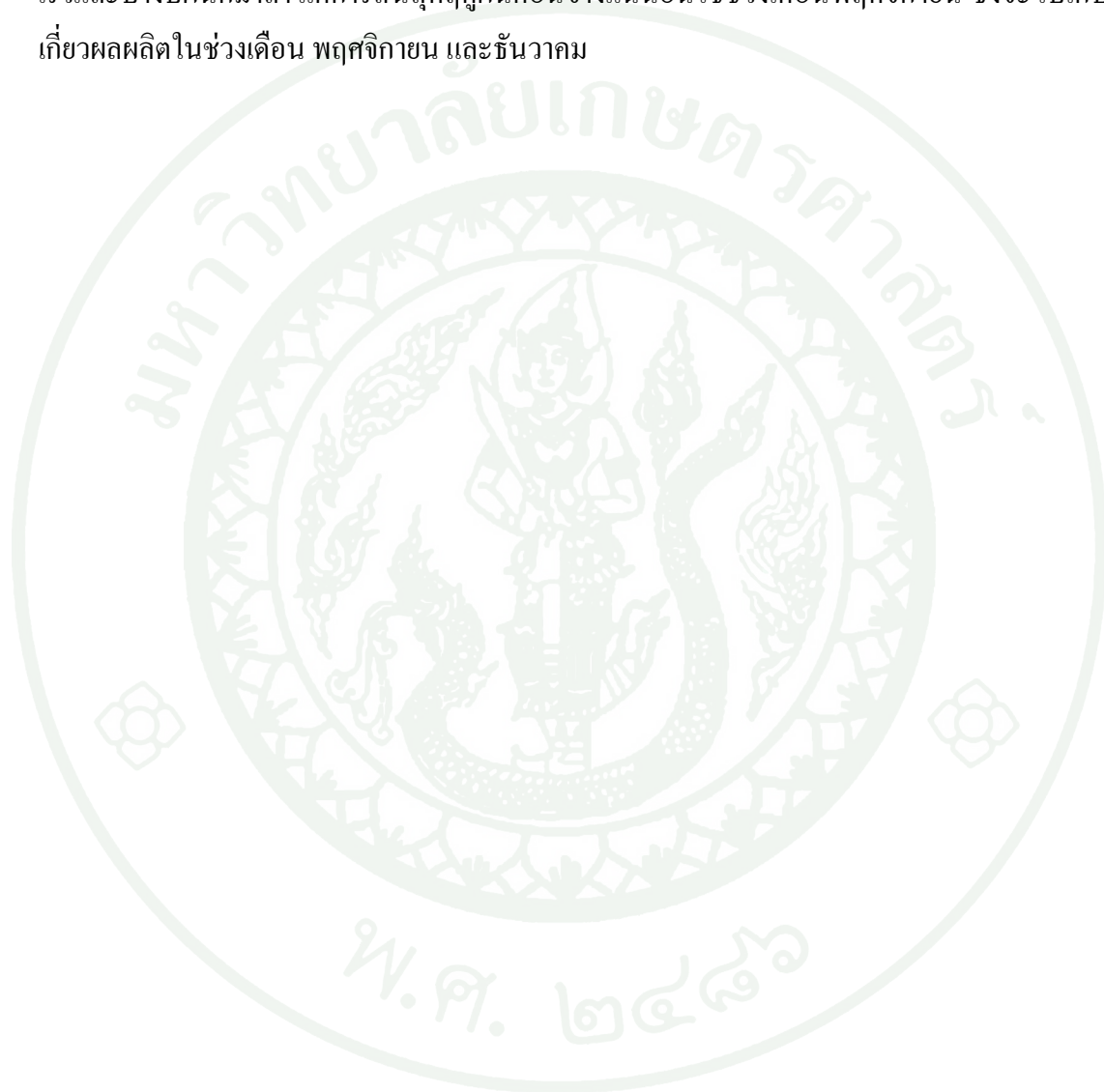
-เริ่มหว่านเมล็ดพันธุ์แห้ง หรือใช้เครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์ลงแปลงนาในวันที่ 8 โดยทิ้งไว้หนึ่งวัน ไม่มีเงื่อนไขในการพิจารณาสูบน้ำเข้าแปลงนา เนื่องจากอยู่ภายนอกเขตพื้นที่ชลประทาน แต่จะพิจารณาระดับน้ำในแปลงนาให้อยู่ในระดับน้ำที่เหมาะสมกับอายุและการเจริญเติบโตของต้นข้าว

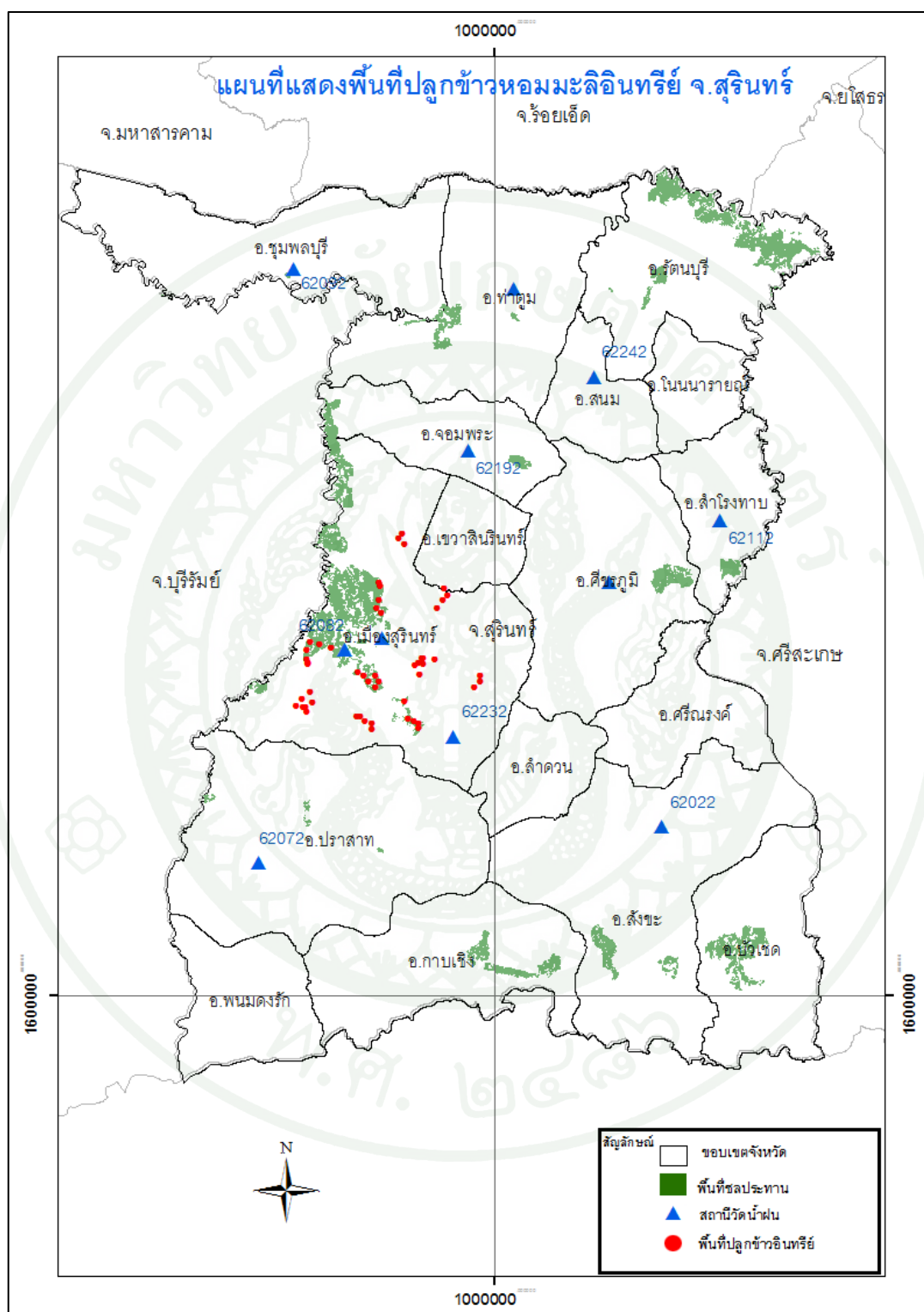
-ระดับคันนาเฉลี่ยประมาณ 50 ซม. เพื่อเพิ่มปริมาณเก็บกักน้ำในแปลงนา โดยถ้าระดับน้ำในแปลงนาสูงกว่า 50 ซม. ถือว่าเป็นน้ำล้น (Runoff) คันดินออกจากแปลงนาตลอดช่วงการเจริญเติบโต

-ก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 10 วัน จะทำการปล่อยน้ำทั้งหมดออกจากแปลงนาเพื่อเตรียมการเก็บเกี่ยวผลผลิต

ช่วงเวลาการเพาะปลูกข้าวที่ไวต่อช่วงแสงจะปลูกในฤดูนาปี เพราะในฤดูนาปรังกลางวันมีความยาวกว่า 12 ชั่วโมง เดือนที่มีกลางวันสั้นที่สุด ได้แก่ เดือนธันวาคม และเดือนที่มีกลางวันยาวที่สุด ได้แก่ เดือนมิถุนายน ความยาวของกลางวันจะเริ่มสั้นจนมากพอที่จะทำให้ข้าวพวกไวแสงออกดอกได้นั้น คือ วันในเดือนกันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม ข้าวที่มีความไวน้อยต่อช่วงแสงจะออกดอกในเดือนกันยายน ตุลาคม ซึ่งเรียกว่า ข้าวเบา ข้าวที่ออกดอกในเดือนพฤศจิกายน เรียกว่า ข้าวกลาง และข้าวที่ออกดอกในเดือนธันวาคม เรียกว่า ข้าวหนัก ด้วยเหตุนี้ ข้าวพวกไวต่อ

ช่วงแสงจะออกดอกในเดือนดังกล่าวเท่านั้น ไม่ว่าจะปลูกในเดือนอะไรก็ตาม ข้าวไวต่อช่วงแสงจะออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันที่ต้องการเท่านั้น ข้าวพวกไวแสงจึงมีประโยชน์สำหรับบางพื้นที่ เช่นจังหวัดต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีฝนตกไม่สม่ำเสมอ บางปีฝนมาเร็วและบางปีฝนก็มาล่า แต่การสิ้นสุดฤดูฝนค่อนข้างแน่นอนในช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งจะไปเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือน พฤศจิกายน และธันวาคม





ภาพที่ 15 แผนที่พื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์ ฤดูนาปีพ.ศ.2552/53

ประเภทดิน

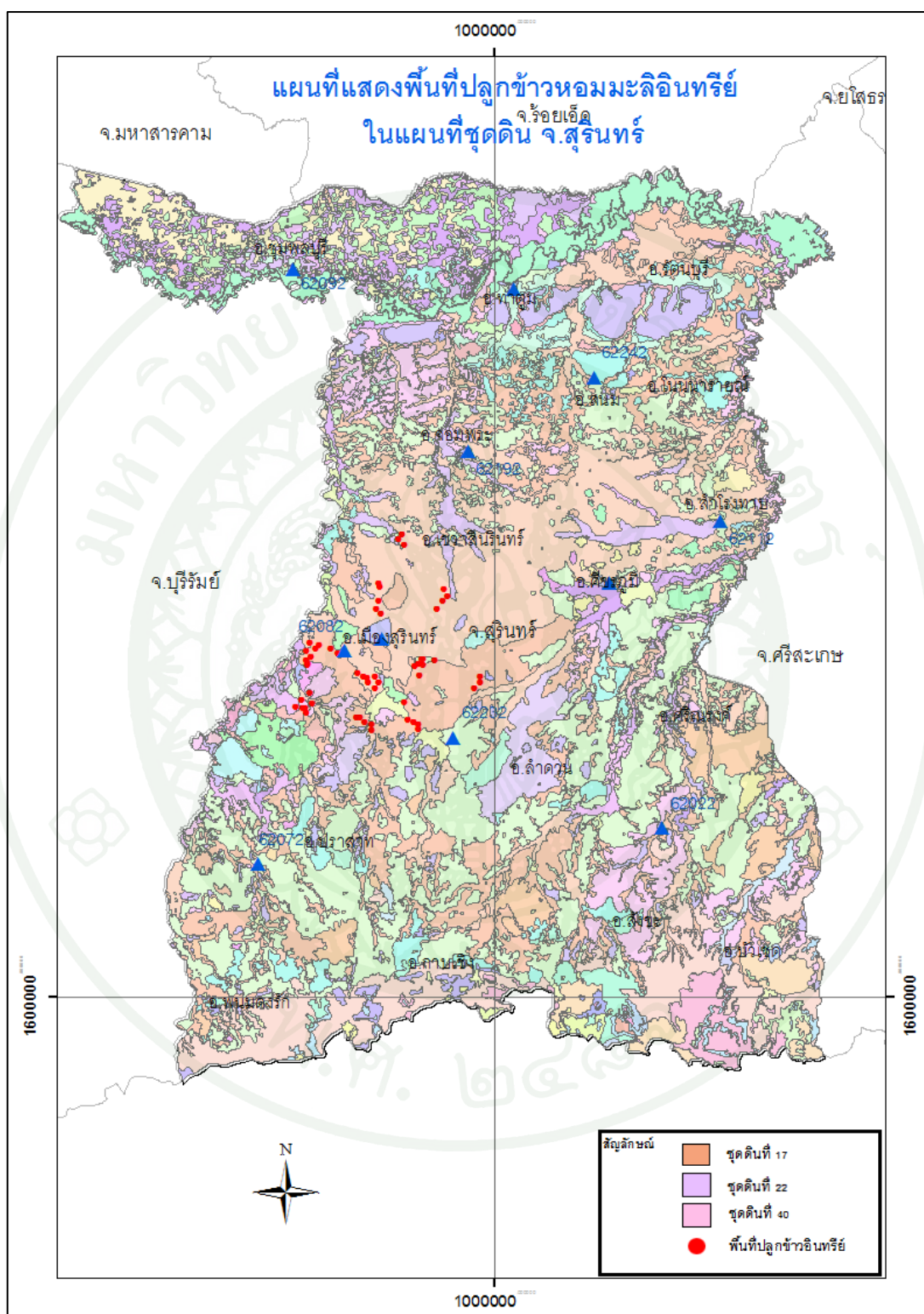
ประเภทของดินในพื้นที่ศึกษาได้ใช้ข้อมูลจากข้อมูลแผนที่ชุดดิน (กรมพัฒนาที่ดิน) สำหรับการหาความชื้นในดินทั้งหมดที่ใช้การได้ (total available soil moisture, มม./ม.) และสำหรับตัวแปรอื่นๆ ได้ใช้ข้อมูลจาก FAO. No.56 โดยชุดดินที่พบในพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์นั้น (ภาพที่ 16) ส่วนมากพบดังนี้

กลุ่มชุดดินที่ 17 เนื้อ ดินบนเป็นพวกดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนสีน้ำตาล, น้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียว มีสีน้ำตาลอ่อน , สีเทาอ่อน, สีเทาปนชมพู พบจุดประพอกสีน้ำตาลปนเหลือง สีแดงปนเหลืองหรือสีแดงปะปน บางแห่งอาจพบศิลาแลงอ่อน หรือก้อนสารเคมีพวกเหล็กและแมงกานีสในดินชั้นล่าง

กลุ่มชุดดินที่ 22 หน่วย ที่ดินเป็นกลุ่มชุดดินที่มีเนื้อดินเป็นพวกดินร่วนปนทราย ดินทรายเป็นดินร่วนสีพื้นเป็นสีเทาหรือน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง หรือสีเหลืองปนน้ำตาลอ่อน และอาจพบศิลาแลงอ่อนในดินชั้นล่าง

กลุ่มชุดดินที่ 40 เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนปนทราย ดินสีน้ำตาลอ่อน สีเหลืองหรือแดง บางแห่งอาจพบจุดประสีในดินชั้นล่าง เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดพวกตะกอนลำนํ้าหรือจากการสลายตัวผู้พังของหินเนื้อหยาบ พบบริเวณพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ จนถึงพื้นที่ลาดเชิงเขา

การศึกษานี้จึงเลือกประเภทดินเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) ซึ่งจะได้ค่าความยาวรากพืชมากที่สุด (maximum rooting depth, ซม.) เท่ากับ 50 ซม.(FAO.No.56 pp. 164) อัตราน้ำฝนที่ซึมลงสู่ดินสูงสุด (maximum rain infiltration rate, มม. /วัน) เท่ากับ 1 มม. /วัน (วารสารข้าวเกษตรชลประทาน ปีที่ 15 ฉบับที่ 57, 2554) ค่าเริ่มต้นการซึ่มลึกในดิน (initial soil moisture depletion, %) เท่ากับ 0% และระดับการขาดน้ำ (depletion, %) ตั้งแต่เริ่มต้นช่วงการเจริญเติบโตจนถึงระยะเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.33



ภาพที่ 16 แสดงพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์ ในแผนที่ข้อมูลชุดที่ดิน ฤดูนาปี พ.ศ.2552/53

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ทั้งหมด (Total water footprint, WF_{total}) คำนวณจากผลรวมของบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{blue}) กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{green}) และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{grey}) ดังในสมการ (1)

บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{blue}) คำนวณได้จากปริมาณน้ำที่พืชใช้ (crop water use, CWU_{blue}) (หน่วยลบ.ม./ไร่) โดยเป็นน้ำจากระบบชลประทาน หารด้วยผลผลิตของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ (yield, Y) (หน่วย ตัน/ไร่) ดังในสมการ (2)

กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{green}) คำนวณได้จากปริมาณน้ำที่พืชใช้ (crop water use, CWU_{green}) (หน่วยลบ.ม./ไร่) โดยเป็นน้ำที่มาจากน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ หารด้วยผลผลิตของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ (yield, Y) (หน่วย ตัน/ไร่) ดังในสมการ (2)

สำหรับเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ นั้นคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางน้ำเสียให้มีความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ โดยใช้มาตรฐานของแม่น้ำลำคลองและคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำประเภท 2 โดยกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกำหนดให้มีปริมาณไนเตรด (NO_3) ในน้ำในหน่วยไนโตรเจน ต้องมีค่าไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังสมการที่ (3) การตรึงไนโตรเจนทางชีววิทยา แบคทีเรียไนโซเบียมในปมรากถั่วจับก๊าซไนโตรเจนในอากาศจึงเรียกไนโซเบียมว่า Nitrogen fixing bacteria และเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนเป็นเกลือแอมโมเนียม (NH_4^+) จากนั้นแบคทีเรียในดิน (Nitrifying bacteria) ทำหน้าที่เปลี่ยน NH_4^+ เป็นสารประกอบไนไตรต์ (NO_2^-) และเปลี่ยนสารประกอบไนไตรต์ (NO_2^-) เป็นสารประกอบไนเตรด (NO_3^-) ซึ่งพืชดูดซึมนำไปใช้ในการสร้างโปรตีนต่อไป สัตว์กินพืช สัตว์ก็จะนำไปใช้ในการสร้างโปรตีนในสัตว์ เมื่อพืชและสัตว์ตายลง ซากพืชซากสัตว์และสิ่งขับถ่ายจะถูกแบคทีเรีย (Decomposing bacteria) ย่อยสลายเป็นสารประกอบไนเตรด (NO_3^-) จึงเลือกใช้ไนเตรด (NO_3^-) ในน้ำในหน่วยไนโตรเจน ต้องมีค่าไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แทน แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจนที่มีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นได้จากข้อมูลการเพาะปลูกในพื้นที่จริงจากเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองการใช้น้ำ สมดุลน้ำ และการหาค่าวอเตอร์ฟุต

ปรี้นท์ ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ดังในภาพที่ 17 เพื่อคำนวณหาตัวอรรถพื้ตปรี้นท์ของ
เกษตรกรแต่ละราย

Irrigation and non-irrigation scheduling to calculate water footprint

Input ประเภทดิน	Averaged value of Sandy Loam in FAO 56	
total available moisture ($\theta_{FC} - q_{WP}$)	130	Sandy Loam in FAO 56 (0.11-0.15 m ³ /m ³)
maximum rain infiltration rate	1	(กรมชลประทาน)
maximum rooting depth = Averaged value of rice in	50	Zr,max (No use for now)
Initial soil moisture depletion (% TAM)	0	0 means Dr,o = 0; 100 means Dr,o = TAM
Input Crop Properties	ในเขตชลประทาน	
	นาปี	
Stage (land preparation)	7	day
Stage (initial)	20	day
Stage (development)	40	day
Stage (mid-season)	30	day
Stage (late season)	30	day
Stage (total)	120	day
Rooting depth (initial)	0.05	m
Rooting depth (mid-season)	0.5	m
ความสูงพืช (init-develop)	0.15	m
ความสูงพืช (develop-mid)	1	m
p (initial)	0.33	FAO Table.22 P.164 =0.2
p (mid-season)	0.33	Povosity Sandy-Loam = 0.38
p (late season)	0.33	
น้ำเตรียมแปลง	200	mm (กรมชลประทาน)
max น้ำในแปลงนา	0.5	ของความสูงพืช
min น้ำในแปลงนา	0.25	ของความสูงพืช
ปล่อยน้ำออก จะเหลือน้ำ	20	mm
ระยะเวลาช่วงปล่อยน้ำออกหมดหลังจากวัน 1 วัน	7	day
ระยะเวลาช่วงปล่อยน้ำออกหมดให้ดินแห้งก่อนเก็บเกี่ยว	10	day
คันดินของแปลงนา	400	mm
มาตรฐานของแม่น้ำลำคลองและคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำประเภท 2 โดยกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี		
ไนเตรด (NO ₃) ในน้ำในหน่วยไนโตรเจน ต้องมีค่าไม่เกิน	5	
% leaching	10	

ภาพที่ 17 แสดงค่าพารามิเตอร์เพื่อคำนวณหาตัวอรรถพื้ตปรี้นท์

สถานที่และระยะเวลาการวิจัย

สถานที่

พื้นที่ศึกษา จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก 2552/53 เป็นพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์นอกเขตชลประทาน จำนวน 28 ตัวอย่าง พื้นที่ 293 ไร่ ในเขตชลประทาน จำนวน 18 ตัวอย่าง พื้นที่ 274 ไร่ และพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยแบบผสม จำนวน 26 ตัวอย่าง พื้นที่ 425 ไร่ ฤดูกาลเพาะปลูก 2553/54 เป็นพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์ในเขตชลประทาน จำนวน 21 ตัวอย่าง พื้นที่ 317 ไร่ และพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยแบบผสม จำนวน 30 ตัวอย่าง พื้นที่ 487 ไร่ ฤดูกาลเพาะปลูก 2554/55 เป็นพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์ในเขตชลประทาน จำนวน 24 ตัวอย่าง พื้นที่ 353 ไร่ และพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยแบบผสม จำนวน 32 ตัวอย่าง พื้นที่ 521 ไร่

การวิเคราะห์ข้อมูลได้ดำเนินการที่ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และศูนย์ปฏิบัติการจัดสรรน้ำ ส่วนบริหารจัดการน้ำ สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน

ระยะเวลาทำการวิจัย

การวิจัยใช้ระยะเวลาประมาณ 11 เดือน เริ่มตั้งแต่ธันวาคม พ.ศ. 2556 ถึงตุลาคม พ.ศ. 2557

ผลและวิจารณ์

การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน

ในการศึกษานี้ได้ทำการคำนวณแยกเป็นการเปรียบเทียบสองกรณี ตัวอย่างได้แก่ การปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์ในเขตพื้นที่ชลประทานได้รับน้ำสมบูรณ์เปรียบเทียบกับพื้นที่ปลูกข้าวซึ่งอยู่นอกเขตชลประทาน ในฤดูนาปี 2552/53 และการปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์เปรียบเทียบกับการปลูกข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ในฤดูนาปี 2552/53 -2554/55 ดังในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์ในการหาค่าอัตรารีดปรินท์ จ.สุรินทร์

พันธุ์ข้าว	พื้นที่เพาะปลูก	การใส่ปุ๋ย	ฤดูกาลเพาะปลูก (จำนวนตัวอย่าง)	ระยะเวลา
ข้าวหอมมะลิ (105)	ในเขตชลประทาน	อินทรีย์	52(18),53(21),54(24)	นาปี
	นอกเขตชลประทาน	เคมี + อินทรีย์	52(26),53(30),54(32)	(ก.ค.-พ.ย.)
	นอกเขตชลประทาน	อินทรีย์	52(24)	

ผลผลิตของข้าวหอมมะลินทรีย์ในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ในช่วงปี พ.ศ.2552-2554 ทั้งพื้นที่ในเขตและนอกเขตชลประทาน และการใช้ปุ๋ยแบบอินทรีย์และแบบผสม ดังในตารางที่ 15 พบว่าผลผลิตข้าวหอมมะลินทรีย์เฉลี่ยต่อไร่ในเขตชลประทาน มีค่ามากกว่านอกเขตชลประทานประมาณ 4.53 % และการปลูกข้าวแบบใช้ปุ๋ยผสมมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่มากกว่าการปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์นอกเขตชลประทาน 10.10 % และมากกว่าการปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์ในเขตชลประทาน 5.34 % จากข้อมูลผลผลิตยังพบอีกว่าผลผลิตต่อไร่ของการปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์และแบบใช้ปุ๋ยผสมมีผลผลิตเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.69 % และ 1.60 % ตามลำดับ และเป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราการเพิ่มผลผลิตในช่วงระยะเวลา 3 ฤดูกาลเพาะปลูก การใช้ปุ๋ยแบบผสมมีอัตราการเพิ่มผลผลิตเฉลี่ยได้มากกว่าข้าวหอมมะลินทรีย์

ตารางที่ 15 ผลผลิตเฉลี่ย กก./ไร่ แต่ละฤดูกาลผลิตของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์

ปีผลผลิต	หน่วย	จ.สุรินทร์ ⁽¹⁾			จ.ลพบุรี ⁽²⁾		ข้าวไทย ⁽³⁾	ข้าวโลก ⁽³⁾	
		ข้าวหอมมะลิ (105)			สุพรรณบุรี 1,ชัยนาท 1,ปทุมธานี				
					80				
		นอกเขตชลประทาน		ในเขตชลประทาน		โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา			
		อินทรีย์	อินทรีย์	เคมี+อินทรีย์	โคกกระเทียม				
2552/53	(กก./ไร่)	347	360	374	762	416	718		
2553/54	(กก./ไร่)	-	362	385	-	-	-		
2554/55	(กก./ไร่)	-	365	386	-	-	-		
ผลผลิตเฉลี่ย	(กก./ไร่)	347	362	382	762	416	718		

หมายเหตุ : (1) งานวิจัยปัจจุบัน

: (2) ชีระวัฒน์ ธรรมนิยม , (2555)

: (3) Chapagain and Hoestra , (2010)

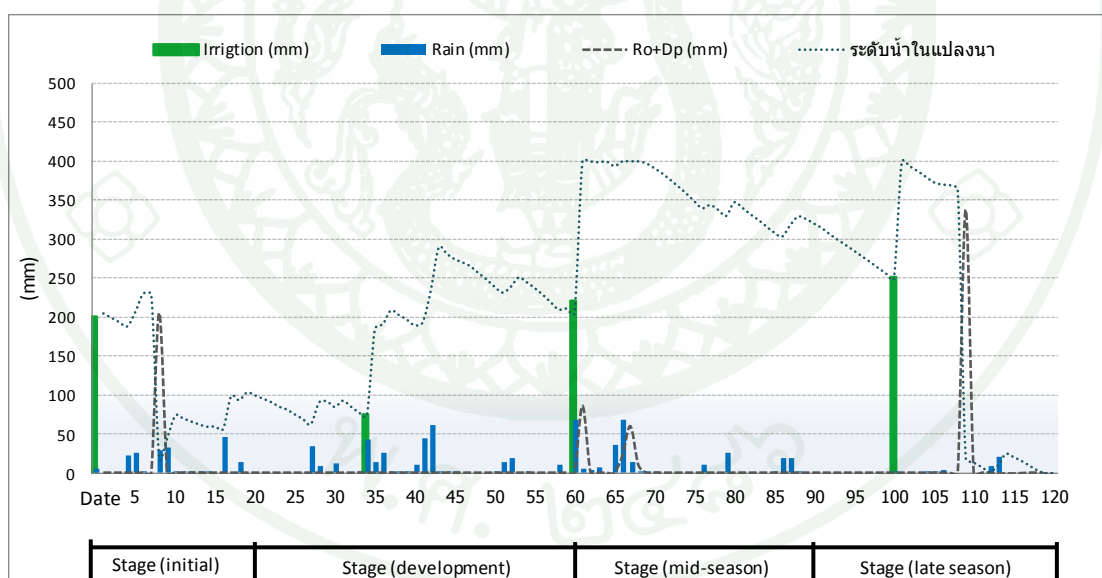
เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวหอมมะลินทรีย์กับค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวเปลือกของประเทศไทย ซึ่งมีค่า 416 กก./ไร่ (Chapagain and Hoestra, 2010) พบว่าข้าวหอมมะลินทรีย์มีค่าผลผลิตน้อยกว่า 17.35 % และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลผลิตเฉลี่ยข้าวหอมมะลินทรีย์กับผลผลิตข้าวของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม ซึ่งมีผลผลิต 762 กก./ไร่ (ธีระวัฒน์ , 2555) พบว่าผลผลิตต่างกันราว 2 เท่า สาเหตุส่วนหนึ่งอาจเกิดจากพันธุ์ข้าวที่ใช้เปรียบเทียบ โดยพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งข้าวที่ปลูกในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียมเป็นข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ใช้น้ำ 1 และปลูกหนาแน่น 80 ซึ่งล้วนเป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง พันธุ์เตี้ย สูง 70-80 ซม. ผลผลิตประมาณ 750-800 กก./ไร่ (องค์ความรู้เรื่องข้าวกรรมกรข้าว) ดังนั้นจึงให้ผลผลิตที่มากกว่าอย่างชัดเจนตามสายพันธุ์ของข้าว

จากปัญหาผลผลิตต่อไร่ของข้าวหอมมะลิ 105 ที่มีผลผลิตค่อนข้างต่ำนั้น ในงานวิจัยของบุญหงส์ จงจิตและวุฒิชัย แดงทอง (2557) ซึ่งวิจัยเสถียรภาพของการให้ผลผลิตของสายพันธุ์กลายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งใช้การฉายรังสีแกมมา ความเข้มข้น 20 กิโลเรด และคัดเลือกสายพันธุ์กลายที่มีลักษณะดี ไม่มีความไวต่อช่วงแสง ลำต้นเตี้ย และมีอายุเก็บเกี่ยวสั้น และสามารถให้ผลผลิตต่อไร่ทั้งในสภาพนาไร่และนาดำที่ 622.4 และ 750 กก./ไร่ ซึ่งเป็นวิธีเดียวกับการปรับปรุงพันธุ์ข้าว กข.15 แตกต่างกันที่ปริมาณรังสีแกมมาที่ฉายในเมล็ดพันธุ์ข้าวข้าวหอมมะลิ 105 ชักนำไปเกิดการกลายพันธุ์ โดยการฉายรังสีแกมมา 15 กิโลเรด ซึ่งทำให้มีผลผลิตโดยเฉลี่ยแล้วอยู่ที่ 560 กก./ไร่ (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว) พันธุ์ข้าวและความไวต่อช่วงแสงจึงมีส่วนส่งผลต่อปริมาณผลผลิตข้าวจากการศึกษาของ Motomura et al. (1979) พบว่า ข้าวตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนได้ดีระหว่างอัตรา 12 – 18 กก./ไร่ จากการศึกษาพบว่าข้าวหอมมะลินทรีย์มีไนโตรเจนเฉลี่ย 11.80 กก./ไร่ น้อยกว่าปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวต้องการ ในงานวิจัยตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่จำหน่ายในพื้นที่ภาคกลาง 82% (กัญจน์กรวลัย ฤทธิ์เรืองเดช , 2554) ไม่ผ่านมาตรฐานร้อยละของอินทรีย์วัตถุ และปุ๋ยอินทรีย์ทุกตัวอย่างมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ไม่ผ่านมาตรฐาน ซึ่งคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดที่ไม่ผ่านมาตรฐาน อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อผลผลิตของข้าวหอมมะลินทรีย์ สำหรับการปลูกข้าวแบบใช้ปุ๋ยผสมมีไนโตรเจนเฉลี่ย 20.44 กก./ไร่ ซึ่งพบว่าเกษตรกรบางรายยังมีอัตราการใช้ปุ๋ยที่มากเกินไปจนความจำเป็น การใส่ปุ๋ยไม่เหมาะสมกับดินและไม่ตรงตามความต้องการของพืช จึงเป็นปัญหาสำคัญของการผลิต

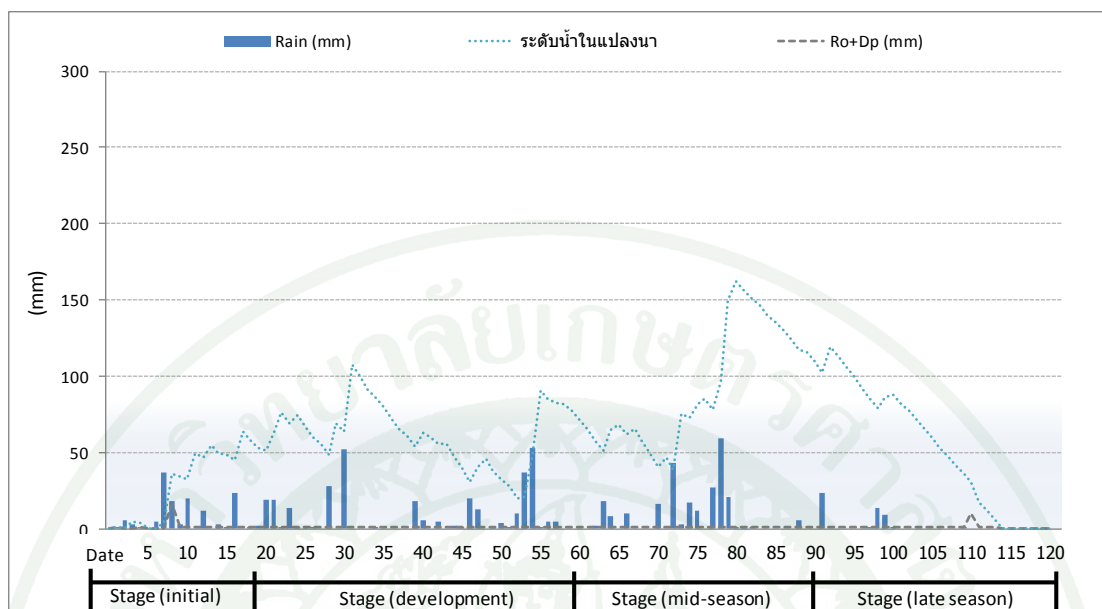
ผลการวิเคราะห์สมดุลน้ำ

การใช้น้ำในการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในฤดูเพาะปลูก พ.ศ.2552/53 ในเขตชลประทานพบว่า การใช้น้ำในช่วงฤดูนาปีวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์การใช้น้ำในการเพาะปลูกได้ดังในภาพที่ 18 จากการศึกษาพบว่ามีความต้องการใช้น้ำของพืชฤดูเพาะปลูก พ.ศ.2552/53 รวม 638.17 มม. และมีการใช้น้ำจากระบบชลประทาน เพื่อทำการเพาะปลูกข้าวรวม 746.67 มม. มีการปล่อยน้ำออกจากแปลงนา รวม 813.42 มม. มีการรั่วซึม 114.45 มม.

มีการใช้น้ำจากระบบชลประทานน้อยเนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวเนื่องจากมีปริมาณฝนตกในพื้นที่ค่อนข้างมากจนบางครั้งต้องมีการปล่อยน้ำออกจากแปลงนาเนื่องจากปริมาณน้ำในแปลงมากเกินไปเกินความต้องการและมีการเติมน้ำในแปลงนาเพียง 3 ครั้ง ในปริมาณที่แตกต่างกันไปตามปริมาณน้ำต้นทุนเดิมที่มีอยู่ในแปลงนา เพื่อรักษาระดับน้ำให้พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าว

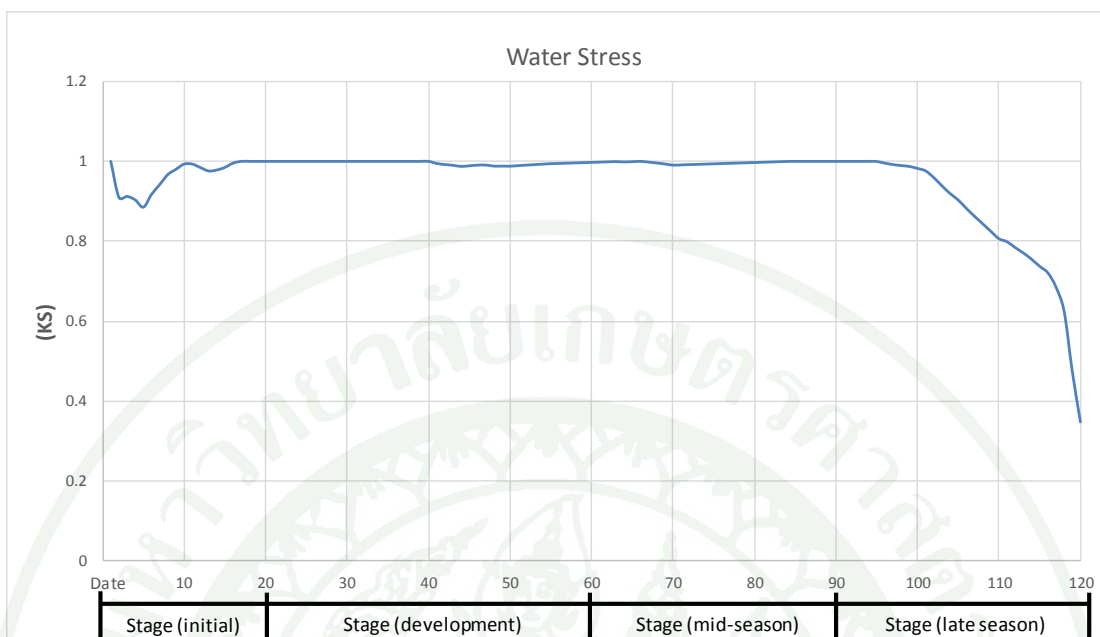


ภาพที่ 18 ผลสมดุลน้ำในแปลงนาของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์ ในเขตชลประทาน พ.ศ.2552/53



ภาพที่ 19 ตัวอย่างสมดุลน้ำในแปลงนาของข้าวหอมมะลินิธิย์ จ.สุรินทร์ นอกเขตชลประทาน
พ.ศ.2552/53

ส่วนการเพาะปลูกนอกเขตชลประทาน วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้น้ำในการเพาะปลูกข้าวหอมมะลินิธิย์ฤดูเพาะปลูก พ.ศ.2552/53 ได้ดังในภาพที่ 19 ในงานวิจัยนี้จึงได้สมมติให้การเพาะปลูกดังกล่าวเป็นการเกษตรน้ำฝนที่ไม่มีการใช้น้ำชลประทาน เกษตรกรต้องคอยดูแลน้ำในแปลงนาให้ได้ระดับที่เหมาะสม ซึ่งในช่วงดังกล่าวมีปริมาณฝนตกในพื้นที่และถูกใช้ไปทั้งหมดตลอดช่วงอายุข้าวเฉลี่ย 120 วัน โดยไม่มีการเติมน้ำเข้าแปลงนาตามช่วงเวลาการเจริญเติบโตของพืช เพื่อรักษาระดับน้ำให้มีปริมาณที่พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยการคิดคำนวณปริมาณน้ำฝน , กำหนดระดับคันนา 50 ซม. หากระดับน้ำมากกว่าคือ (Runoff) และ ใช้น้ำซึมผ่าน 1 มม./วัน จากการศึกษาพบว่าความต้องการใช้น้ำมีความต้องการใช้น้ำของพืชรวม 646.03 มม. และ ไม่มีการใช้น้ำจากระบบชลประทาน ปริมาณน้ำฝนที่ใช้เพื่อทำการเพาะปลูกข้าวรวม 663.64 มม. มีการปล่อยน้ำออกจากแปลงนา รวม 10.35 มม. มีการรั่วซึม 100.04 มม. พบว่าข้าวของเกษตรกรส่วนมากได้รับน้ำไม่เพียงพอ (เกิดความเครียดน้ำ) ในช่วงสัปดาห์เริ่มต้นและสัปดาห์สุดท้ายก่อนการเก็บเกี่ยวเนื่องจากการปล่อยน้ำออกจากแปลงเพาะปลูก ดังแสดงในภาพที่ 20 ซึ่งอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตของข้าวหอมมะลินิธิย์นอกเขตพื้นที่ชลประทานมีผลผลิตที่ค่อนข้างต่ำ



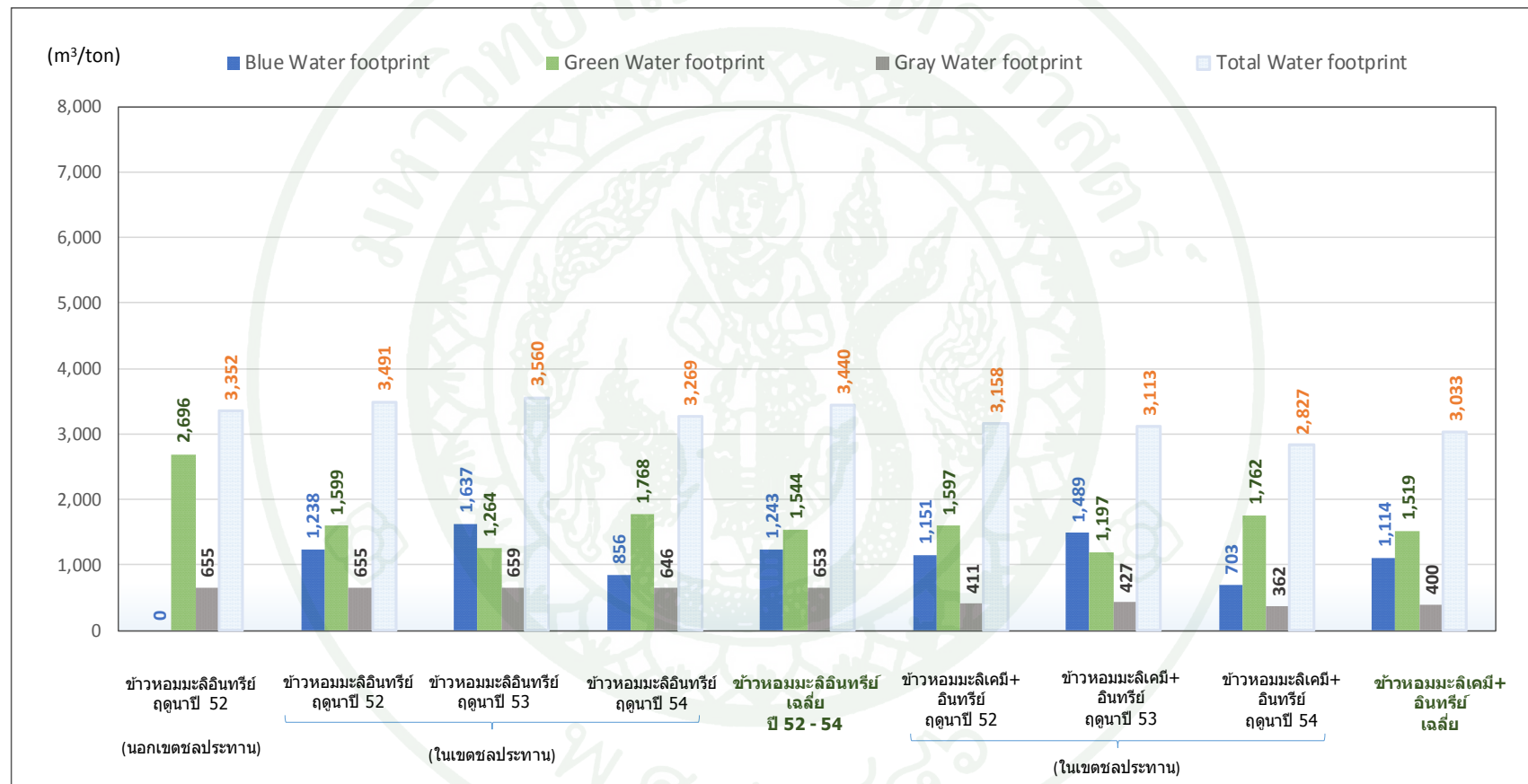
ภาพที่ 20 ผลความเครียดน้ำที่เกิดขึ้นของข้าวหอมมะลินทรีย์ จ.สุรินทร์ นอกเขตชลประทาน
พ.ศ.2552/53

ผลการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

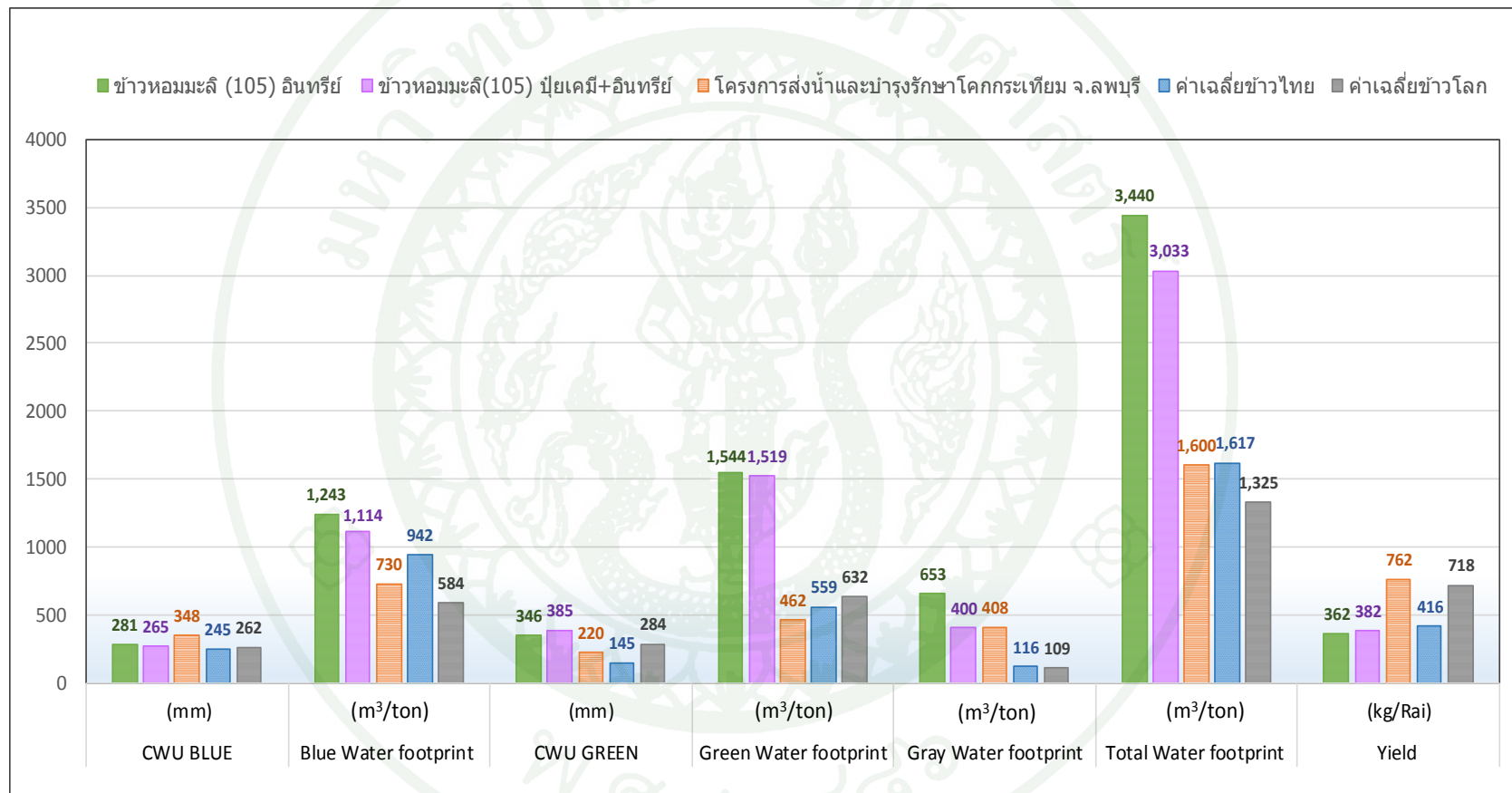
ผลการศึกษาหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์รวมในแต่ละช่วงฤดูกาลเพาะปลูกของจังหวัดสุรินทร์ดังในตารางที่ 16 พบหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่าใกล้เคียงกันโดยหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์ที่อยู่ในเขตชลประทานเฉลี่ย เท่ากับ 3,440 ลบ.ม./ตัน และนอกเขตชลประทาน เท่ากับ 3,351 ลบ.ม./ตัน .ในขณะที่เปรียบเทียบหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมกรณีในเขตพื้นที่ชลประทานของหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม พบหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม เท่ากับ 3,033 ลบ.ม./ตัน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของข้าวหอมมะลินทรีย์มีค่าค่อนข้างสูงต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อทำการเปรียบเทียบกับหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวพื้นที่โครงการส่งน้ำฯ โลกกระเทียมของธีระวัฒน์ (2555) และหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวไทยของ Chapagain and Hoekstra (2010a) มีค่าเท่ากับ 1,600 และ 1,617 ลบ.ม./ตัน เนื่องจากหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นมีมิติเป็นปริมาณน้ำต่อหน่วยผลผลิต จึงทำให้ค่าผลผลิตต่อไร่ (Yield, Y) เป็นตัวแปรสำคัญต่อหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เช่นเดียวกับค่าการใช้น้ำ (CWU) ในกระบวนการผลิต ดังสมการ (2) และ (3) โดยผลผลิตของข้าวหอมมะลินทรีย์เฉลี่ยเท่ากับ 362 กก./ไร่ ส่วนข้าวในพื้นที่โครงการส่ง

น้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียมและข้าวของประเทศไทยมีผลผลิตเท่ากับ 762 และ 416 กก./ไร่ ผลผลิตสุทธิต่อไร่ (Yield, Y) มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้น จึงมีส่วนส่งผลให้การคำนวณต่อไร่ฟุตปรีนท์ ตามสมการที่ (2) ได้ค่าต่อไร่ฟุตปรีนท์รวมที่ค่อนข้างสูง ดังในภาพที่ 21 และ 22





ภาพที่ 21 กราฟสรุปเปรียบเทียบผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ และแบบปุ๋ยผสม ในพื้นที่ จ.สุรินทร์



ภาพที่ 22 กราฟสรุปเปรียบเทียบผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรี จ.สุรินทร์ กับงานวิจัยอื่นๆ

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์

พารามิเตอร์	หน่วย	จ.สุรินทร์ ⁽¹⁾			จ.ลพบุรี ⁽²⁾	ข้าวไทย ⁽³⁾	ข้าวโลก ⁽³⁾
		ข้าวหอมมะลิ (105)			สุพรรณบุรี 1,ชัยนาท1,ปทุมธานี 80		
		นอกเขตชลประทาน		ในเขตชลประทาน	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา		
		อินทรีย์	อินทรีย์	เคมี+อินทรีย์	โคกกระเทียม		
Yield	(kg/Rai)	347	362	382	762	416	718
CWU _{BLUE}	(mm)	-	281	265	348	245	262
WF _{BLUE}	(m ³ /ton)	-	1,243	1,114	730	942	584
CWU _{GREEN}	(mm)	618	346	385	220	145	284
WF _{GREEN}	(m ³ /ton)	2,696	1,544	1,519	462	559	632
Nitrogen	(kg/Rai)	11	12	20	16	-	-
WF _{GRAY}	(m ³ /ton)	655	653	400	408	116	109
WF _{TOTAL}	(m ³ /ton)	3,352	3,440	3,033	1,600	1,617	1,325

หมายเหตุ : (1) งานวิจัยปัจจุบัน

: (2) ชีระวัฒน์ ธรรมนิยม (2555)

: (3) Chapagain and Hoestra (2010)

กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เมื่อเปรียบเทียบกับโครงการส่งน้ำฯ โลกกระเทียมและข้าวไทยพบว่า ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการศึกษานี้มีค่าสูงกว่าโดยมีค่า 1,544 462 และ 559 ลบ.ม./ตัน โดยเฉพาะค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพื้นที่นอกเขตชลประทานที่สูงถึง 2,696 ลบ.ม./ตัน เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้สมมติให้การเพาะปลูกนอกเขตชลประทานเป็นการเกษตรโดยใช้น้ำฝนเพียงแหล่งเดียว ไม่มีการใช้น้ำชลประทาน ดังนั้นจึงส่งผลให้บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับศูนย์ และมีส่วนให้ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูง ในงานวิจัยนี้ ได้พิจารณาค่าการใช้น้ำ (CWU) ตามแนวคิดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากคู่มือ The Water Footprint Assessment Manual (Hoekstra et al., 2011) ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณน้ำที่เกิดจากการระเหยในช่วงการเตรียมแปลงและการคายระเหยจริงในช่วงเพาะปลูก ดังแสดงในสมการที่ (4) (5) และ (6) ดังนั้นจึงมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่ตกลงบนพื้นที่ รวมถึงน้ำท่าผิวดิน (Runoff) และการซึมลึก (Deep percolation) ดังแสดงในสมการ (14)

ค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลงานวิจัยมีค่าสูงกว่าโดยมีค่า 1,243 730 และ 942 ลบ.ม./ตัน ในทางกลับกันพบว่าค่าการใช้น้ำชลประทาน (CWU_{blue}) ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ มีค่า 281 มม. น้อยกว่าการใช้น้ำชลประทานของโครงการ โลกกระเทียมที่มีค่า 348 มม. และมีค่ามากกว่าข้าวไทยที่มีค่า 245 มม. ส่วนหนึ่งเป็นเพราะในช่วงฤดูนาปีมีปริมาณฝนตกในพื้นที่ทำให้เกษตรกรใช้น้ำจากระบบชลประทานน้อยลง

ค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นมีค่าต่างกัน โดยค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ข้าวหอมมะลิอินทรีย์มีค่า 653 ลบ.ม./ตัน การปลูกแบบใช้ปุ๋ยผสมและโครงการ โลกกระเทียม มีค่า 400 และ 408 ลบ.ม./ตัน เนื่องจากเกษตรกรผู้ปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์ ซึ่งใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด เฉลี่ยประมาณ 350-400 กก./ไร่ งานวิจัยการประเมินลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีจำหน่ายในเขตภาคกลางและผลของกระบวนการผลิตแบบปั่นเม็ดต่อคุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ กัญจน์กรวลัย ฤทธิ์เรืองเดช (2554) พบว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีไนโตรเจน 0.40-0.52 % โดยน้ำหนักและใช้ปุ๋ยหมักจากการไถกลบ ซึ่งคำนวณค่าน้ำหนักกับพื้นที่ปลูกและค่าร้อยละของไนโตรเจน การศึกษานี้ใช้น้ำหนักต่อไร่ของฟางข้าว-ถั่วเขียว 1670 กก./ไร่ มีไนโตรเจนต่อน้ำหนัก 0.59% (กรมวิชาการเกษตร , 2534) แต่ในส่วนของการปลูกแบบใช้ปุ๋ยผสมใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 และ 16-16-8 ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ และการศึกษาพื้นที่โครงการ โลกกระเทียม ได้มีการใช้ปุ๋ยในอัตราส่วน 25 กิโลกรัม/ไร่ โดยใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 และ 16-20-0 ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลายปริมาณไนเตรต (NO_3) จึงขึ้นอยู่กับ

ผลผลิตต่อไร่ (Y) ที่เป็นส่วนในสมการคำนวณหาค่าเกรยวอเตอร์พุตปรินท์ ดังสมการ (3) โดยที่ค่า α , AR และ C_{max} คิดเป็นค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อผลผลิตต่อไร่ (Y) มีค่าต่างกันดังที่กล่าวไว้แล้ว จึงส่งผลให้ได้ค่าเกรยวอเตอร์พุตปรินท์ทั้ง 2 การศึกษามีค่าต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามค่าเกรยวอเตอร์พุตปรินท์ของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อสังเกตที่น่าสนใจในงานวิจัยของ Torstensson, (2006) ซึ่งเมื่อคำนวณต่อหน่วยน้ำหนักผลผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ปลดปล่อยในตรพสู่แหล่งน้ำมากกว่าสองเท่าของเกษตรที่ปลูกในระบบเกษตรที่ใช้ปุ๋ยเคมี สาเหตุที่ทำให้เกิดผลดังกล่าว ก็คือปุ๋ยอินทรีย์ปลดปล่อยในโตรเจน ไม่สอดคล้องกับความต้องการของพืชในระยะต่างๆ และความสัมพันธ์ของการใช้ปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์ที่มากไม่ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น ผลการคำนวณค่าวอเตอร์พุตปรินท์ของเกษตรกรแต่ละรายจะให้ค่าที่แตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่และสภาพการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ช่วงเวลาการเพาะปลูกที่ต่างกันส่งผลต่อการคำนวณค่าบวอเตอร์พุตปรินท์และกรีนวอเตอร์พุตปรินท์ เนื่องจากปริมาณน้ำต่างๆในแปลงนาที่ต้องใช้หลักการสมดุลน้ำในแปลงนาและสมดุลน้ำในเขตรากพืช ค่าการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน สูตรของปุ๋ยและปริมาณที่ต่างกันก็ย่อมส่งผลต่อค่าเกรยวอเตอร์พุตปรินท์ด้วย

ตารางที่ 17 ค่าสูงสุด, ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมแต่ละกรณีศึกษา

ฤดูกาล เพาะปลูก		จ.สุรินทร์ ข้าวหอมมะลิ (105)		
		Total Water footprint (m ³ /ton)		
		นอกเขตชลประทาน	ในเขตชลประทาน	
		อินทรีย์	อินทรีย์	เคมี+อินทรีย์
52/53	Max	3,799	3,802	3,623
	Avg	3,352	3,491	3,158
	Min	2,744	3,142	2,918
53/54	Max	-	4,157	3,515
	Avg	-	3,560	3,113
	Min	-	3,131	2,804
54/55	Max	-	3,500	3,133
	Avg	-	3,095	2,827
	Min	-	2,858	2,621

การศึกษาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากการปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์และแบบใช้ปุ๋ยผสมพบว่าเมื่อใช้ต้นทุนการผลิตข้าวหอมมะลิ 105 นาหว้าน้ำตามคิดจากพื้นที่จำนวน 1 ไร่ จากคู่มือการปลูกข้าวหอมมะลิ 105 สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (สำนักงาน กปร., 2553) โดยวิเคราะห์จากกิจกรรมการเพาะปลูกฤดูนาปี 2553/54 เป็นตัวแทนใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนพบว่าข้าวหอมมะลิอินทรีย์มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 4,045 บาท/ไร่ มากกว่าข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม ที่มีต้นทุน 3,803 บาท/ไร่ แต่เมื่อนำผลผลิตที่ได้มาคิดราคาผลตอบแทนต่อไร่ พบว่าข้าวหอมมะลิอินทรีย์มีผลตอบแทนที่ต่ำกว่าการปลูกข้าวแบบผสม โดยกำไร 3 ฤดูเพาะปลูกเฉลี่ยอยู่ที่ 1,125 และ 1,639 บาท/ไร่ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ การปลูกข้าวในพื้นที่ของโครงการ โคกกระเทียม ซึ่งมีต้นทุนการผลิต 3,561 มีกำไร

ถึง 3,678 บาท/ไร่ เนื่องจากข้าวของโครงการโคกกระเทียมเป็นข้าวคนละสายพันธุ์จึงส่งผลให้มีผลผลิตต่อไร่ที่ค่อนข้างสูงและถึงแม้ราคาข้าวเปลือกจะต่ำกว่าข้าวหอมมะลิแต่ยังมีผลกำไรสูงกว่า

จากข้อมูลในตารางที่ 3 จากข้อมูล “การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ของเกษตรกรผู้จัดทำแปลงขยายพันธุ์ข้าว ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าว ในปีการผลิต 2552/53 - 2554/55 ” ของศูนย์พันธุ์ข้าวสุรินทร์ ค่าใช้จ่ายภาพรวมจะอยู่ในช่วง 3,300– 3,700 บาท/ไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับต้นทุนการผลิตข้าวหอมมะลิ 105 นาหวานน้ำตม (สำนักงาน กปร., 2553) นำมาคำนวณหาต้นทุนการผลิตข้าวเปลือกหอมมะลิต่อไร่ เพื่อให้ทราบต้นทุนที่เกิดจากกิจกรรมเพาะปลูกในพื้นที่จริงของจังหวัดสุรินทร์ ตั้งแต่ฤดูกาลเพาะปลูก 2552/53 - 2554/55 โดยใช้พื้นที่จริงในการคิดต้นทุนการผลิตได้ผลดังตารางที่ 18 พบว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทำนาของข้าวหอมมะลิมีแนวโน้มสูงขึ้นและข้าวหอมมะลินิทรียมีผลกำไรเฉลี่ย 3 ฤดูกาลเท่ากับ 1,630 บาท/ไร่และข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสมมีผลกำไรเฉลี่ย 3 ฤดูเพาะปลูกอยู่ที่ 1,848 บาท/ไร่

ตารางที่ 18 ต้นทุนของการปลูกข้าวในพื้นที่ จ.สุรินทร์

ลำดับ ที่	รายละเอียด	ต้นทุน ⁽²⁾			ข้าวหอมมะลิ (105) ₍₁₎					ข้าวหอมมะลิ (105) ₍₁₎		
					นอกเขต		ในเขตชลประทาน			ในเขตชลประทาน		
					อินทรีย์		อินทรีย์			ปุ๋ยเคมี+ อินทรีย์		
		ปี 52	ปี 53	ปี 54	2552*	2552	2553	2554	2552	2553	2554	
					10.46 ไร่	15.22 ไร่	15.10 ไร่	14.71 ไร่	16.36 ไร่	16.24 ไร่	16.29 ไร่	
					(บาท/ไร่)	(บาท)	(บาท)	(บาท)	(บาท)	(บาท)	(บาท)	(บาท)
1	ค่าแรงเตรียมดินเมล็ดพันธุ์	89	333	87	931	1,355	5,027	1,280	1,456	5,408	1,417	
2	ค่าแรงเพาะปลูก และดูแลรักษา	454	555	398	4,749	6,911	8,378	5,854	7,426	9,014	6,483	
3	ค่าแรงกิจกรรมเกี่ยวเกี่ยว	713	390	360	7,458	10,853	5,887	5,295	11,662	6,334	5,864	
4	ค่าวัสดุเตรียมดิน เมล็ดพันธุ์	589	510	879	6,161	8,966	7,699	12,929	9,634	8,283	14,318	
5	ค่าวัสดุเพาะปลูก และดูแลรักษา	729	940	947	7,625	11,097	14,190	13,929	11,923	15,267	15,426	
6	ค่าวัสดุกิจกรรมเกี่ยวเกี่ยว	204	447	568	2,134	3,105	6,748	8,354	3,337	7,260	9,252	
7	ค่าเช่าที่ดิน	530	530	530	5,544	8,068	8,000	7,795	8,669	8,608	8,633	
	รวม (บาท)	3,308	3,705	3,769	34,602	50,355	55,928	55,436	54,105	60,175	61,393	

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ลำดับ ที่	รายละเอียด	ข้าวหอมมะลิ (105) ₍₁₎								ข้าวหอมมะลิ (105) ₍₁₎				
		ต้นทุน ₍₂₎			นอกเขต		ในเขตชลประทาน				ในเขตชลประทาน			
					อินทรีย์		อินทรีย์		ปุ๋ยเคมี+อินทรีย์					
		ปี 52	ปี 53	ปี 54	2552*	2552	2553	2554	2552	2553	2554			
		(บาท/ไร่)			10.46 ไร่	15.22 ไร่	15.10 ไร่	14.71 ไร่	16.36 ไร่	16.24 ไร่	16.29 ไร่			
	รวม (บาท)	3,308	3,705	3,769	34,602 (บาท)	50,355 (บาท)	55,928 (บาท)	55,436 (บาท)	54,105 (บาท)	60,175 (บาท)	61,393 (บาท)			
	รวมค่าใช้จ่าย (บาท/ไร่)				3,308	3,308	3,705	3,769	3,308	3,705	3,769			
	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่) ₍₁₎				347	360	362	365	374	385	386			
	ราคาข้าวเปลือก (บาท/ตัน) ₍₃₎				14,717	14,717	13,913	14,175	14,717	13,913	14,175			
	ราคาขาย (บาท/ไร่)				5,102	5,297	5,032	5,180	5,498	5,350	5,478			
	กำไร (บาท/ไร่)				1,794	1,989	1,327	1,411	2,190	1,645	1,709			

หมายเหตุ : (1) งานวิจัยปัจจุบัน ,* นอกเขตชลประทาน

: (2) ศูนย์พันธุ์ข้าวสุรินทร์

: (3) สำนักงานการค้าภายในจ.สุรินทร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

สรุปข้อมูลพื้นฐาน

ผลผลิตของข้าวหอมมะลินิธิย์ในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์เฉลี่ย เปรียบเทียบกันระหว่างพื้นที่ในเขตชลประทานและพื้นที่นอกเขตชลประทานพบว่าผลผลิตที่ต่างกัน 362 และ 347 กก./ไร่ตามลำดับ โดยผลผลิตของข้าวหอมมะลินิธิย์ในเขตพื้นที่ชลประทานให้ผลผลิตมากกว่าเหตุผลที่ทำให้ได้ผลผลิตที่ต่างกันเนื่องจากในพื้นที่ในเขตชลประทานที่มีระบบชลประทานที่สมบูรณ์กว่า มีการส่งน้ำให้น้ำอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพจึงมีผลทำให้ผลผลิตต่อไร่มากกว่า อีกทั้งพื้นที่นอกเขตชลประทานพืชได้รับน้ำไม่เพียงพอ(เกิดความเครียดน้ำ) เนื่องจากการใช้น้ำฝนเพื่อใช้ในการเกษตรเพียงแหล่งเดียว ดังนั้นจึงส่งผลให้ผลผลิตของข้าวหอมมะลินิธิย์นอกเขตชลประทานลดน้อยลง

สรุปสมมูลน้ำ

การใช้น้ำในการเพาะปลูกข้าวหอมมะลินิธิย์ในฤดูเพาะปลูกปี 2552/53 – 2554/55 ในเขตชลประทานจากการศึกษาพบว่ามีความต้องการใช้น้ำของพืชเฉลี่ยเท่ากับ 626 มม. และมีการใช้น้ำจากระบบชลประทานเพื่อทำการเพาะปลูกข้าวเท่ากับ 665 มม. มีการปล่อยน้ำออกจากแปลงนา 759 มม. และมีการรั่วซึม 114 มม. ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำฝนและน้ำจากชลประทานมีเพียงพอต่อการเพาะปลูก ส่วนพื้นที่นอกเขตชลประทานพบความต้องการใช้น้ำของพืชเฉลี่ยเท่ากับ 618 มม. มีการปล่อยน้ำออกจากแปลงนา 47 มม. และมีการรั่วซึม 110 มม. ปริมาณน้ำฝนเมื่อคำนวณอัตราการรั่วซึมและปริมาณน้ำที่ระบายออกจากแปลงนาแล้ว ปริมาณน้ำที่ข้าวต้องการยังไม่เพียงพอต่อการเพาะปลูก ดังในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงความต้องการใช้น้ำของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์

พารามิเตอร์	หน่วย	จ.สุรินทร์ ข้าวหอมมะลิ (105)		
		นอกเขตชลประทาน		ในเขตชลประทาน.
		อินทรีย์	อินทรีย์	ปุ๋ยเคมี+อินทรีย์
Total water demand	(mm)	618	626	626
Irrigation	(mm)	0	665	633
Rain	(mm)	773	812	838
Runoff	(mm)	47	759	758
Deep percolation	(mm)	110	114	114
Total	(mm)	1,549	2,986	2,969

สรุปวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การศึกษานี้ได้ทำการคำนวณหาค่าบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์, กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และเกรยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ ในช่วงปีเพาะปลูก 2552/53 – 2554/55 ทั้ง 3 ช่วงฤดูกาลเพาะปลูกในปีในพื้นที่ในเขตชลประทาน พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์เฉลี่ยของพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ เท่ากับ 3,440 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นค่าบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 1,243 ลบ.ม./ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 36 ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 1,544 ลบ.ม./ตันหรือคิดเป็นร้อยละ 45 และค่าเกรยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 653 ลบ.ม./ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 19 สำหรับพื้นที่นอกเขตชลประทาน พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ เฉลี่ย เท่ากับ 3,352 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 2,696 ลบ.ม./ตันหรือคิดเป็นร้อยละ 80 ค่าเกรยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 655 ลบ.ม./ตันหรือคิดเป็นร้อยละ 20 และไม่มีค่าบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เนื่องจากอยู่นอกเขตชลประทานส่วนข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม ในช่วงปีเพาะปลูก 2552/53 – 2554/55 ทั้ง 3 ช่วงฤดูกาลเพาะปลูกในปี ในพื้นที่ในเขตชลประทาน พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสมเท่ากับ 3,033 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นค่าบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 1,114 ลบ.ม./ตันหรือคิดเป็นร้อยละ 37 ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 1,519 ลบ.ม./ตันหรือคิดเป็นร้อยละ 50 และค่าเกรยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 400 ลบ.ม./ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 13 ค่าบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์, กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ของข้าวหอมมะลินทรีย์กับข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสมมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นก็มีความต่างกัน เพราะปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะปลูกและการปลดปล่อยไนเตรทของระบบเกษตรอินทรีย์ และเมื่อนำค่าต่างๆที่ได้จากการศึกษามาเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวจากนักวิจัยอื่นๆสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 20

การเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เมื่อพิจารณาในระดับประเทศและระดับโลกพบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์ในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์นั้นมีค่าต่างกับค่าเฉลี่ยของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียมก่อนข้างมากโดยมีค่า 3,440 และ 1,600 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ เนื่องจากพันธุ์ข้าวและพารามิเตอร์บางอย่างใช้ต่างกัน เช่น สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าว, ระดับคันนา และระยะการเจริญเติบโตช่วงต่างๆ สำหรับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของข้าวข้าวหอมมะลินทรีย์เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของประเทศไทยแล้วพบว่า ข้าวหอมมะลินทรีย์มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศไทยมากถึง 2.5 เท่าและยังสูงกว่าค่าเฉลี่ยของโลกอยู่มากถึง 2 เท่าโดยมีค่า 3,440, 1,617 และ 1325 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ สรุปได้ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบสัดส่วนค่าเวอร์ฟุตพริ้นท์ข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์กับงานวิจัยอื่น

พื้นที่ศึกษา	Blue		Green		Gray		Total
	Water		Water		Water		Water
	footprint (m ³ /ton)	%	footprint (m ³ /ton)	%	footprint (m ³ /ton)	%	footprint (m ³ /ton)
อินทรีย์(นอกเขต) ₍₁₎	-	-	2,696	80	655	20	3,352
อินทรีย์(ในเขต) ₍₁₎	1,243	36	1,544	45	653	19	3,440
เคมี+อินทรีย์(ในเขต) ₍₁₎	1,114	37	1,519	50	400	13	3,033
ส่งน้ำฯ โลกกระเทียม (ในเขต) ₍₂₎	730	46	462	29	408	26	1,600
ข้าวไทย ₍₃₎	942	58	559	35	116	7	1,617
ข้าวโลก ₍₃₎	584	44	632	48	109	8	1,325

หมายเหตุ : (1) งานวิจัยปัจจุบัน

: (2) ชีระวัฒน์ ธรรมนิยม (2555)

: (3) Chapagain and Hoestra (2010)

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบผลผลิตและค่า водоเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์กับงานวิจัยอื่น

พารามิเตอร์	หน่วย	จ.สุรินทร์ ⁽¹⁾			จ.ลพบุรี ⁽²⁾		ข้าวไทย ⁽³⁾	ข้าวโลก ⁽³⁾
		ข้าวหอมมะลิ (105)			สุพรรณบุรี 1 ชัยนาท 1 ปทุมธานี 80			
		นอกเขตชลประทาน		ในเขตชลประทาน	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา			
		อินทรีย์	อินทรีย์	เคมี+อินทรีย์	โคกกระเทียม			
Yield	(kg/Rai)	347	362	382	762	416	718	
Blue Water footprint	(m ³ /ton)	-	1,243	1,114	730	942	584	
Green Water footprint	(m ³ /ton)	2,696	1,544	1,519	462	559	632	
Gray Water footprint	(m ³ /ton)	655	653	400	408	116	109	
Total Water footprint	(m ³ /ton)	3,352	3,440	3,033	1,600	1,617	1,325	

หมายเหตุ : (1) งานวิจัยปัจจุบัน

: (2) ชีระวัฒน์ ธรรมนิยม (2555)

: (3) Chapagain and Hoestra (2010)

สรุปเชิงเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาต้นทุนการผลิตข้าวเปลือกหอมมะลินทรีย์ต่อไร่ของการปลูกข้าวในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ในแต่ละปีการเพาะปลูก ตั้งแต่ ฤดูกาลเพาะปลูก 2552/53 - 2554/55 มีต้นทุนเฉลี่ย 3,451 บาท/ไร่ มีกำไรต่อการขายข้าวเปลือกเฉลี่ย 1,630 บาท/ไร่ เมื่อวิเคราะห์ร่วมกับต้นทุนการแปรรูปพร้อมเป็นบรรจุภัณฑ์ (บาท/ตันข้าวเปลือก) จะพบว่ามีต้นทุนในการแปรรูป (ตารางที่ 6) 2,294 /ตันข้าวเปลือกจะพบว่าราคาขายข้าวหอมมะลินทรีย์มีราคาที่สูงขึ้น แต่เมื่อหักต้นทุนในการแปรรูปพบว่าราคาข้าวหอมมะลินทรีย์ จ.สุรินทร์ มีกำไรเท่ากับ 1,896 บาท/ไร่ เพิ่มขึ้นหลังจากการแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ 10 % เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นตามมาในการแปรรูป อีกทั้งกำไรจากการทำนาต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอื่นๆ ทั้งราคามล็ดพันธุ์ ราคาน้ำมัน ราคาน้ำ ค่าแรง รวมไปถึงการถือครองหรือเช่าพื้นที่เพื่อทำการเกษตร ขนาดพื้นที่ทำกินของชาวนาจึงส่งผลในแง่ของผลผลิตรวมอีกด้วย ดังในตารางที่ 22

นอกจากนี้แล้วการศึกษาค่าอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ยังสามารถนำมาแปลงค่าเป็นตัวเลขในเชิงเศรษฐศาสตร์ได้โดยการคำนวณปริมาณอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ที่ได้ให้เป็นจำนวนเงินบาทต่อปริมาณน้ำหนึ่งลูกบาศก์เมตรของการใช้น้ำในกระบวนการผลิตซึ่งผลการศึกษาค้นพบว่าในพื้นที่ จ.สุรินทร์ ในปีเพาะปลูก 2552/53 – 2554/55 นั้น อัตราการใช้น้ำของเกษตรกรที่ปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์เท่ากับ 4.18 บาทต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตร เกษตรกรที่ปลูกข้าวหอมมะลิแบบใช้น้ำผสมเท่ากับ 4.71 บาทต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตร ในที่นี้คิดจากราคาขายข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 จ.สุรินทร์ ปี พ.ศ.2552-2554 ในตารางที่ 18 (สำนักงานการค้าภายใน จ.สุรินทร์, 2552) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราค่าน้ำประปาโดยราคาการขายเหมาเฉลี่ย ประเภทที่พักอาศัย ราคา 10.50 บาทต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตร (การประปานครหลวง, 2542) จะพบว่าราคาน้ำของการปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์มีราคาเท่ากับ 0.25 เท่าของราคาน้ำประปา

ตารางที่ 22 สรุปราคาต้นทุนและกำไรของข้าวหอมมะลิ 105 จ.สุรินทร์

โครงสร้างราคาข้าวหอมมะลิ 105	ข้าวหอมมะลิ (105) อินทรีย์ ⁽¹⁾					ข้าวหอมมะลิ (105) ปุ๋ยเคมี+อินทรีย์ ⁽¹⁾			
	2552/53	2552/53	2553/54	2554/55	เฉลี่ย	2552/53	2553/54	2554/55	เฉลี่ย
ผลผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ (กก./ไร่)	347	360	362	365	358	374	385	386	382
ต้นทุนข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 (บาท/ตัน) ⁽²⁾	9,190	9,190	10,244	10,313	9,734	9,190	10,244	10,313	9,916
ต้นทุนแปรรูปและบรรจุภัณฑ์ (บาท/ตัน) ⁽³⁾	2,294	2,294	2,294	2,294	2,294	2,294	2,294	2,294	2,294
ผลผลิตจากการสีข้าวเปลือก (บาท/ตัน) ⁽⁴⁾	17,326	17,326	17,326	17,326	17,326	17,326	17,326	17,326	17,326
กำไร (บาท/ตัน)	5,842	5,842	4,788	4,719	5,297	5,842	4,788	4,719	5,116
กำไร (บาท/ไร่)ข้าวเปลือก	1,794	1,989	1,327	1,411	1,630	2,190	1,645	1,709	1,848
กำไร (บาท/ไร่)แปรรูปบรรจุภัณฑ์	2,025	2,103	1,732	1,725	1,896	2,182	1,841	1,824	1,949

หมายเหตุ : (1) งานวิจัยปัจจุบัน

: (2) ชาญรัช (2555)

: (3) สมาคมโรงสีข้าวสมาคมโรงสีข้าว และกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์

: (4) เกษตรพอเพียง (2010)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาอัตราการฟุดปรื๋นของข้าวหอมมะลินทรีย์พื้นที่ภาคอื่นๆเพื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอัตราการฟุดปรื๋นของข้าวหอมมะลินทรีย์ในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ เพื่อที่จะหาความแตกต่างและความเหมาะสมสำหรับพื้นที่การปลูกข้าวหอมมะลินทรีย์
2. ควรใช้ข้อมูลที่วัดจริง เช่น ความยาวราก ความสูงของต้นข้าว ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าแปลงนา ในการคำนวณโดยใช้แบบจำลองและสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เช่น Penman Monteith , K_c , Water Balance ในแปลงนาและเขตรากพืช เพื่อจะได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น
3. ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในปุ๋ยชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาควรมีการทดสอบหาค่าปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการคำนวณเกรย์อัตราการฟุดปรื๋นมากยิ่งขึ้น
4. ควรมีการศึกษาที่ละเอียดและใช้ค่าคงที่ต่างๆที่เป็นมาตรฐานเดียวกันเพื่อจะได้ให้ค่าที่ถูกต้อง ควรให้มีการศึกษาพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดอื่นๆ เพื่อประเมินความต้องการน้ำและความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ เพื่อลดการสูญเสียในระหว่างกระบวนการผลิตและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นรวมทั้งการพัฒนาผลผลิตต่อหน่วยและมูลค่าของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ดิเรก ทองอร่าม. 2526. ความต้องการน้ำชลประทานและค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำ.

กรมชลประทานสัมมนาวิชาการ (เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำงานชลประทาน).
สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

ธีระพล ตั้งสมบุญ และโอสธ ชาญเวช. 2543. ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง และค่าสัมประสิทธิ์
การใช้น้ำของพืช. เกษตรชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน,
กรุงเทพฯ.

บุญมา ป่านประดิษฐ์. 2546. หลักการชลประทาน ทฤษฎีและการประยุกต์. ภาควิชาวิศวกรรม
ชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

มณเฑียร กังศิเทียม. 2535. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรม
ชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

วรารุช วุฒินิชย์. 2545. การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิบูลย์ บุญขจรโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว กองปฐพีวิทยา กรม
วิชาการเกษตร ,2534 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าว

ชินาธิปกรณ และธำรงรัตน์. 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมัน
ลำปะหลังในประเทศไทย. วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 75 ปีที่ 24. หน้า 41 – 51

ทิพย์ปภา สุขุมมาลชาติ และคณะ. 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัด
นครสวรรค์, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16 (WRE0062)

ธีระพล ตั้งสมบุญ, 2532. การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช 6 วิธี. งานวิจัยการใช้น้ำชลประทานฝ่าย
เกษตรชลประทาน กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน : กรมชลประทาน

บุญหงส์ จงคิด และวุฒิชัย แดงทอง. 2557. เสถียรภาพในการให้ผลผลิตของสายพันธุ์กล้วยพันธุ์
ขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 เมษายน -
มิถุนายน 2557

รมณี และปณณณิ. 2554. ร่องรอยการใช้น้ำในอุตสาหกรรมแป้งข้าว. เอกสารการประชุมวิชาการ
ช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554, ตุลาคม, 2554.

ลักขณา เจริญสุข. 2555. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลใน
ประเทศไทย, การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรมและการ
จัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1 ประจำปี 2555

กัญจน์กรวลัย ฤทธิ์เรืองเดช. 2554. การประเมินลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ที่
จำหน่ายในเขตภาคกลางและผลของกระบวนการผลิตแบบบ่มเม็ดต่อคุณสมบัติของปุ๋ย
อินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธีระวัฒน์ ธรรมนิยม. 2555. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่ส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

การประปานครหลวง. 2542. อัตราค่าน้ำประปา. แหล่งที่มา:

http://www.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=303

เกษตรพอเพียง. 2010. การสีข้าวที่ผู้บริโภคควรรู้. แหล่งที่มา:

<http://www.kasetporpeang.com/forums/index.php?topc=10372.0>

ศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์. 2007. มุมการจัดการความรู้. แหล่งที่มา:

http://srn.brrd.in.th/km/index.php?option=com_content&view=article&id=6

สมาคมโรงสีข้าวและกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2555. สำนักงานสถิติ. แหล่งที่มา:

http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice_product/rice-product4_1.html

Allen, G., Pereira, S., Raes, D. and M.Smith. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.

Hoekstra, Y. and K.Chapagain. 2008. **Sharing the planet's freshwater resources**. Blackwell Publishing, Oxford, UK.

Hoekstra, Y., Hung and Q. 2002. **A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade**



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จ.สุรินทร์ ปี พ.ศ.2552/53 - พ.ศ.2554/55

ตารางผนวกที่ ก1 การคำนวณหาค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ปี พ.ศ.2552/53 จากโปรแกรม Eto Calculator V.3.1

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
1	7	2009	34.00	24.50	78	8	10.10	5.80	3.170	4.20	3.03	38.27	10.1	12.87	24.59	2.99	15.94
2	7	2009	34.50	23.70	78	8	10.40	5.90	3.143	4.20	3.03	38.27	10.4	12.86	25.04	3.10	16.18
3	7	2009	34.60	24.20	85	26	5.20	5.00	3.484	4.26	9.86	38.27	5.2	12.86	17.30	1.49	11.83
4	7	2009	32.80	24.00	81	6	2.70	3.60	3.134	3.98	2.27	38.27	2.7	12.86	13.59	1.07	9.39
5	7	2009	30.80	25.80	83	8	0.00	2.90	3.193	3.88	3.03	38.27	0.0	12.85	9.57	0.36	7.01
6	7	2009	33.30	24.20	81	16	6.40	5.20	3.198	4.07	6.07	38.27	6.4	12.85	19.10	1.99	12.71
7	7	2009	32.90	23.30	83	14	4.80	4.50	3.156	3.93	5.31	38.27	4.8	12.84	16.72	1.60	11.27
8	7	2009	34.00	23.50	78	8	8.70	5.50	3.080	4.11	3.03	38.27	8.7	12.84	22.53	2.72	14.63
9	7	2009	34.10	24.40	78	8	10.50	5.90	3.170	4.20	3.03	38.27	10.5	12.83	25.22	3.10	16.32
10	7	2009	34.80	25.80	75	8	10.80	6.30	3.237	4.44	3.03	38.27	10.8	12.83	25.67	3.13	16.64
11	7	2009	35.50	26.00	77	10	7.70	5.70	3.410	4.57	3.79	38.27	7.7	12.82	21.06	2.17	14.04
12	7	2009	35.70	26.80	79	12	7.50	5.70	3.600	4.68	4.55	38.27	7.5	12.82	20.76	1.95	14.03
13	7	2009	30.90	24.10	89	12	0.10	2.70	3.267	3.73	4.55	38.27	0.1	12.81	9.72	0.37	7.11
14	7	2009	32.30	24.90	81	13	2.40	4.10	3.170	3.99	4.93	38.27	2.4	12.81	13.15	0.98	9.14
15	7	2009	33.50	25.30	78	8	1.90	3.90	3.197	4.20	3.03	38.27	1.9	12.80	12.41	0.85	8.70

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
16	7	2009	30.70	26.10	83	10	1.40	3.40	3.211	3.90	3.79	38.27	1.4	12.79	11.66	0.71	8.27
17	7	2009	33.80	25.00	83	12	4.30	4.40	3.402	4.21	4.55	38.27	4.3	12.79	16.00	1.34	10.98
18	7	2009	33.80	25.00	79	10	4.20	4.60	3.238	4.21	3.79	38.27	4.2	12.78	15.86	1.42	10.79
19	7	2009	34.30	24.50	72	10	3.80	5.00	2.951	4.24	3.79	38.27	3.8	12.77	15.26	1.49	10.26
20	7	2009	33.40	25.70	78	8	0.90	3.60	3.225	4.22	3.03	38.27	0.9	12.76	10.92	0.59	7.82
21	7	2009	32.10	25.50	85	12	0.90	3.30	3.366	4.02	4.55	38.27	0.9	12.76	10.92	0.55	7.86
22	7	2009	32.00	23.40	86	12	2.00	3.50	3.194	3.82	4.55	38.27	2.0	12.75	12.57	0.86	8.81
23	7	2009	31.80	23.60	88	12	3.20	3.50	3.269	3.81	4.55	38.26	3.2	12.74	14.37	1.13	9.94
24	7	2009	33.60	24.70	81	8	8.30	5.20	3.273	4.16	3.03	38.26	8.3	12.73	22.04	2.43	14.54
25	7	2009	33.80	24.80	77	7	9.40	5.60	3.138	4.20	2.65	38.26	9.4	12.72	23.70	2.88	15.37
26	7	2009	34.00	25.10	81	8	6.90	4.90	3.349	4.25	3.03	38.26	6.9	12.71	19.95	2.02	13.34
27	7	2009	34.70	24.90	77	6	8.20	5.30	3.230	4.34	2.27	38.25	8.2	12.70	21.91	2.48	14.39
28	7	2009	33.90	25.70	75	5	3.40	4.00	3.146	4.30	1.90	38.25	3.4	12.69	14.68	1.28	10.02
29	7	2009	31.40	25.20	76	10	0.60	3.80	2.923	3.90	3.79	38.24	0.6	12.68	10.47	0.57	7.48
30	7	2009	28.40	25.50	89	10	0.00	2.50	3.164	3.57	3.79	38.24	0.0	12.67	9.56	0.36	7.01
31	7	2009	27.80	24.50	93	10	0.00	2.20	3.154	3.41	3.79	38.23	0.0	12.66	9.56	0.35	7.01

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
1	8	2009	32.30	24.60	83	12	1.50	3.70	3.220	3.97	4.55	38.23	1.5	12.65	11.82	0.74	8.37
2	8	2009	33.90	25.50	77	12	6.10	5.30	3.211	4.28	4.55	38.22	6.1	12.64	18.77	1.95	12.50
3	8	2009	33.90	24.80	81	10	5.90	4.80	3.311	4.21	3.79	38.21	5.9	12.63	18.48	1.81	12.41
4	8	2009	33.70	24.70	85	12	3.70	4.10	3.444	4.17	4.55	38.20	3.7	12.62	15.15	1.19	10.48
5	8	2009	34.50	26.00	80	9	6.90	5.10	3.443	4.42	3.41	38.19	6.9	12.61	20.00	1.96	13.43
6	8	2009	34.30	25.90	80	10	6.50	5.10	3.414	4.38	3.79	38.18	6.5	12.60	19.39	1.89	13.04
7	8	2009	32.30	25.80	79	10	0.20	3.50	3.174	4.08	3.79	38.17	0.2	12.59	9.85	0.42	7.16
8	8	2009	30.90	25.60	84	8	0.00	2.90	3.222	3.88	3.03	38.15	0.0	12.58	9.54	0.35	6.99
9	8	2009	30.00	25.10	88	8	0.10	2.60	3.240	3.72	3.03	38.14	0.1	12.57	9.69	0.37	7.09
10	8	2009	32.40	24.70	82	10	3.00	3.90	3.200	3.99	3.79	38.12	3.0	12.55	14.09	1.14	9.71
11	8	2009	34.20	25.10	80	10	6.70	5.10	3.327	4.28	3.79	38.11	6.7	12.54	19.70	2.02	13.16
12	8	2009	33.30	25.20	85	4	2.90	3.40	3.454	4.16	1.52	38.09	2.9	12.53	13.93	1.00	9.72
13	8	2009	33.30	26.50	84	8	1.50	3.40	3.544	4.29	3.03	38.07	1.5	12.52	11.80	0.65	8.43
14	8	2009	33.70	24.40	86	6	5.00	4.10	3.455	4.14	2.27	38.05	5.0	12.51	17.12	1.49	11.69
15	8	2009	33.90	26.00	85	8	4.40	4.10	3.596	4.33	3.03	38.03	4.4	12.49	16.20	1.28	11.20
16	8	2009	33.50	25.50	81	8	7.20	5.00	3.340	4.22	3.03	38.01	7.2	12.48	20.46	2.13	13.62

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
17	8	2009	30.60	25.60	86	6	1.60	3.00	3.270	3.84	2.27	37.98	1.6	12.47	11.93	0.75	8.44
18	8	2009	33.20	24.90	79	8	8.80	5.40	3.174	4.12	3.03	37.96	8.8	12.46	22.90	2.71	14.92
19	8	2009	34.40	24.30	80	8	7.00	5.00	3.270	4.24	3.03	37.93	7.0	12.44	20.15	2.15	13.36
20	8	2009	34.40	25.50	77	6	9.10	5.60	3.258	4.35	2.27	37.90	9.1	12.43	23.35	2.73	15.25
21	8	2009	35.60	25.40	75	10	9.00	6.20	3.275	4.53	3.79	37.87	9.0	12.42	23.19	2.71	15.15
22	8	2009	35.60	25.40	78	10	9.50	6.10	3.406	4.53	3.79	37.84	9.5	12.41	23.95	2.68	15.76
23	8	2009	33.20	24.00	85	16	7.80	5.00	3.327	4.04	6.07	37.80	7.8	12.39	21.35	2.28	14.15
24	8	2009	32.80	24.20	86	4	3.60	3.50	3.347	4.00	1.52	37.77	3.6	12.38	14.93	1.22	10.27
25	8	2009	34.30	25.20	81	12	8.00	5.50	3.388	4.31	4.55	37.73	8.0	12.37	21.64	2.31	14.35
26	8	2009	34.90	24.50	82	8	8.90	5.40	3.420	4.33	3.03	37.69	8.9	12.35	23.00	2.49	15.22
27	8	2009	32.60	25.40	86	10	1.60	3.30	3.445	4.08	3.79	37.65	1.6	12.34	11.85	0.70	8.42
28	8	2009	35.00	25.30	82	12	6.10	5.00	3.509	4.42	4.55	37.61	6.1	12.33	18.71	1.75	12.65
29	8	2009	35.10	25.20	83	14	7.10	5.30	3.552	4.43	5.31	37.57	7.1	12.31	20.22	1.95	13.62
30	8	2009	34.60	24.10	84	14	7.40	5.20	3.433	4.25	5.31	37.52	7.4	12.30	20.67	2.11	13.80
31	8	2009	31.80	24.50	88	13	3.50	3.60	3.356	3.89	4.93	37.47	3.5	12.29	14.71	1.20	10.13

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day		
1	9	2009	33.10	23.10	84	12	4.60	4.30	3.194	3.94	4.55	37.42	4.6	12.27	16.37	1.58	11.03
2	9	2009	32.90	24.40	82	8	7.20	4.80	3.219	4.03	3.03	37.37	7.2	12.26	20.32	2.26	13.38
3	9	2009	32.50	24.50	84	8	3.20	3.70	3.269	3.98	3.03	37.32	3.2	12.24	14.21	1.17	9.76
4	9	2009	30.70	25.30	87	6	0.00	2.50	3.289	3.82	2.27	37.26	0.0	12.23	9.32	0.34	6.83
5	9	2009	32.90	24.80	84	10	4.20	4.10	3.336	4.07	3.79	37.21	4.2	12.22	15.70	1.40	10.69
6	9	2009	32.50	23.30	84	18	6.30	4.80	3.157	3.88	6.82	37.15	6.3	12.20	18.88	2.07	12.47
7	9	2009	32.30	22.50	84	8	8.50	4.80	3.066	3.78	3.03	37.09	8.5	12.19	22.20	2.75	14.35
8	9	2009	29.60	25.10	88	4	0.00	2.30	3.203	3.67	1.52	37.03	0.0	12.17	9.26	0.35	6.78
9	9	2009	31.40	25.50	87	6	1.00	2.80	3.376	3.93	2.27	36.96	1.0	12.16	10.76	0.58	7.71
10	9	2009	33.80	25.00	81	6	8.20	5.00	3.320	4.21	2.27	36.90	8.2	12.15	21.68	2.46	14.24
11	9	2009	33.50	24.50	81	6	7.10	4.70	3.245	4.12	2.27	36.83	7.1	12.13	19.98	2.24	13.15
12	9	2009	35.00	25.50	80	8	8.90	5.50	3.443	4.44	3.03	36.76	8.9	12.12	22.69	2.53	14.94
13	9	2009	35.60	25.60	78	6	8.90	5.50	3.425	4.55	2.27	36.69	8.9	12.10	22.66	2.56	14.89
14	9	2009	33.20	25.60	82	10	4.50	4.30	3.361	4.19	3.79	36.61	4.5	12.09	15.97	1.48	10.81
15	9	2009	34.00	24.50	86	10	5.30	4.20	3.495	4.20	3.79	36.54	5.3	12.07	17.15	1.58	11.63

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
16	9	2009	32.10	25.00	88	12	0.80	3.00	3.434	3.98	4.55	36.46	0.8	12.06	10.32	0.52	7.43
17	9	2009	33.40	25.10	85	5	5.70	4.10	3.454	4.17	1.90	36.38	5.7	12.05	17.70	1.71	11.92
18	9	2009	33.90	25.60	86	32	4.10	4.60	3.597	4.29	12.13	36.30	4.1	12.03	15.26	1.24	10.51
19	9	2009	34.10	24.10	81	7	9.40	5.30	3.263	4.18	2.65	36.22	9.4	12.02	23.22	2.85	15.02
20	9	2009	35.30	25.20	78	6	8.60	5.30	3.357	4.46	2.27	36.13	8.6	12.00	21.98	2.57	14.35
21	9	2009	35.30	25.40	77	8	9.30	5.70	3.333	4.48	3.03	36.04	9.3	11.99	22.99	2.79	14.91
22	9	2009	31.10	25.40	89	8	3.00	3.20	3.413	3.88	3.03	35.96	3.0	11.97	13.49	1.06	9.33
23	9	2009	32.20	23.90	84	6	5.50	4.00	3.184	3.89	2.27	35.87	5.5	11.96	17.21	1.86	11.39
24	9	2009	30.90	25.40	87	6	0.40	2.60	3.317	3.86	2.27	35.78	0.4	11.95	9.54	0.44	6.91
25	9	2009	27.80	23.50	92	5	0.00	2.10	3.029	3.32	1.90	35.68	0.0	11.93	8.92	0.37	6.50
26	9	2009	30.90	23.90	86	6	2.20	3.00	3.139	3.72	2.27	35.59	2.2	11.92	12.18	0.97	8.41
27	9	2009	30.90	24.50	90	8	2.70	3.00	3.343	3.77	3.03	35.49	2.7	11.90	12.90	1.02	8.91
28	9	2009	32.30	23.80	84	9	7.20	4.50	3.184	3.89	3.41	35.40	7.2	11.89	19.57	2.34	12.73
29	9	2009	32.50	25.40	78	12	3.40	4.30	3.115	4.07	4.55	35.30	3.4	11.88	13.88	1.35	9.34
30	9	2009	24.50	23.40	96	10	0.00	1.70	2.856	2.98	3.79	35.20	0.0	11.86	8.80	0.39	6.39

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	10	2009	29.40	23.00	93	8	1.80	2.50	3.163	3.45	3.03	35.09	1.8	11.85	11.44	0.84	7.97
2	10	2009	31.70	24.20	88	6	4.20	3.40	3.317	3.85	2.27	34.99	4.2	11.83	14.96	1.43	10.09
3	10	2009	32.20	24.90	89	6	5.10	3.60	3.473	3.98	2.27	34.89	5.1	11.82	16.25	1.56	10.95
4	10	2009	33.30	25.50	85	7	7.70	4.50	3.484	4.19	2.65	34.78	7.7	11.80	20.04	2.21	13.22
5	10	2009	32.70	25.30	80	7	7.90	4.70	3.205	4.09	2.65	34.68	7.9	11.79	20.29	2.56	13.06
6	10	2009	32.00	24.80	80	14	7.10	4.90	3.095	3.94	5.31	34.57	7.1	11.78	19.06	2.43	12.25
7	10	2009	32.80	25.00	74	10	9.30	5.60	2.947	4.07	3.79	34.46	9.3	11.76	22.24	3.29	13.84
8	10	2009	33.30	23.20	77	6	9.10	5.00	2.953	3.98	2.27	34.35	9.1	11.75	21.89	3.19	13.66
9	10	2009	32.30	24.00	84	8	3.50	3.50	3.203	3.91	3.03	34.24	3.5	11.74	13.67	1.32	9.20
10	10	2009	30.20	24.00	89	8	4.60	3.30	3.192	3.64	3.03	34.13	4.6	11.72	15.23	1.61	10.11
11	10	2009	32.30	24.90	83	8	6.60	4.30	3.249	3.99	3.03	34.02	6.6	11.71	18.09	2.15	11.78
12	10	2009	32.80	24.40	82	12	7.60	4.80	3.209	4.02	4.55	33.90	7.6	11.69	19.49	2.47	12.54
13	10	2009	32.50	24.80	88	10	4.50	3.60	3.454	4.01	3.79	33.79	4.5	11.68	14.96	1.44	10.07
14	10	2009	33.30	24.50	83	8	8.70	4.80	3.306	4.10	3.03	33.68	8.7	11.67	20.97	2.68	13.47
15	10	2009	32.30	24.60	85	8	5.50	3.90	3.298	3.97	3.03	33.56	5.5	11.65	16.31	1.82	10.74

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
16	10	2009	32.80	24.00	81	8	8.90	4.80	3.134	3.98	3.03	33.45	8.9	11.64	21.15	2.93	13.35
17	10	2009	32.30	24.60	80	7	7.80	4.50	3.104	3.97	2.65	33.33	7.8	11.63	19.51	2.65	12.37
18	10	2009	32.30	24.20	82	6	2.30	3.10	3.145	3.93	2.27	33.21	2.3	11.61	11.59	1.02	7.90
19	10	2009	31.90	25.00	84	6	1.90	2.90	3.259	3.95	2.27	33.10	1.9	11.60	10.99	0.87	7.59
20	10	2009	33.30	24.10	82	8	6.40	4.30	3.228	4.06	3.03	32.98	6.4	11.59	17.35	2.14	11.22
21	10	2009	31.30	24.70	91	8	1.20	2.50	3.440	3.84	3.03	32.87	1.2	11.57	9.92	0.62	7.02
22	10	2009	31.90	24.10	87	8	3.90	3.30	3.289	3.87	3.03	32.75	3.9	11.56	13.71	1.39	9.16
23	10	2009	30.40	23.50	83	8	3.40	3.30	2.951	3.62	3.03	32.63	3.4	11.55	12.96	1.43	8.55
24	10	2009	32.50	22.90	80	10	8.60	4.80	2.972	3.84	3.79	32.52	8.6	11.54	20.25	3.04	12.55
25	10	2009	33.50	23.40	80	8	8.40	4.70	3.104	4.03	3.03	32.40	8.4	11.52	19.91	2.85	12.48
26	10	2009	34.30	24.80	80	5	8.30	4.50	3.308	4.27	1.90	32.29	8.3	11.51	19.71	2.62	12.56
27	10	2009	33.30	23.70	79	8	8.50	4.80	3.074	4.02	3.03	32.17	8.5	11.50	19.93	2.93	12.42
28	10	2009	32.20	21.70	76	9	8.40	4.80	2.702	3.70	3.41	32.06	8.4	11.49	19.73	3.30	11.89
29	10	2009	33.20	23.90	75	8	7.90	4.80	2.927	4.03	3.03	31.94	7.9	11.47	18.98	2.93	11.69
30	10	2009	32.80	21.20	76	12	8.40	5.10	2.710	3.75	4.55	31.83	8.4	11.46	19.62	3.30	11.81
31	10	2009	32.30	21.00	76	8	8.30	4.70	2.655	3.66	3.03	31.71	8.3	11.45	19.42	3.32	11.63

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	11	2009	31.80	22.00	70	18	7.60	5.90	2.481	3.67	6.82	31.60	7.6	11.44	18.40	3.30	10.87
2	11	2009	31.50	20.80	71	24	5.70	6.00	2.408	3.54	9.10	31.49	5.7	11.43	15.73	2.64	9.47
3	11	2009	26.30	21.90	70	28	0.40	4.90	2.101	3.03	10.62	31.38	0.4	11.42	8.39	0.68	5.78
4	11	2009	30.10	19.50	74	24	3.10	5.00	2.316	3.27	9.10	31.27	3.1	11.41	12.07	1.68	7.61
5	11	2009	31.40	19.50	73	20	6.30	5.50	2.375	3.43	7.58	31.16	6.3	11.39	16.41	2.88	9.75
6	11	2009	32.50	20.40	72	18	8.40	5.90	2.485	3.64	6.82	31.05	8.4	11.38	19.22	3.59	11.21
7	11	2009	32.70	22.20	83	8	3.30	3.30	3.038	3.81	3.03	30.95	3.3	11.37	12.23	1.38	8.04
8	11	2009	34.60	22.90	83	8	4.90	3.80	3.277	4.15	3.03	30.84	4.9	11.36	14.36	1.71	9.35
9	11	2009	35.00	23.20	78	8	7.00	4.60	3.143	4.23	3.03	30.74	7.0	11.35	17.16	2.45	10.76
10	11	2009	35.50	25.00	76	8	7.60	4.90	3.271	4.47	3.03	30.64	7.6	11.34	17.93	2.53	11.28
11	11	2009	34.70	24.90	78	8	7.70	4.70	3.272	4.34	3.03	30.54	7.7	11.33	18.01	2.54	11.33
12	11	2009	36.40	24.20	75	4	7.90	4.40	3.237	4.55	1.52	30.44	7.9	11.32	18.23	2.66	11.38
13	11	2009	35.70	24.50	77	8	6.60	4.60	3.286	4.46	3.03	30.34	6.6	11.31	16.44	2.23	10.43
14	11	2009	33.60	23.30	79	8	7.30	4.40	3.065	4.03	3.03	30.25	7.3	11.30	17.33	2.61	10.73
15	11	2009	35.80	24.10	81	10	5.50	4.30	3.427	4.44	3.79	30.15	5.5	11.29	14.88	1.79	9.66

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
16	11	2009	32.50	24.00	84	6	2.20	2.80	3.222	3.94	2.27	30.06	2.2	11.28	10.45	0.98	7.06
17	11	2009	30.00	22.60	77	12	2.80	3.70	2.635	3.49	4.55	29.97	2.8	11.27	11.21	1.43	7.21
18	11	2009	28.30	17.80	66	10	7.90	4.70	1.860	2.94	3.79	29.88	7.9	11.27	17.95	4.10	9.72
19	11	2009	29.00	16.50	73	16	5.30	4.60	2.020	2.94	6.07	29.80	5.3	11.26	14.46	2.77	8.37
20	11	2009	27.80	15.90	71	16	7.10	4.70	1.860	2.77	6.07	29.71	7.1	11.25	16.80	3.69	9.25
21	11	2009	26.30	15.00	65	16	8.00	5.10	1.582	2.56	6.07	29.63	8.0	11.24	17.95	4.42	9.40
22	11	2009	27.00	13.30	69	14	8.60	4.70	1.628	2.55	5.31	29.55	8.6	11.23	18.70	4.61	9.79
23	11	2009	28.20	14.40	73	12	8.40	4.40	1.849	2.73	4.55	29.47	8.4	11.23	18.40	4.26	9.91
24	11	2009	30.30	15.50	76	12	8.20	4.50	2.122	3.04	4.55	29.40	8.2	11.22	18.09	3.88	10.06
25	11	2009	31.30	16.00	73	14	8.50	5.10	2.133	3.19	5.31	29.33	8.5	11.21	18.45	4.03	10.18
26	11	2009	32.20	15.80	75	8	7.90	4.40	2.238	3.30	3.03	29.26	7.9	11.20	17.63	3.66	9.91
27	11	2009	33.10	17.20	77	8	7.90	4.40	2.461	3.51	3.03	29.19	7.9	11.20	17.59	3.43	10.12
28	11	2009	33.30	18.10	74	10	8.40	4.90	2.444	3.60	3.79	29.12	8.4	11.19	18.21	3.67	10.35
29	11	2009	32.80	19.20	70	12	8.10	5.30	2.353	3.60	4.55	29.06	8.1	11.18	17.79	3.69	10.01
30	11	2009	31.80	18.20	68	12	8.10	5.30	2.154	3.40	4.55	29.00	8.1	11.18	17.76	3.91	9.76

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	12	2009	31.20	17.30	71	12	8.40	5.00	2.151	3.26	4.55	28.94	8.4	11.17	18.12	4.00	9.95
2	12	2009	31.40	17.00	73	16	8.10	5.30	2.205	3.27	6.07	28.89	8.1	11.17	17.70	3.80	9.82
3	12	2009	30.70	18.20	67	18	7.80	5.80	2.054	3.25	6.82	28.84	7.8	11.16	17.28	3.90	9.41
4	12	2009	29.70	16.70	74	12	6.40	4.30	2.104	3.04	4.55	28.79	6.4	11.16	15.45	3.18	8.72
5	12	2009	30.00	16.90	71	10	6.50	4.30	2.050	3.08	3.79	28.74	6.5	11.15	15.56	3.30	8.68
6	12	2009	30.70	16.00	75	10	6.20	4.10	2.152	3.12	3.79	28.70	6.2	11.15	15.16	3.06	8.61
7	12	2009	31.40	16.60	73	8	8.10	4.30	2.178	3.24	3.03	28.66	8.1	11.14	17.58	3.84	9.70
8	12	2009	31.90	16.40	72	10	6.90	4.60	2.168	3.30	3.79	28.62	6.9	11.14	16.02	3.37	8.97
9	12	2009	32.80	17.80	72	8	8.40	4.60	2.322	3.51	3.03	28.59	8.4	11.14	17.93	3.83	9.97
10	12	2009	32.60	18.50	71	8	7.80	4.50	2.324	3.52	3.03	28.56	7.8	11.13	17.14	3.60	9.60
11	12	2009	32.70	18.00	72	6	7.90	4.20	2.329	3.51	2.27	28.53	7.9	11.13	17.26	3.63	9.66
12	12	2009	32.80	17.50	72	10	8.30	4.90	2.301	3.49	3.79	28.50	8.3	11.13	17.76	3.82	9.86
13	12	2009	32.50	22.00	74	6	4.50	3.60	2.677	3.77	2.27	28.48	4.5	11.13	12.88	2.05	7.87
14	12	2009	33.30	20.30	75	6	7.60	4.10	2.643	3.75	2.27	28.46	7.6	11.12	16.84	3.18	9.79
15	12	2009	34.30	20.70	75	6	8.10	4.30	2.753	3.93	2.27	28.45	8.1	11.12	17.47	3.25	10.20

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
16	12	2009	34.30	20.80	73	8	7.10	4.50	2.688	3.93	3.03	28.43	7.1	11.12	16.18	2.98	9.48
17	12	2009	32.80	20.20	72	10	7.80	4.80	2.493	3.67	3.79	28.42	7.8	11.12	17.07	3.43	9.72
18	12	2009	31.20	18.90	74	8	3.50	3.60	2.351	3.36	3.03	28.42	3.5	11.12	11.58	1.85	7.06
19	12	2009	31.10	20.50	67	10	7.30	4.80	2.226	3.47	3.79	28.41	7.3	11.12	16.43	3.53	9.12
20	12	2009	29.00	17.00	69	14	7.90	4.90	1.939	2.97	5.31	28.41	7.9	11.12	17.20	4.03	9.21
21	12	2009	29.10	16.30	72	8	8.20	4.10	1.986	2.94	3.03	28.42	8.2	11.12	17.58	4.08	9.46
22	12	2009	29.30	16.00	74	8	7.50	3.90	2.035	2.95	3.03	28.42	7.5	11.12	16.69	3.71	9.14
23	12	2009	30.80	16.60	74	8	7.50	4.10	2.169	3.17	3.03	28.43	7.5	11.12	16.70	3.59	9.26
24	12	2009	32.50	16.80	64	5	8.10	4.20	1.985	3.40	1.90	28.44	8.1	11.12	17.47	4.15	9.30
25	12	2009	33.50	17.40	72	6	8.10	4.30	2.343	3.58	2.27	28.46	8.1	11.12	17.48	3.70	9.76
26	12	2009	34.30	18.60	73	8	7.90	4.70	2.520	3.78	3.03	28.48	7.9	11.12	17.23	3.43	9.84
27	12	2009	34.80	20.50	74	6	7.50	4.30	2.741	3.99	2.27	28.50	7.5	11.12	16.73	3.06	9.82
28	12	2009	32.90	22.60	77	6	7.70	4.00	2.868	3.87	2.27	28.52	7.7	11.13	17.00	2.98	10.11
29	12	2009	33.70	21.10	73	8	8.00	4.60	2.664	3.87	3.03	28.55	8.0	11.13	17.40	3.32	10.08
30	12	2009	34.40	21.30	75	8	7.60	4.50	2.810	3.99	3.03	28.58	7.6	11.13	16.90	3.02	10.00
31	12	2009	34.20	21.50	75	6	7.50	4.20	2.810	3.97	2.27	28.62	7.5	11.13	16.79	2.98	9.95

ตารางผนวกที่ ก2 การคำนวณหาค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ปี พ.ศ.2553/54 จากโปรแกรม Eto Calculator V.3.1

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	7	2010	36.60	26.00	83	10	4.80	4.70	3.793	4.75	3.79	38.27	4.8	12.87	16.71	1.23	11.63
2	7	2010	31.70	24.40	88	12	1.60	3.20	3.336	3.87	4.55	38.27	1.6	12.86	11.95	0.71	8.49
3	7	2010	34.80	23.40	83	12	7.20	5.20	3.344	4.22	4.55	38.27	7.2	12.86	20.28	2.07	13.55
4	7	2010	35.80	24.70	81	21	11.00	6.70	3.486	4.49	7.96	38.27	11.0	12.86	25.94	2.83	17.14
5	7	2010	34.30	23.80	80	10	8.80	5.50	3.214	4.18	3.79	38.27	8.8	12.85	22.67	2.60	14.86
6	7	2010	35.50	25.00	78	10	9.90	6.10	3.357	4.47	3.79	38.27	9.9	12.85	24.31	2.74	15.98
7	7	2010	35.80	24.80	78	10	9.60	6.10	3.367	4.50	3.79	38.27	9.6	12.84	23.87	2.66	15.72
8	7	2010	36.60	24.40	75	14	10.40	7.00	3.275	4.60	5.31	38.27	10.4	12.84	25.06	2.99	16.31
9	7	2010	36.30	24.70	76	10	10.20	6.40	3.318	4.58	3.79	38.27	10.2	12.83	24.77	2.88	16.20
10	7	2010	36.00	25.20	73	12	11.20	7.00	3.206	4.57	4.55	38.27	11.2	12.83	26.27	3.29	16.94
11	7	2010	36.70	25.20	71	11	9.00	6.70	3.181	4.69	4.17	38.27	9.0	12.82	23.00	2.76	14.95
12	7	2010	37.30	26.20	72	19	10.00	7.80	3.375	4.89	7.20	38.27	10.0	12.82	24.49	2.80	16.06
13	7	2010	36.00	25.40	79	10	5.10	5.00	3.489	4.59	3.79	38.27	5.1	12.81	17.18	1.50	11.74
14	7	2010	36.30	24.90	81	12	6.50	5.40	3.557	4.59	4.55	38.27	6.5	12.81	19.28	1.76	13.09
15	7	2010	33.90	25.00	84	10	4.60	4.30	3.453	4.23	3.79	38.27	4.6	12.80	16.44	1.38	11.28

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
16	7	2010	33.50	25.00	82	8	3.70	4.10	3.332	4.17	3.03	38.27	3.7	12.79	15.10	1.24	10.39
17	7	2010	32.40	25.80	79	15	1.60	4.30	3.183	4.09	5.69	38.27	1.6	12.79	11.96	0.78	8.43
18	7	2010	31.00	24.70	86	12	0.00	3.00	3.222	3.80	4.55	38.27	0.0	12.78	9.57	0.35	7.02
19	7	2010	36.00	25.00	78	10	7.90	5.80	3.406	4.55	3.79	38.27	7.9	12.77	21.40	2.23	14.25
20	7	2010	36.80	25.50	73	10	9.20	6.50	3.308	4.74	3.79	38.27	9.2	12.76	23.36	2.68	15.31
21	7	2010	37.30	25.80	74	20	8.90	7.50	3.430	4.85	7.58	38.27	8.9	12.76	22.92	2.47	15.17
22	7	2010	35.30	24.80	83	12	5.60	4.90	3.532	4.42	4.55	38.27	5.6	12.75	17.97	1.57	12.27
23	7	2010	34.00	25.20	85	18	2.50	4.20	3.525	4.26	6.82	38.26	2.5	12.74	13.32	0.87	9.38
24	7	2010	34.20	24.90	80	10	6.40	5.00	3.308	4.26	3.79	38.26	6.4	12.73	19.18	1.93	12.84
25	7	2010	34.20	25.60	78	12	7.40	5.60	3.291	4.33	4.55	38.26	7.4	12.72	20.69	2.21	13.73
26	7	2010	32.30	25.20	89	14	4.40	3.80	3.514	4.02	5.31	38.26	4.4	12.71	16.18	1.29	11.17
27	7	2010	32.30	24.50	89	14	5.70	4.10	3.443	3.96	5.31	38.25	5.7	12.70	18.15	1.63	12.34
28	7	2010	34.30	25.60	83	12	8.00	5.30	3.512	4.35	4.55	38.25	8.0	12.69	21.62	2.13	14.51
29	7	2010	34.30	25.00	86	15	8.20	5.20	3.576	4.29	5.69	38.24	8.2	12.68	21.92	2.11	14.78
30	7	2010	34.40	25.90	82	13	6.50	5.10	3.509	4.39	4.93	38.24	6.5	12.67	19.37	1.80	13.11
31	7	2010	33.70	25.80	81	12	8.70	5.60	3.388	4.28	4.55	38.23	8.7	12.66	22.69	2.43	15.04

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	8	2010	32.50	25.90	87	10	4.50	3.90	3.525	4.12	3.79	38.23	4.5	12.65	16.35	1.32	11.27
2	8	2010	31.80	24.00	91	10	2.20	3.00	3.420	3.84	3.79	38.22	2.2	12.64	12.88	0.83	9.09
3	8	2010	32.80	24.20	89	22	4.70	4.00	3.463	4.00	8.34	38.21	4.7	12.63	16.66	1.39	11.43
4	8	2010	33.40	24.80	85	10	5.90	4.50	3.425	4.14	3.79	38.20	5.9	12.62	18.48	1.72	12.51
5	8	2010	31.50	24.40	84	10	2.90	3.70	3.166	3.84	3.79	38.19	2.9	12.61	13.94	1.12	9.62
6	8	2010	32.90	23.20	81	10	7.70	5.10	3.071	3.92	3.79	38.18	7.7	12.60	21.21	2.47	13.86
7	8	2010	33.00	25.30	83	12	5.10	4.50	3.354	4.13	4.55	38.17	5.1	12.59	17.27	1.58	11.72
8	8	2010	32.60	25.00	83	12	5.80	4.60	3.286	4.04	4.55	38.15	5.8	12.58	18.34	1.80	12.32
9	8	2010	34.50	25.00	82	10	5.50	4.70	3.430	4.32	3.79	38.14	5.5	12.57	17.88	1.64	12.13
10	8	2010	34.80	25.80	84	12	6.50	5.00	3.626	4.44	4.55	38.12	6.5	12.55	19.40	1.72	13.22
11	8	2010	34.10	24.90	88	10	5.30	4.20	3.628	4.25	3.79	38.11	5.3	12.54	17.58	1.44	12.09
12	8	2010	33.80	24.00	87	10	6.00	4.40	3.465	4.12	3.79	38.09	6.0	12.53	18.64	1.71	12.64
13	8	2010	32.10	23.80	86	10	3.40	3.70	3.241	3.87	3.79	38.07	3.4	12.52	14.69	1.21	10.10
14	8	2010	33.70	25.00	83	16	6.20	5.00	3.393	4.20	6.07	38.05	6.2	12.51	18.94	1.83	12.75
15	8	2010	33.70	25.30	79	10	6.70	5.10	3.257	4.23	3.79	38.03	6.7	12.49	19.70	2.08	13.09

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
16	8	2010	32.70	25.00	83	12	0.00	3.40	3.296	4.06	4.55	38.01	0.0	12.48	9.50	0.34	6.97
17	8	2010	32.20	23.40	91	10	1.10	2.80	3.400	3.84	3.79	37.98	1.1	12.47	11.17	0.58	8.02
18	8	2010	33.10	25.00	86	8	1.20	3.20	3.455	4.11	3.03	37.96	1.2	12.46	11.32	0.60	8.11
19	8	2010	33.30	25.00	88	18	5.20	4.20	3.556	4.14	6.82	37.93	5.2	12.44	17.41	1.47	11.93
20	8	2010	32.70	23.80	87	12	4.20	3.90	3.337	3.95	4.55	37.90	4.2	12.43	15.88	1.37	10.86
21	8	2010	30.70	24.40	88	10	0.80	2.90	3.240	3.74	3.79	37.87	0.8	12.42	10.69	0.55	7.68
22	8	2010	33.20	23.90	85	10	5.70	4.40	3.317	4.03	3.79	37.84	5.7	12.41	18.15	1.76	12.21
23	8	2010	31.50	23.80	87	11	1.60	3.20	3.222	3.79	4.17	37.80	1.6	12.39	11.89	0.76	8.39
24	8	2010	30.00	25.00	91	12	0.00	2.40	3.341	3.71	4.55	37.77	0.0	12.38	9.44	0.33	6.94
25	8	2010	32.10	24.30	85	12	3.10	3.80	3.251	3.91	4.55	37.73	3.1	12.37	14.16	1.15	9.76
26	8	2010	33.80	24.40	88	21	8.20	4.90	3.545	4.16	7.96	37.69	8.2	12.35	21.93	2.17	14.72
27	8	2010	34.00	25.20	84	12	6.80	4.90	3.483	4.26	4.55	37.65	6.8	12.34	19.79	1.92	13.31
28	8	2010	29.90	24.50	89	10	0.00	2.50	3.211	3.65	3.79	37.61	0.0	12.33	9.40	0.35	6.89
29	8	2010	31.20	24.50	85	9	2.40	3.40	3.185	3.81	3.41	37.57	2.4	12.31	13.05	0.99	9.06
30	8	2010	33.00	24.40	82	12	0.50	3.60	3.228	4.04	4.55	37.52	0.5	12.30	10.14	0.49	7.32
31	8	2010	33.50	24.50	83	10	6.20	4.70	3.325	4.12	3.79	37.47	6.2	12.29	18.82	1.91	12.58

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
1	9	2010	32.70	26.20	88	9	0.70	2.90	3.618	4.17	3.41	37.42	0.7	12.27	10.42	0.45	7.57
2	9	2010	32.00	25.40	93	9	2.30	2.90	3.661	4.00	3.41	37.37	2.3	12.26	12.85	0.78	9.11
3	9	2010	31.20	24.40	90	8	2.00	2.90	3.363	3.80	3.03	37.32	2.0	12.24	12.38	0.82	8.71
4	9	2010	32.50	24.30	84	9	7.90	4.80	3.250	3.96	3.41	37.26	7.9	12.23	21.35	2.41	14.03
5	9	2010	32.90	24.60	83	10	9.10	5.20	3.277	4.05	3.79	37.21	9.1	12.22	23.16	2.70	15.13
6	9	2010	33.20	25.80	85	8	3.00	3.60	3.504	4.20	3.03	37.15	3.0	12.20	13.85	1.02	9.64
7	9	2010	35.50	25.20	83	8	8.90	5.40	3.593	4.49	3.03	37.09	8.9	12.19	22.81	2.34	15.22
8	9	2010	35.90	25.50	81	10	8.60	5.70	3.577	4.59	3.79	37.03	8.6	12.17	22.33	2.30	14.89
9	9	2010	32.70	25.20	83	10	3.80	4.00	3.315	4.08	3.79	36.96	3.8	12.16	15.02	1.32	10.25
10	9	2010	34.30	24.80	82	11	8.50	5.40	3.391	4.27	4.17	36.90	8.5	12.15	22.13	2.46	14.58
11	9	2010	34.00	25.50	84	8	4.00	4.00	3.513	4.29	3.03	36.83	4.0	12.13	15.28	1.26	10.50
12	9	2010	33.70	25.40	83	10	6.40	4.70	3.432	4.24	3.79	36.76	6.4	12.12	18.90	1.90	12.65
13	9	2010	33.20	24.80	88	12	3.00	3.60	3.525	4.11	4.55	36.69	3.0	12.10	13.72	1.01	9.55
14	9	2010	30.70	23.80	94	10	0.90	2.40	3.401	3.68	3.79	36.61	0.9	12.09	10.52	0.54	7.56
15	9	2010	31.70	24.30	91	8	2.90	3.10	3.440	3.86	3.03	36.54	2.9	12.07	13.52	1.02	9.39

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
16	9	2010	32.60	24.50	89	10	6.70	4.20	3.473	4.00	3.79	36.46	6.7	12.06	19.24	1.92	12.90
17	9	2010	32.30	23.90	89	6	5.80	3.90	3.384	3.90	2.27	36.38	5.8	12.05	17.85	1.77	11.98
18	9	2010	32.50	24.30	87	9	3.60	3.60	3.366	3.96	3.41	36.30	3.6	12.03	14.50	1.24	9.93
19	9	2010	33.50	24.50	86	6	6.90	4.40	3.445	4.12	2.27	36.22	6.9	12.02	19.45	2.01	12.97
20	9	2010	34.70	24.40	83	10	8.10	5.10	3.432	4.29	3.79	36.13	8.1	12.00	21.22	2.34	14.00
21	9	2010	34.70	25.40	85	13	8.30	5.20	3.617	4.39	4.93	36.04	8.3	11.99	21.49	2.20	14.35
22	9	2010	34.00	24.40	88	18	4.60	4.10	3.566	4.19	6.82	35.96	4.6	11.97	15.90	1.37	10.87
23	9	2010	34.70	24.50	84	8	8.20	5.00	3.483	4.30	3.03	35.87	8.2	11.96	21.26	2.32	14.06
24	9	2010	34.80	24.40	82	8	7.50	4.90	3.400	4.31	3.03	35.78	7.5	11.95	20.17	2.23	13.30
25	9	2010	34.80	25.20	88	10	4.80	4.00	3.734	4.38	3.79	35.68	4.8	11.93	16.10	1.32	11.07
26	9	2010	33.80	24.80	88	8	6.10	4.10	3.587	4.20	3.03	35.59	6.1	11.92	18.01	1.71	12.15
27	9	2010	28.70	25.30	94	8	0.00	2.00	3.351	3.58	3.03	35.49	0.0	11.90	8.87	0.33	6.50
28	9	2010	32.00	24.70	85	12	6.30	4.30	3.279	3.93	4.55	35.40	6.3	11.89	18.23	2.01	12.02
29	9	2010	32.40	23.60	84	14	6.80	4.60	3.175	3.89	5.31	35.30	6.8	11.88	18.93	2.24	12.34
30	9	2010	32.80	23.50	82	14	8.90	5.20	3.127	3.94	5.31	35.20	8.9	11.86	22.00	2.88	14.06

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	10	2010	33.30	24.30	77	18	8.60	5.90	3.049	4.08	6.82	35.09	8.6	11.85	21.51	2.92	13.64
2	10	2010	32.00	24.70	82	16	4.70	4.40	3.163	3.93	6.07	34.99	4.7	11.83	15.70	1.68	10.41
3	10	2010	29.90	24.30	85	22	1.20	3.40	3.048	3.63	8.34	34.89	1.2	11.82	10.49	0.72	7.36
4	10	2010	26.80	24.30	89	16	0.00	2.40	2.913	3.28	6.07	34.78	0.0	11.80	8.70	0.39	6.31
5	10	2010	26.10	23.80	89	10	0.30	2.30	2.811	3.17	3.79	34.68	0.3	11.79	9.11	0.49	6.52
6	10	2010	29.60	22.20	84	11	5.00	3.70	2.807	3.41	4.17	34.57	5.0	11.78	15.98	1.98	10.32
7	10	2010	32.20	23.60	81	7	8.60	4.70	3.044	3.86	2.65	34.46	8.6	11.76	21.21	2.91	13.42
8	10	2010	33.30	24.10	81	8	9.30	5.10	3.189	4.06	3.03	34.35	9.3	11.75	22.18	2.96	14.12
9	10	2010	32.70	24.70	86	9	3.30	3.50	3.386	4.03	3.41	34.24	3.3	11.74	13.37	1.18	9.12
10	10	2010	33.40	24.50	84	9	4.80	4.00	3.355	4.11	3.41	34.13	4.8	11.72	15.52	1.59	10.36
11	10	2010	31.00	25.60	87	10	4.40	3.50	3.346	3.89	3.79	34.02	4.4	11.71	14.90	1.48	9.99
12	10	2010	32.60	24.10	89	10	4.10	3.40	3.433	3.96	3.79	33.90	4.1	11.69	14.42	1.35	9.75
13	10	2010	31.80	24.20	86	16	5.00	3.90	3.251	3.86	6.07	33.79	5.0	11.68	15.68	1.70	10.37
14	10	2010	31.10	24.00	88	24	4.00	3.60	3.240	3.75	9.10	33.68	4.0	11.67	14.19	1.43	9.50
15	10	2010	29.50	23.90	89	14	1.70	2.80	3.118	3.54	5.31	33.56	1.7	11.65	10.84	0.84	7.50

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
16	10	2010	29.20	23.50	92	10	0.80	2.20	3.157	3.47	3.79	33.45	0.8	11.64	9.51	0.58	6.75
17	10	2010	30.90	23.90	88	14	1.50	2.90	3.212	3.72	5.31	33.33	1.5	11.63	10.48	0.76	7.31
18	10	2010	32.30	23.80	86	8	5.20	3.70	3.260	3.89	3.03	33.21	5.2	11.61	15.74	1.76	10.36
19	10	2010	31.30	24.30	85	10	5.10	3.70	3.176	3.80	3.79	33.10	5.1	11.60	15.55	1.79	10.18
20	10	2010	30.80	23.70	80	13	6.20	4.40	2.894	3.69	4.93	32.98	6.2	11.59	17.07	2.35	10.79
21	10	2010	31.30	22.40	74	14	8.00	5.30	2.615	3.64	5.31	32.87	8.0	11.57	19.57	3.24	11.83
22	10	2010	31.20	22.40	77	10	8.90	4.90	2.713	3.63	3.79	32.75	8.9	11.56	20.79	3.43	12.58
23	10	2010	32.50	23.60	81	8	5.80	4.10	3.071	3.90	3.03	32.63	5.8	11.55	16.35	2.10	10.49
24	10	2010	34.30	24.00	82	6	7.40	4.40	3.313	4.20	2.27	32.52	7.4	11.54	18.56	2.35	11.94
25	10	2010	34.00	24.90	80	9	8.60	4.90	3.289	4.23	3.41	32.40	8.6	11.52	20.19	2.72	12.83
26	10	2010	31.80	23.50	79	11	7.70	4.70	2.926	3.80	4.17	32.29	7.7	11.51	18.87	2.82	11.71
27	10	2010	31.70	22.70	77	17	5.50	4.90	2.778	3.72	6.45	32.17	5.5	11.50	15.74	2.25	9.87
28	10	2010	30.40	22.80	75	19	7.50	5.30	2.612	3.56	7.20	32.06	7.5	11.49	18.48	3.08	11.15
29	10	2010	27.80	19.20	72	22	4.60	4.90	2.085	2.98	8.34	31.94	4.6	11.47	14.39	2.40	8.68
30	10	2010	26.40	18.70	70	29	4.80	5.30	1.914	2.80	11.00	31.83	4.8	11.46	14.62	2.60	8.66
31	10	2010	26.70	16.30	71	16	4.20	4.40	1.821	2.68	6.07	31.71	4.2	11.45	13.74	2.39	8.19

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	11	2010	27.60	16.30	74	19	6.70	4.70	1.951	2.77	7.20	31.60	6.7	11.44	17.16	3.36	9.85
2	11	2010	29.30	18.20	74	20	3.70	4.70	2.175	3.08	7.58	31.49	3.7	11.43	12.97	1.98	8.01
3	11	2010	29.50	19.80	63	25	4.20	6.50	1.954	3.22	9.48	31.38	4.2	11.42	13.62	2.39	8.10
4	11	2010	28.80	17.00	67	24	8.20	6.10	1.871	2.95	9.10	31.27	8.2	11.41	19.06	4.17	10.51
5	11	2010	27.80	18.40	74	17	0.50	3.90	2.092	2.93	6.45	31.16	0.5	11.39	8.47	0.72	5.81
6	11	2010	28.70	19.90	73	15	1.80	4.10	2.218	3.13	5.69	31.05	1.8	11.38	10.22	1.21	6.66
7	11	2010	29.30	21.40	76	15	0.70	3.70	2.458	3.31	5.69	30.95	0.7	11.37	8.69	0.72	5.97
8	11	2010	30.50	21.00	69	16	2.70	4.90	2.285	3.43	6.07	30.84	2.7	11.36	11.38	1.57	7.19
9	11	2010	29.70	20.90	65	22	6.60	6.20	2.096	3.32	8.34	30.74	6.6	11.35	16.62	3.31	9.48
10	11	2010	30.60	20.80	69	22	8.00	6.10	2.279	3.42	8.34	30.64	8.0	11.34	18.47	3.68	10.54
11	11	2010	30.80	19.90	74	12	5.10	4.40	2.393	3.38	4.55	30.54	5.1	11.33	14.51	2.42	8.75
12	11	2010	30.80	21.50	71	16	7.00	5.30	2.408	3.50	6.07	30.44	7.0	11.32	17.02	3.16	9.95
13	11	2010	31.40	20.30	74	16	7.00	5.10	2.465	3.49	6.07	30.34	7.0	11.31	16.97	3.08	9.99
14	11	2010	32.90	20.50	73	17	7.60	5.60	2.557	3.71	6.45	30.25	7.6	11.30	17.73	3.24	10.42
15	11	2010	31.40	20.80	80	20	5.90	4.60	2.705	3.53	7.58	30.15	5.9	11.29	15.41	2.45	9.42

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
16	11	2010	32.50	23.10	74	16	6.90	5.30	2.765	3.86	6.07	30.06	6.9	11.28	16.71	2.79	10.07
17	11	2010	31.50	21.30	73	18	3.90	5.00	2.512	3.58	6.82	29.97	3.9	11.27	12.68	1.91	7.85
18	11	2010	32.30	21.40	74	12	7.20	4.90	2.615	3.69	4.55	29.88	7.2	11.27	17.02	3.03	10.07
19	11	2010	31.50	20.50	75	14	4.70	4.50	2.521	3.52	5.31	29.80	4.7	11.26	13.67	2.19	8.34
20	11	2010	32.00	19.40	78	14	7.80	4.80	2.576	3.50	5.31	29.71	7.8	11.25	17.73	3.26	10.40
21	11	2010	33.30	19.90	72	14	8.30	5.50	2.507	3.72	5.31	29.63	8.3	11.24	18.35	3.57	10.56
22	11	2010	33.90	20.20	73	14	7.10	5.40	2.610	3.83	5.31	29.55	7.1	11.23	16.73	3.02	9.86
23	11	2010	33.40	20.20	75	10	6.60	4.60	2.643	3.76	3.79	29.47	6.6	11.23	16.03	2.80	9.55
24	11	2010	33.20	19.80	74	10	6.10	4.50	2.562	3.70	3.79	29.40	6.1	11.22	15.34	2.69	9.12
25	11	2010	32.30	19.90	72	12	5.60	4.70	2.435	3.58	4.55	29.33	5.6	11.21	14.66	2.62	8.67
26	11	2010	31.50	19.50	70	14	5.40	5.00	2.284	3.44	5.31	29.26	5.4	11.20	14.36	2.66	8.40
27	11	2010	31.80	18.70	74	14	5.20	4.70	2.379	3.43	5.31	29.19	5.2	11.20	14.07	2.49	8.35
28	11	2010	32.00	19.20	74	14	5.10	4.70	2.429	3.49	5.31	29.12	5.1	11.19	13.92	2.42	8.30
29	11	2010	32.80	20.00	72	15	5.10	5.10	2.478	3.66	5.69	29.06	5.1	11.18	13.89	2.40	8.29
30	11	2010	32.50	21.10	70	12	4.30	4.70	2.467	3.70	4.55	29.00	4.3	11.18	12.83	2.12	7.76

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	12	2010	32.20	19.40	71	18	4.50	5.30	2.359	3.53	6.82	28.94	4.5	11.17	13.06	2.25	7.80
2	12	2010	32.00	19.40	74	16	4.30	4.80	2.444	3.50	6.07	28.89	4.3	11.17	12.78	2.11	7.74
3	12	2010	30.70	18.70	69	18	4.20	5.20	2.147	3.29	6.82	28.84	4.2	11.16	12.63	2.27	7.46
4	12	2010	30.40	18.10	73	15	3.90	4.50	2.211	3.21	5.69	28.79	3.9	11.16	12.23	2.09	7.33
5	12	2010	31.80	18.80	78	15	1.30	3.90	2.515	3.44	5.69	28.74	1.3	11.15	8.86	0.93	5.89
6	12	2010	33.30	21.00	74	15	3.80	4.80	2.662	3.80	5.69	28.70	3.8	11.15	12.07	1.80	7.49
7	12	2010	32.00	23.40	65	19	1.40	5.70	2.414	3.82	7.20	28.66	1.4	11.14	8.97	1.04	5.86
8	12	2010	29.80	19.90	69	19	3.70	5.10	2.166	3.26	7.20	28.62	3.7	11.14	11.91	2.05	7.11
9	12	2010	29.50	16.30	74	19	3.60	4.60	2.066	2.99	7.20	28.59	3.6	11.14	11.77	2.03	7.03
10	12	2010	31.90	17.00	74	6	3.30	3.30	2.268	3.33	2.27	28.56	3.3	11.13	11.37	1.81	6.94
11	12	2010	32.80	19.50	72	7	3.20	3.60	2.442	3.62	2.65	28.53	3.2	11.13	11.23	1.70	6.95
12	12	2010	34.30	20.70	74	12	3.10	4.40	2.717	3.93	4.55	28.50	3.1	11.13	11.10	1.53	7.02
13	12	2010	34.50	20.80	75	10	3.10	4.10	2.778	3.96	3.79	28.48	3.1	11.13	11.09	1.50	7.04
14	12	2010	33.80	21.00	75	10	3.10	4.00	2.737	3.87	3.79	28.46	3.1	11.12	11.08	1.51	7.02
15	12	2010	33.20	24.20	77	10	2.80	3.70	3.031	4.05	3.79	28.45	2.8	11.12	10.69	1.27	6.96

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
16	12	2010	31.60	22.50	75	20	1.80	4.60	2.682	3.69	7.58	28.43	1.8	11.12	9.41	1.07	6.17
17	12	2010	24.80	15.20	66	18	2.30	4.30	1.543	2.43	6.82	28.42	2.3	11.12	10.05	1.71	6.03
18	12	2010	27.70	14.30	72	14	2.80	4.00	1.791	2.67	5.31	28.42	2.8	11.12	10.68	1.82	6.40
19	12	2010	31.70	16.20	72	40	2.90	6.60	2.142	3.26	15.17	28.41	2.9	11.12	10.81	1.72	6.60
20	12	2010	32.30	17.90	73	9	2.90	3.80	2.326	3.44	3.41	28.41	2.9	11.12	10.81	1.64	6.69
21	12	2010	33.40	18.80	68	9	2.80	4.30	2.299	3.66	3.41	28.42	2.8	11.12	10.68	1.63	6.59
22	12	2010	32.70	20.70	72	10	2.80	4.00	2.522	3.69	3.79	28.42	2.8	11.12	10.68	1.51	6.71
23	12	2010	33.20	20.30	74	10	2.80	4.00	2.600	3.73	3.79	28.43	2.8	11.12	10.69	1.47	6.76
24	12	2010	33.20	19.70	71	10	2.80	4.20	2.451	3.69	3.79	28.44	2.8	11.12	10.69	1.55	6.68
25	12	2010	33.60	19.40	67	12	2.90	4.90	2.320	3.73	4.55	28.46	2.9	11.12	10.83	1.67	6.67
26	12	2010	29.20	19.60	65	20	2.90	5.40	1.987	3.17	7.58	28.48	2.9	11.12	10.83	1.82	6.52
27	12	2010	27.90	13.80	66	12	2.80	4.20	1.626	2.67	4.55	28.50	2.8	11.12	10.71	1.92	6.33
28	12	2010	29.30	14.00	65	15	2.70	4.90	1.682	2.84	5.69	28.52	2.7	11.13	10.59	1.86	6.30
29	12	2010	30.00	13.50	64	15	2.70	5.20	1.667	2.90	5.69	28.55	2.7	11.13	10.60	1.87	6.29
30	12	2010	30.30	13.50	63	16	6.80	5.80	1.656	2.93	6.07	28.58	6.8	11.13	15.88	3.86	8.37
31	12	2010	29.30	13.20	62	16	8.30	5.80	1.566	2.80	6.07	28.62	8.3	11.13	17.82	4.67	9.05

ตารางผนวกที่ ก3 การคำนวณหาค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ปี พ.ศ.2554/55 จากโปรแกรม Eto Calculator V.3.1

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ /m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
1	7	2011	28.70	23.40	87	12	0.00	2.70	2.933	3.41	4.55	38.27	0.0	12.87	9.57	0.39	6.98
2	7	2011	33.80	24.00	82	14	8.30	5.40	3.266	4.12	5.31	38.27	8.3	12.86	21.91	2.41	14.47
3	7	2011	34.20	24.00	76	19	9.50	6.60	3.062	4.18	7.20	38.27	9.5	12.86	23.70	2.96	15.29
4	7	2011	34.30	23.40	77	8	9.20	5.70	3.058	4.14	3.03	38.27	9.2	12.86	23.26	2.88	15.03
5	7	2011	34.80	24.50	75	10	10.30	6.30	3.119	4.32	3.79	38.27	10.3	12.85	24.90	3.13	16.04
6	7	2011	35.30	24.50	70	15	10.40	7.30	2.953	4.40	5.69	38.27	10.4	12.85	25.05	3.39	15.90
7	7	2011	36.00	25.60	74	14	10.20	6.90	3.287	4.61	5.31	38.27	10.2	12.84	24.76	2.93	16.14
8	7	2011	36.60	25.80	70	12	9.90	7.10	3.181	4.73	4.55	38.27	9.9	12.84	24.32	3.01	15.72
9	7	2011	35.90	26.20	72	10	3.90	5.30	3.244	4.66	3.79	38.27	3.9	12.83	15.38	1.37	10.47
10	7	2011	35.80	25.70	73	10	9.20	6.40	3.233	4.59	3.79	38.27	9.2	12.83	23.29	2.74	15.19
11	7	2011	36.20	25.50	72	11	8.80	6.50	3.207	4.64	4.17	38.27	8.8	12.82	22.70	2.67	14.80
12	7	2011	34.40	26.30	82	15	4.30	4.80	3.550	4.43	5.69	38.27	4.3	12.82	15.99	1.27	11.04
13	7	2011	32.70	25.40	90	17	1.10	3.10	3.616	4.10	6.45	38.27	1.1	12.81	11.21	0.53	8.10
14	7	2011	31.40	24.30	89	12	0.20	2.80	3.335	3.82	4.55	38.27	0.2	12.81	9.87	0.38	7.22
15	7	2011	32.00	24.40	85	16	1.90	3.70	3.251	3.91	6.07	38.27	1.9	12.80	12.41	0.82	8.73

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
16	7	2011	33.20	24.80	80	15	5.00	4.90	3.205	4.11	5.69	38.27	5.0	12.79	17.05	1.64	11.48
17	7	2011	33.20	25.20	80	18	4.10	4.90	3.242	4.15	6.82	38.27	4.1	12.79	15.70	1.39	10.70
18	7	2011	32.30	25.20	79	9	3.50	4.20	3.119	4.02	3.41	38.27	3.5	12.78	14.81	1.30	10.10
19	7	2011	34.30	25.40	81	16	6.80	5.40	3.407	4.33	6.07	38.27	6.8	12.77	19.76	1.94	13.27
20	7	2011	32.70	24.60	87	14	1.90	3.50	3.415	4.02	5.31	38.27	1.9	12.76	12.42	0.77	8.79
21	7	2011	31.70	24.80	87	16	0.50	3.20	3.337	3.90	6.07	38.27	0.5	12.76	10.32	0.46	7.49
22	7	2011	30.50	23.40	84	9	0.10	2.90	2.986	3.62	3.41	38.27	0.1	12.75	9.72	0.41	7.07
23	7	2011	33.20	24.20	79	13	8.80	5.70	3.110	4.05	4.93	38.26	8.8	12.74	22.78	2.72	14.82
24	7	2011	33.80	24.60	81	15	7.20	5.40	3.282	4.18	5.69	38.26	7.2	12.73	20.39	2.15	13.55
25	7	2011	32.80	24.90	83	12	5.90	4.60	3.296	4.06	4.55	38.26	5.9	12.72	18.44	1.80	12.39
26	7	2011	33.80	24.80	80	12	8.80	5.60	3.261	4.20	4.55	38.26	8.8	12.71	22.81	2.58	14.98
27	7	2011	33.10	25.20	80	12	6.80	5.10	3.232	4.13	4.55	38.25	6.8	12.70	19.80	2.09	13.15
28	7	2011	32.80	23.40	82	10	8.50	5.20	3.118	3.93	3.79	38.25	8.5	12.69	22.37	2.62	14.60
29	7	2011	31.70	24.80	83	10	1.90	3.60	3.183	3.90	3.79	38.24	1.9	12.68	12.43	0.85	8.72
30	7	2011	29.90	25.30	81	17	1.10	3.80	2.991	3.72	6.45	38.24	1.1	12.67	11.22	0.69	7.95
31	7	2011	27.30	24.00	90	14	0.70	2.50	2.963	3.31	5.31	38.23	0.7	12.66	10.61	0.57	7.60

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	8	2011	28.60	23.80	90	15	0.20	2.50	3.061	3.43	5.69	38.23	0.2	12.65	9.86	0.42	7.17
2	8	2011	31.60	24.10	89	17	1.00	3.10	3.335	3.83	6.45	38.22	1.0	12.64	11.07	0.57	7.95
3	8	2011	33.20	25.10	86	17	1.80	3.80	3.475	4.14	6.45	38.21	1.8	12.63	12.27	0.73	8.72
4	8	2011	34.10	24.70	81	8	9.10	5.50	3.320	4.23	3.03	38.20	9.1	12.62	23.32	2.60	15.36
5	8	2011	33.70	25.70	77	14	6.70	5.60	3.211	4.27	5.31	38.19	6.7	12.61	19.69	2.11	13.05
6	8	2011	34.50	25.90	77	14	5.90	5.50	3.305	4.41	5.31	38.18	5.9	12.60	18.48	1.84	12.39
7	8	2011	32.40	25.50	85	21	2.00	4.00	3.395	4.06	7.96	38.17	2.0	12.59	12.57	0.81	8.87
8	8	2011	33.30	24.40	83	22	4.00	4.80	3.296	4.09	8.34	38.15	4.0	12.58	15.61	1.34	10.67
9	8	2011	32.80	25.20	81	17	3.60	4.60	3.245	4.09	6.45	38.14	3.6	12.57	15.00	1.28	10.27
10	8	2011	29.00	22.80	88	11	2.50	3.10	2.941	3.39	4.17	38.12	2.5	12.55	13.33	1.09	9.18
11	8	2011	31.60	24.00	84	11	1.40	3.40	3.138	3.82	4.17	38.11	1.4	12.54	11.65	0.73	8.24
12	8	2011	33.20	23.90	82	10	7.50	5.00	3.200	4.03	3.79	38.09	7.5	12.53	20.92	2.31	13.80
13	8	2011	32.00	24.40	89	17	3.10	3.50	3.404	3.91	6.45	38.07	3.1	12.52	14.23	1.06	9.90
14	8	2011	33.30	24.50	86	14	4.20	4.20	3.425	4.10	5.31	38.05	4.2	12.51	15.90	1.32	10.92
15	8	2011	31.80	23.90	82	10	1.50	3.50	3.073	3.83	3.79	38.03	1.5	12.49	11.79	0.78	8.29

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
16	8	2011	30.80	24.40	86	12	1.70	3.30	3.176	3.75	4.55	38.01	1.7	12.48	12.09	0.80	8.51
17	8	2011	31.50	23.90	85	14	3.90	4.00	3.157	3.79	5.31	37.98	3.9	12.47	15.43	1.39	10.50
18	8	2011	32.10	23.30	89	14	1.80	3.20	3.306	3.82	5.31	37.96	1.8	12.46	12.23	0.78	8.63
19	8	2011	27.00	24.00	94	14	2.10	2.40	3.068	3.28	5.31	37.93	2.1	12.44	12.68	0.92	8.84
20	8	2011	32.50	23.70	77	13	2.40	4.40	2.928	3.91	4.93	37.90	2.4	12.43	13.13	1.10	9.01
21	8	2011	33.00	24.50	77	11	1.30	4.10	3.040	4.05	4.17	37.87	1.3	12.42	11.45	0.75	8.06
22	8	2011	33.80	25.50	78	11	2.30	4.30	3.244	4.26	4.17	37.84	2.3	12.41	12.97	0.96	9.03
23	8	2011	34.50	25.50	77	12	1.60	4.40	3.267	4.37	4.55	37.80	1.6	12.39	11.89	0.77	8.38
24	8	2011	34.60	25.20	77	18	4.10	5.50	3.248	4.35	6.82	37.77	4.1	12.38	15.70	1.44	10.65
25	8	2011	32.40	23.50	79	8	4.80	4.30	2.977	3.88	3.03	37.73	4.8	12.37	16.76	1.77	11.13
26	8	2011	31.00	26.40	83	12	0.70	3.40	3.268	3.97	4.55	37.69	0.7	12.35	10.49	0.53	7.55
27	8	2011	28.50	24.80	90	20	0.50	2.60	3.144	3.51	7.58	37.65	0.5	12.34	10.18	0.49	7.35
28	8	2011	31.30	23.80	88	12	1.80	3.20	3.240	3.76	4.55	37.61	1.8	12.33	12.15	0.81	8.55
29	8	2011	31.70	23.90	90	12	1.70	3.00	3.363	3.82	4.55	37.57	1.7	12.31	11.98	0.74	8.48
30	8	2011	31.60	24.00	82	11	6.10	4.50	3.064	3.82	4.17	37.52	6.1	12.30	18.68	2.08	12.31
31	8	2011	32.50	24.70	83	16	5.30	4.60	3.249	4.00	6.07	37.47	5.3	12.29	17.45	1.73	11.71

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	9	2011	31.00	24.50	84	12	3.30	3.80	3.129	3.78	4.55	37.42	3.3	12.27	14.39	1.26	9.82
2	9	2011	33.10	24.70	82	18	8.10	5.40	3.266	4.09	6.82	37.37	8.1	12.26	21.69	2.46	14.25
3	9	2011	32.70	24.80	79	11	6.40	5.00	3.119	4.04	4.17	37.32	6.4	12.24	19.08	2.14	12.55
4	9	2011	33.70	24.90	80	5	8.40	5.00	3.261	4.19	1.90	37.26	8.4	12.23	22.11	2.56	14.47
5	9	2011	33.00	25.10	87	11	2.50	3.50	3.495	4.11	4.17	37.21	2.5	12.22	13.11	0.90	9.19
6	9	2011	31.80	25.20	84	10	3.20	3.70	3.269	3.95	3.79	37.15	3.2	12.20	14.16	1.18	9.73
7	9	2011	30.70	24.80	85	13	1.20	3.30	3.166	3.77	4.93	37.09	1.2	12.19	11.10	0.68	7.86
8	9	2011	32.20	24.50	87	16	1.50	3.40	3.356	3.94	6.07	37.03	1.5	12.17	11.54	0.71	8.18
9	9	2011	31.30	23.40	88	11	4.70	3.70	3.203	3.72	4.17	36.96	4.7	12.16	16.38	1.59	11.02
10	9	2011	30.40	25.10	92	11	0.70	2.50	3.427	3.76	4.17	36.90	0.7	12.15	10.29	0.49	7.43
11	9	2011	30.20	24.30	91	14	1.90	2.80	3.292	3.67	5.31	36.83	1.9	12.13	12.09	0.82	8.49
12	9	2011	30.80	23.70	86	15	1.80	3.40	3.111	3.69	5.69	36.76	1.8	12.12	11.92	0.86	8.32
13	9	2011	32.50	24.30	83	10	3.30	3.90	3.211	3.96	3.79	36.69	3.3	12.10	14.17	1.24	9.67
14	9	2011	30.50	25.00	85	10	1.10	3.10	3.166	3.77	3.79	36.61	1.1	12.09	10.82	0.66	7.67
15	9	2011	29.00	24.80	92	6	0.00	2.20	3.261	3.57	2.27	36.54	0.0	12.07	9.13	0.34	6.69

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
16	9	2011	32.60	24.40	83	11	4.50	4.20	3.230	3.99	4.17	36.46	4.5	12.06	15.92	1.55	10.70
17	9	2011	32.80	25.00	80	9	4.70	4.30	3.186	4.07	3.41	36.38	4.7	12.05	16.19	1.65	10.82
18	9	2011	33.80	24.20	80	17	7.70	5.60	3.205	4.14	6.45	36.30	7.7	12.03	20.69	2.46	13.47
19	9	2011	33.70	24.80	81	8	5.30	4.40	3.292	4.18	3.03	36.22	5.3	12.02	17.04	1.74	11.38
20	9	2011	30.60	25.50	90	10	0.50	2.60	3.412	3.83	3.79	36.13	0.5	12.00	9.79	0.45	7.09
21	9	2011	31.00	23.70	88	14	1.60	3.10	3.203	3.71	5.31	36.04	1.6	11.99	11.42	0.78	8.01
22	9	2011	26.70	23.10	95	10	0.90	2.00	2.992	3.17	3.79	35.96	0.9	11.97	10.34	0.63	7.33
23	9	2011	30.00	23.70	88	13	0.20	2.70	3.110	3.59	4.93	35.87	0.2	11.96	9.27	0.42	6.72
24	9	2011	30.50	23.00	88	12	0.90	2.80	3.092	3.59	4.55	35.78	0.9	11.95	10.29	0.62	7.31
25	9	2011	30.70	24.00	88	7	0.50	2.60	3.203	3.70	2.65	35.68	0.5	11.93	9.67	0.49	6.96
26	9	2011	31.70	24.10	84	10	0.20	3.00	3.157	3.84	3.79	35.59	0.2	11.92	9.20	0.42	6.66
27	9	2011	25.30	24.20	96	6	1.20	2.10	2.996	3.12	2.27	35.49	1.2	11.90	10.66	0.71	7.50
28	9	2011	30.80	23.70	89	9	2.20	2.90	3.220	3.69	3.41	35.40	2.2	11.89	12.12	0.94	8.40
29	9	2011	31.20	23.60	84	12	3.30	3.70	3.066	3.73	4.55	35.30	3.3	11.88	13.73	1.32	9.25
30	9	2011	33.20	23.90	82	14	6.70	4.80	3.200	4.03	5.31	35.20	6.7	11.86	18.74	2.20	12.23

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	10	2011	33.20	24.60	82	11	8.60	5.10	3.266	4.09	4.17	35.09	8.6	11.85	21.51	2.66	13.90
2	10	2011	31.50	25.10	89	10	1.00	2.70	3.423	3.90	3.79	34.99	1.0	11.83	10.23	0.57	7.30
3	10	2011	28.50	23.10	88	16	0.30	2.60	2.923	3.36	6.07	34.89	0.3	11.82	9.16	0.48	6.58
4	10	2011	29.60	21.90	77	16	6.50	4.80	2.550	3.39	6.07	34.78	6.5	11.80	18.27	2.70	11.37
5	10	2011	28.30	22.70	79	11	2.10	3.50	2.578	3.30	4.17	34.68	2.1	11.79	11.76	1.16	7.89
6	10	2011	27.50	21.40	86	10	0.10	2.50	2.636	3.11	3.79	34.57	0.1	11.78	8.79	0.46	6.31
7	10	2011	30.50	21.60	82	13	5.30	4.10	2.765	3.47	4.93	34.46	5.3	11.76	16.38	2.12	10.49
8	10	2011	31.70	21.60	80	11	7.50	4.70	2.794	3.63	4.17	34.35	7.5	11.75	19.55	2.82	12.23
9	10	2011	31.20	24.20	84	14	3.20	3.70	3.120	3.78	5.31	34.24	3.2	11.74	13.23	1.28	8.91
10	10	2011	30.10	23.50	90	11	1.30	2.60	3.171	3.58	4.17	34.13	1.3	11.72	10.42	0.71	7.31
11	10	2011	31.70	23.00	84	12	7.60	4.50	3.057	3.74	4.55	34.02	7.6	11.71	19.54	2.59	12.46
12	10	2011	32.80	24.50	81	12	5.50	4.40	3.180	4.02	4.55	33.90	5.5	11.69	16.45	1.91	10.75
13	10	2011	31.50	23.60	90	12	0.50	2.60	3.314	3.77	4.55	33.79	0.5	11.68	9.17	0.47	6.59
14	10	2011	30.70	23.50	92	10	2.40	2.70	3.299	3.66	3.79	33.68	2.4	11.67	11.88	0.97	8.18
15	10	2011	27.90	24.10	94	20	0.00	1.90	3.160	3.38	7.58	33.56	0.0	11.65	8.39	0.35	6.11

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
16	10	2011	29.20	23.20	93	17	1.30	2.30	3.163	3.45	6.45	33.45	1.3	11.64	10.23	0.71	7.17
17	10	2011	26.40	22.90	93	18	4.20	2.50	2.885	3.12	6.82	33.33	4.2	11.63	14.35	1.66	9.39
18	10	2011	30.30	21.80	84	12	7.00	4.10	2.832	3.46	4.55	33.21	7.0	11.61	18.31	2.62	11.48
19	10	2011	30.80	22.20	79	14	7.80	4.80	2.735	3.56	5.31	33.10	7.8	11.60	19.40	3.01	11.93
20	10	2011	30.70	22.80	79	11	5.50	4.20	2.776	3.60	4.17	32.98	5.5	11.59	16.07	2.22	10.16
21	10	2011	31.60	22.20	80	8	8.50	4.50	2.836	3.66	3.03	32.87	8.5	11.57	20.28	3.14	12.48
22	10	2011	31.50	22.00	80	13	8.20	4.80	2.811	3.63	4.93	32.75	8.2	11.56	19.80	3.07	12.18
23	10	2011	31.80	22.80	78	14	8.60	5.10	2.830	3.74	5.31	32.63	8.6	11.55	20.31	3.20	12.44
24	10	2011	32.60	22.90	81	10	8.00	4.60	3.017	3.86	3.79	32.52	8.0	11.54	19.40	2.81	12.13
25	10	2011	32.50	23.50	78	13	7.80	5.00	2.948	3.89	4.93	32.40	7.8	11.52	19.07	2.84	11.84
26	10	2011	31.80	22.30	78	10	6.20	4.40	2.789	3.70	3.79	32.29	6.2	11.51	16.77	2.46	10.45
27	10	2011	32.50	22.20	78	20	8.80	5.60	2.839	3.78	7.58	32.17	8.8	11.50	20.35	3.27	12.40
28	10	2011	32.00	22.50	82	12	5.70	4.10	2.967	3.74	4.55	32.06	5.7	11.49	15.97	2.15	10.15
29	10	2011	32.20	22.20	76	14	8.40	5.20	2.742	3.74	5.31	31.94	8.4	11.47	19.68	3.26	11.89
30	10	2011	32.10	21.20	77	14	8.60	5.20	2.689	3.65	5.31	31.83	8.6	11.46	19.90	3.38	11.94
31	10	2011	32.00	20.90	78	12	8.70	4.90	2.692	3.61	4.55	31.71	8.7	11.45	19.98	3.40	11.98

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	11	2011	32.30	21.30	77	17	8.50	5.40	2.713	3.69	6.45	31.60	8.5	11.44	19.64	3.33	11.80
2	11	2011	32.30	21.40	75	18	8.50	5.60	2.651	3.69	6.82	31.49	8.5	11.43	19.58	3.41	11.67
3	11	2011	31.80	20.20	74	14	8.70	5.30	2.487	3.53	5.31	31.38	8.7	11.42	19.80	3.67	11.58
4	11	2011	32.20	20.70	78	13	8.00	4.90	2.692	3.63	4.93	31.27	8.0	11.41	18.79	3.18	11.29
5	11	2011	32.10	21.50	79	16	6.70	4.80	2.784	3.67	6.07	31.16	6.7	11.39	16.95	2.65	10.41
6	11	2011	32.30	23.10	78	15	5.40	4.60	2.897	3.83	5.69	31.05	5.4	11.38	15.13	2.14	9.51
7	11	2011	31.80	23.80	79	14	2.50	3.90	2.952	3.83	5.31	30.95	2.5	11.37	11.14	1.18	7.39
8	11	2011	33.10	24.20	74	12	6.30	4.90	2.905	4.04	4.55	30.84	6.3	11.36	16.26	2.46	10.06
9	11	2011	31.30	22.90	76	14	5.60	4.60	2.726	3.68	5.31	30.74	5.6	11.35	15.27	2.35	9.41
10	11	2011	31.00	19.20	69	13	8.00	5.30	2.199	3.36	4.93	30.64	8.0	11.34	18.47	3.76	10.46
11	11	2011	30.50	18.20	73	13	8.20	5.00	2.224	3.23	4.93	30.54	8.2	11.33	18.68	3.77	10.61
12	11	2011	31.50	18.50	76	13	7.50	4.80	2.408	3.38	4.93	30.44	7.5	11.32	17.69	3.30	10.32
13	11	2011	32.00	20.00	71	12	8.10	5.20	2.387	3.55	4.55	30.34	8.1	11.31	18.45	3.61	10.60
14	11	2011	32.50	20.10	72	12	8.10	5.20	2.463	3.62	4.55	30.25	8.1	11.30	18.40	3.52	10.65
15	11	2011	32.30	20.30	71	13	8.20	5.40	2.429	3.61	4.93	30.15	8.2	11.29	18.49	3.61	10.63

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
16	11	2011	32.00	20.70	72	15	8.00	5.40	2.471	3.60	5.69	30.06	8.0	11.28	18.17	3.48	10.51
17	11	2011	32.50	20.60	72	17	8.40	5.70	2.500	3.66	6.45	29.97	8.4	11.27	18.66	3.60	10.76
18	11	2011	33.50	19.40	74	10	8.30	5.00	2.554	3.71	3.79	29.88	8.3	11.27	18.48	3.50	10.73
19	11	2011	33.50	19.20	76	11	6.20	4.60	2.608	3.70	4.17	29.80	6.2	11.26	15.65	2.67	9.38
20	11	2011	33.20	19.70	66	17	8.30	6.40	2.278	3.69	6.45	29.71	8.3	11.25	18.39	3.87	10.29
21	11	2011	32.00	20.30	73	17	4.60	5.00	2.476	3.57	6.45	29.63	4.6	11.24	13.47	2.20	8.18
22	11	2011	33.20	21.00	72	15	6.80	5.40	2.582	3.79	5.69	29.55	6.8	11.23	16.33	2.95	9.63
23	11	2011	32.30	22.90	67	22	5.40	6.30	2.474	3.81	8.34	29.47	5.4	11.23	14.46	2.55	8.58
24	11	2011	30.30	19.80	68	21	7.30	5.90	2.161	3.31	7.96	29.40	7.3	11.22	16.92	3.55	9.47
25	11	2011	30.60	18.40	73	16	7.40	5.00	2.244	3.25	6.07	29.33	7.4	11.21	17.01	3.47	9.63
26	11	2011	33.10	19.60	72	15	6.40	5.30	2.471	3.67	5.69	29.26	6.4	11.20	15.67	2.90	9.17
27	11	2011	33.30	20.10	70	12	5.00	4.90	2.452	3.73	4.55	29.19	5.0	11.20	13.81	2.39	8.24
28	11	2011	32.70	19.80	73	12	4.40	4.50	2.490	3.63	4.55	29.12	4.4	11.19	13.01	2.12	7.89
29	11	2011	33.60	18.80	74	9	4.10	4.10	2.517	3.69	3.41	29.06	4.1	11.18	12.59	1.99	7.71
30	11	2011	33.30	19.10	74	11	3.30	4.30	2.517	3.66	4.17	29.00	3.3	11.18	11.53	1.69	7.19

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax	Tmin	RHmean	u(x)	n	ETo	e(act)	e(sat)	u2	Ra	n	N	Rs	Rnl	Rn
			knot	hour/day	mm/day	kPa	kPa	m/sec	MJ/m2.day	hour/day	hour/day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day	MJ/ m2.day			
1	12	2011	33.00	18.20	72	15	8.50	5.60	2.364	3.56	5.69	28.94	8.5	11.17	18.25	3.82	10.23
2	12	2011	29.50	18.50	71	19	8.30	5.30	2.119	3.13	7.20	28.89	8.3	11.17	17.96	3.99	9.84
3	12	2011	28.80	15.50	72	12	7.60	4.50	1.921	2.86	4.55	28.84	7.6	11.16	17.03	3.87	9.24
4	12	2011	29.40	15.40	75	11	7.60	4.20	2.032	2.92	4.17	28.79	7.6	11.16	17.00	3.74	9.35
5	12	2011	30.00	16.40	72	12	8.20	4.70	2.047	3.05	4.55	28.74	8.2	11.15	17.75	4.01	9.66
6	12	2011	30.80	18.40	74	18	6.00	4.90	2.289	3.28	6.82	28.70	6.0	11.15	14.90	2.88	8.59
7	12	2011	31.00	21.80	76	16	2.00	4.10	2.616	3.55	6.07	28.66	2.0	11.14	9.74	1.16	6.33
8	12	2011	32.40	21.30	72	17	6.30	5.30	2.545	3.70	6.45	28.62	6.3	11.14	15.25	2.81	8.93
9	12	2011	29.80	19.10	66	18	9.00	5.80	2.023	3.20	6.82	28.59	9.0	11.14	18.70	4.47	9.93
10	12	2011	28.00	15.90	66	21	8.70	5.70	1.740	2.79	7.96	28.56	8.7	11.13	18.30	4.63	9.46
11	12	2011	25.80	13.60	66	20	8.50	5.20	1.515	2.44	7.58	28.53	8.5	11.13	18.02	4.75	9.13
12	12	2011	26.30	11.20	70	14	8.60	4.50	1.514	2.38	5.31	28.50	8.6	11.13	18.14	4.74	9.22
13	12	2011	27.30	12.60	70	14	7.70	4.60	1.632	2.54	5.31	28.48	7.7	11.13	16.98	4.21	8.86
14	12	2011	28.00	15.50	71	14	1.90	4.00	1.849	2.77	5.31	28.46	1.9	11.12	9.55	1.40	5.95
15	12	2011	31.00	20.00	70	14	6.30	5.00	2.284	3.42	5.31	28.45	6.3	11.12	15.17	3.04	8.64

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

Day	Month	Year	Tmax knot	Tmin hour/day	RHmean mm/day	u(x) kPa	n kPa	ETo m/sec	e(act) MJ/m2.day	e(sat) hour/day	u2 hour/day	Ra MJ/ m2.day	n MJ/ m2.day	N MJ/ m2.day	Rs	Rnl	Rn
16	12	2011	29.00	20.10	64	22	7.70	6.20	1.974	3.18	8.34	28.43	7.7	11.12	16.95	3.97	9.08
17	12	2011	29.00	16.30	68	18	7.10	5.30	1.870	2.93	6.82	28.42	7.1	11.12	16.18	3.75	8.71
18	12	2011	29.00	16.30	68	19	8.10	5.50	1.870	2.93	7.20	28.42	8.1	11.12	17.46	4.20	9.24
19	12	2011	29.50	15.80	69	20	8.30	5.60	1.898	2.96	7.58	28.41	8.3	11.12	17.71	4.25	9.38
20	12	2011	28.00	15.40	74	19	6.50	4.60	1.921	2.77	7.20	28.41	6.5	11.12	15.41	3.38	8.49
21	12	2011	29.00	17.40	73	12	5.80	4.20	2.076	3.00	4.55	28.42	5.8	11.12	14.52	2.97	8.21
22	12	2011	31.30	18.00	73	13	6.40	4.70	2.265	3.32	4.93	28.42	6.4	11.12	15.29	3.07	8.70
23	12	2011	29.80	17.50	71	15	4.00	4.60	2.074	3.10	5.69	28.43	4.0	11.12	12.22	2.22	7.19
24	12	2011	26.70	19.50	62	22	7.30	5.90	1.752	2.89	8.34	28.44	7.3	11.12	16.45	4.02	8.65
25	12	2011	25.40	13.40	64	19	7.90	5.10	1.442	2.39	7.20	28.46	7.9	11.12	17.22	4.55	8.71
26	12	2011	26.50	12.50	68	16	8.20	4.80	1.541	2.46	6.07	28.48	8.2	11.12	17.62	4.55	9.01
27	12	2011	29.00	13.70	70	11	8.50	4.60	1.779	2.79	4.17	28.50	8.5	11.12	18.01	4.45	9.42
28	12	2011	31.40	16.30	74	11	8.50	4.70	2.188	3.23	4.17	28.52	8.5	11.13	18.03	3.99	9.89
29	12	2011	30.50	17.00	73	12	8.60	4.70	2.146	3.15	4.55	28.55	8.6	11.13	18.17	4.08	9.91
30	12	2011	31.70	17.30	73	15	7.10	5.10	2.244	3.33	5.69	28.58	7.1	11.13	16.26	3.37	9.15
31	12	2011	31.50	17.30	71	13	8.50	5.10	2.170	3.30	4.93	28.62	8.5	11.13	18.08	4.04	9.88



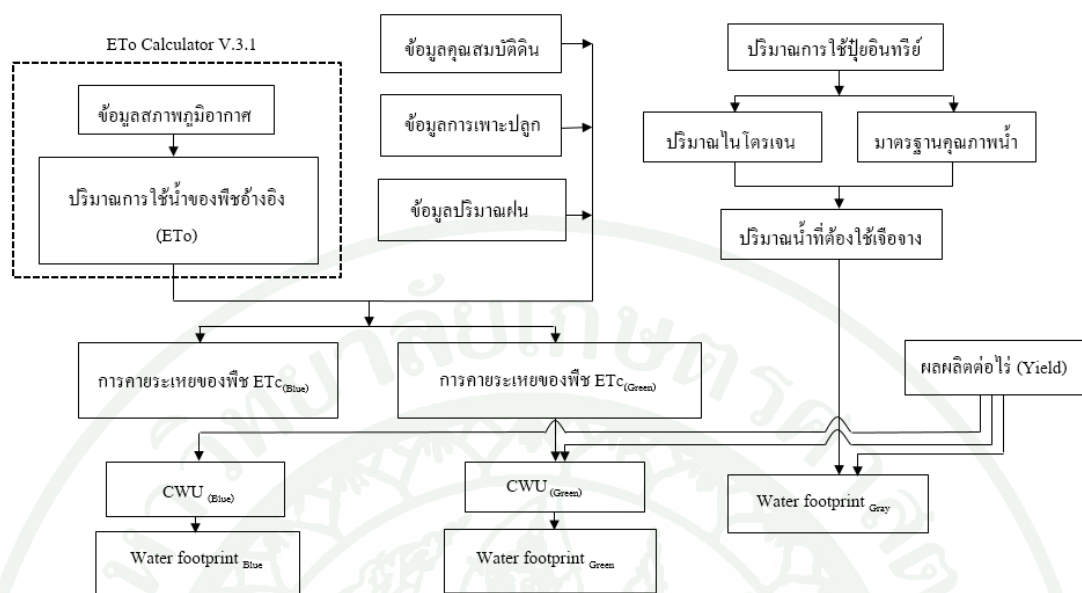
ภาคผนวก ข

ข้อมูลสถานีตรวจวัดต่างๆ (กรมอุตุนิยมวิทยา)

ตารางผนวกที่ ข1 แสดงข้อมูลสถานีตรวจวัดต่างๆ (กรมอุตุนิยมวิทยา)

STATION AGROMET				
Station	STN-CODE	LAT	LONG	MSL(M.)
CHIANG RAI AGROMET	303301	19.52.15	99.46.58	416
MAE JO AGROMET	327301	18.55.00	99.00.00	316
LAMPANG AGROMET	328301	18.19.00	99.17.00	314
NAN AGROMET	331301	18.52.00	100.45.00	264
SI SAMRONG AGROMET	373301	17.10.00	99.52.00	53
DOI MUSIR AGROMET	376301	16.45.00	98.56.00	860
PHICHIT AGROMET	386301	16.26.10	100.17.20	35
LOEI AGROMET	353301	17.24.00	101.44.00	258
SAKON NAKHON AGROMET	356301	17.07.00	104.03.00	191
NAKHON PHANOM AGROMET	357301	17.26.00	104.47.00	144
THAPHRA AGROMET	381301	16.20.00	102.49.00	165
ROI ET AGROMET	405301	16.04.00	103.37.00	153
UBON RATCHATHANI AGROMET	407301	15.14.00	105.02.00	130
SRISAKET AGROMET	409301	15.02.00	104.15.00	125
PAK CHONG AGROMET	431301	14.42.00	101.25.00	387
SURIN AGROMET	432301	14.53.00	103.27.00	145
TAK PHA AGROMET	400301	15.21.00	100.30.00	86
CHAI NAT AGROMET	402301	15.09.00	100.11.00	15
AYUTTHAYA AGROMET	415301	14.32.00	100.43.40	7
PRATUMTANI AGROMET	419301	14.07.00	100.38.00	
RATCHABURI AGROMET	424301	13.29.14	99.47.51	5
UTONG AGROMET	425301	14.18.00	99.52.00	5
KAMPAENG SAEN AGROMET	451301	14.01.00	99.58.00	7
BANGNA AGROMET	455301	13.40.00	100.37.00	3

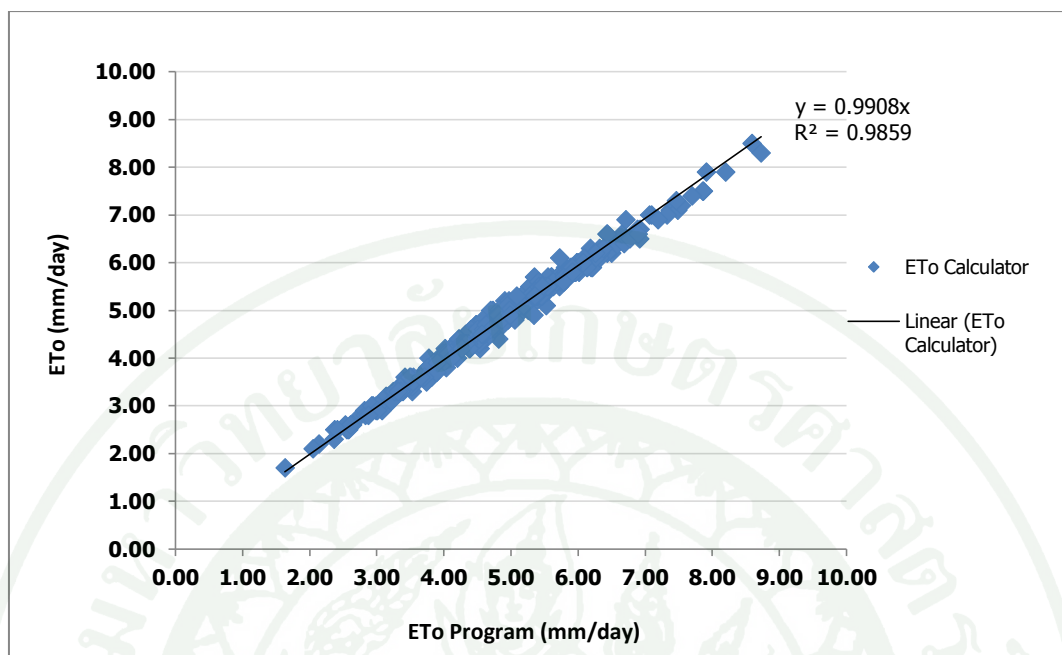




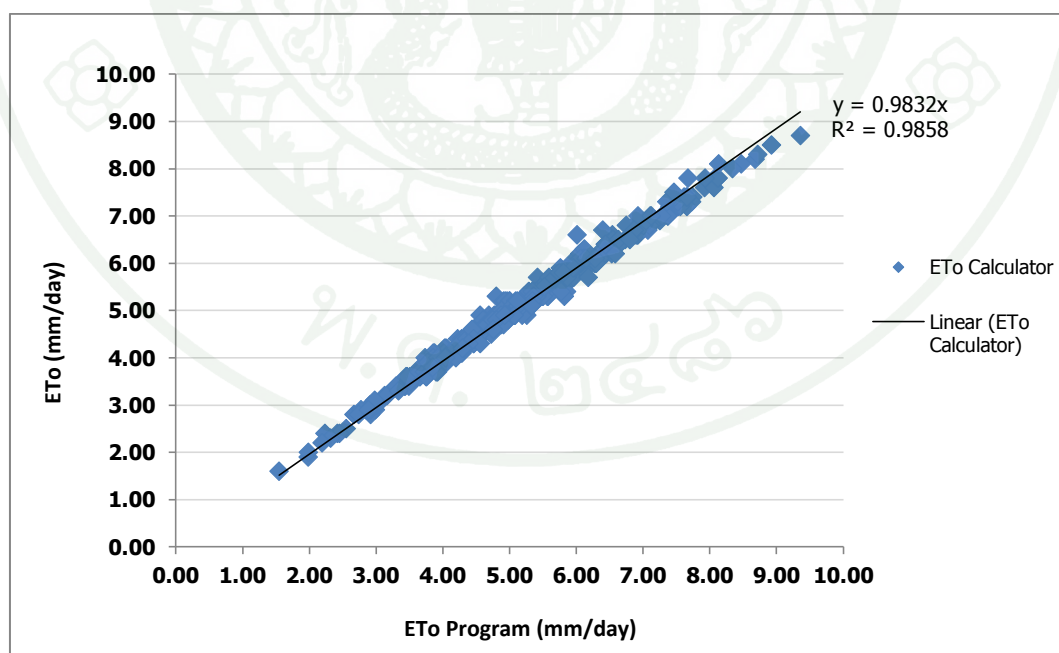
ภาพผนวกที่ ค1 แสดง Schematic diagram การคำนวณหาอวเตอร์ฟุตปริ้นท์



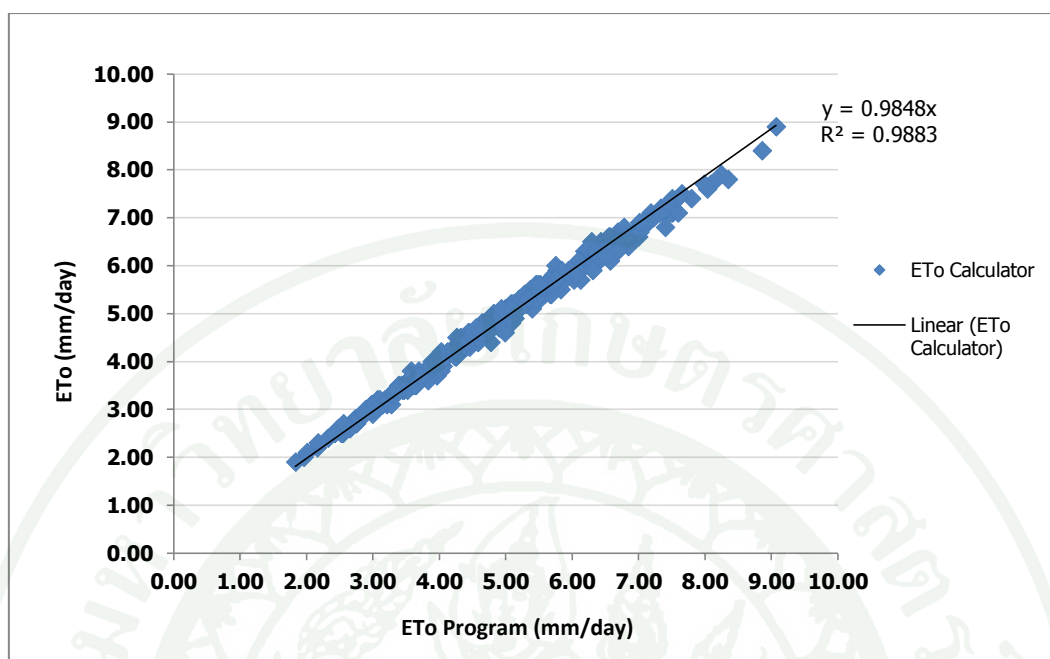
ภาคผนวก ง
เปรียบเทียบค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง Penman Monteith
กับ โปรแกรม Eto Calculator V.3.1



ภาพผนวกที่ ๑1 เปรียบเทียบค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ฤดูการเพาะปลูก พ.ศ.2552/53
Penman Monteith กับ โปรแกรม Eto Calculator V.3.1

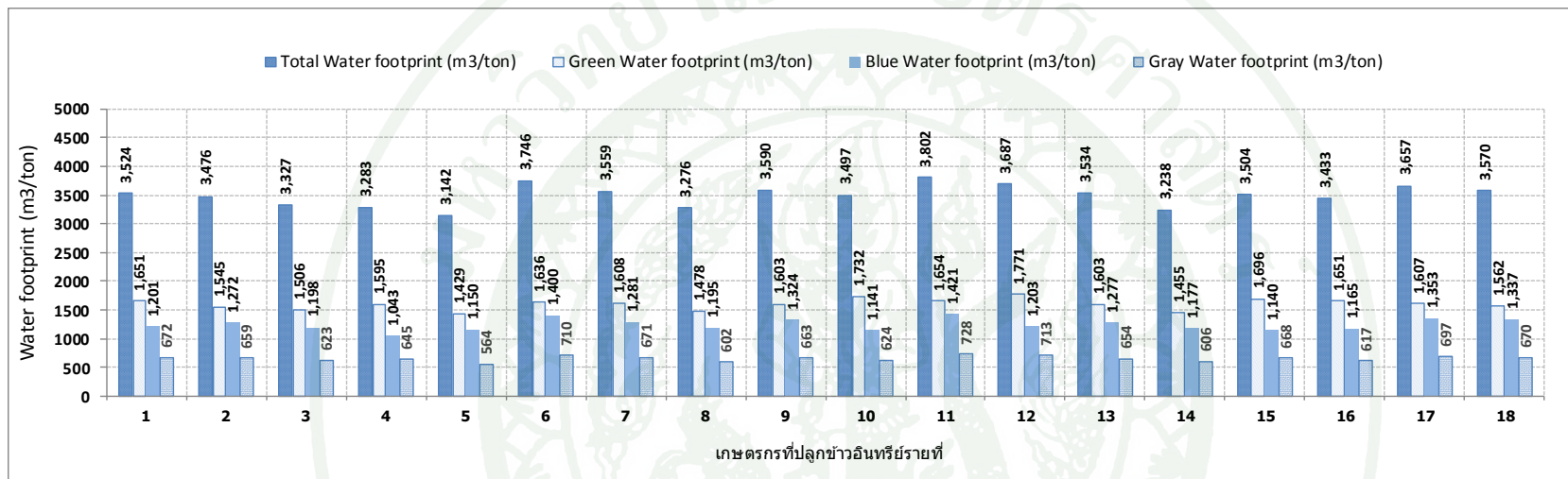


ภาพผนวกที่ ๑2 เปรียบเทียบค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ฤดูการเพาะปลูก พ.ศ.2553/54
Penman Monteith กับ โปรแกรม Eto Calculator V.3.1

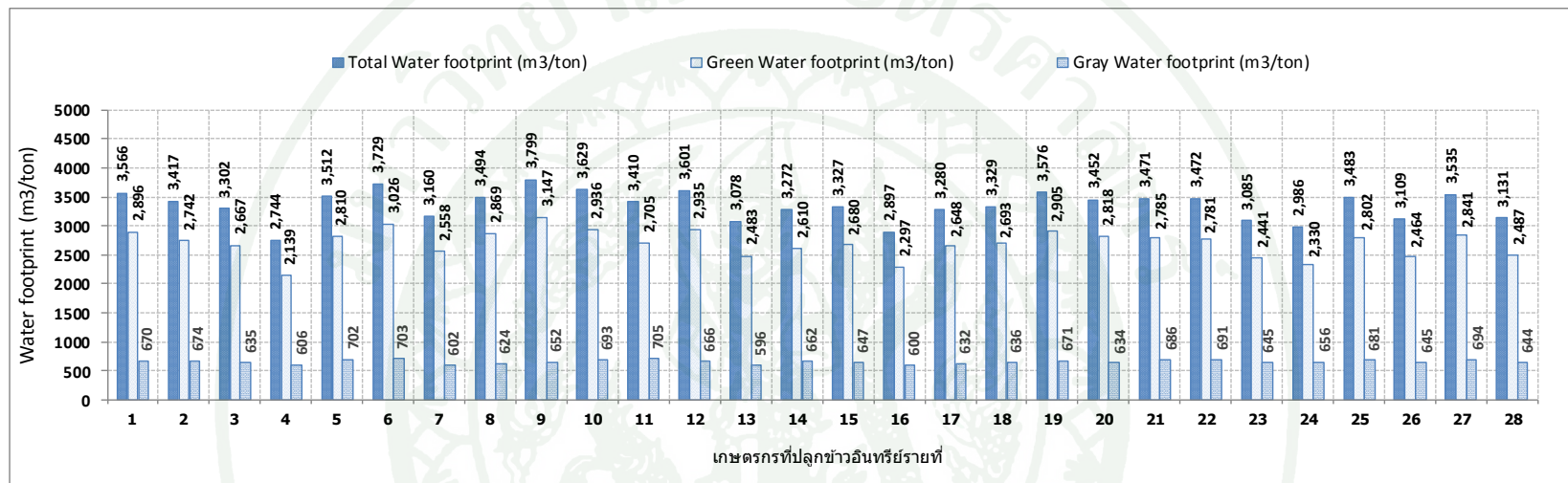


ภาพผนวกที่ 33 เปรียบเทียบค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ.2554/55
Penman Monteith กับ โปรแกรม Eto Calculator V.3.1

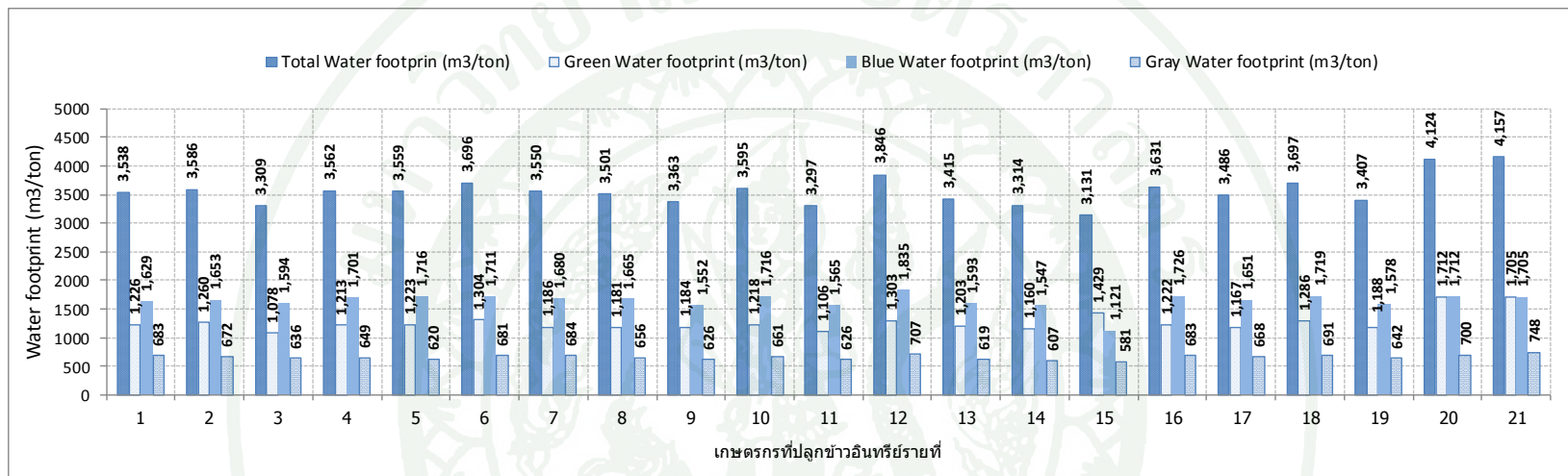




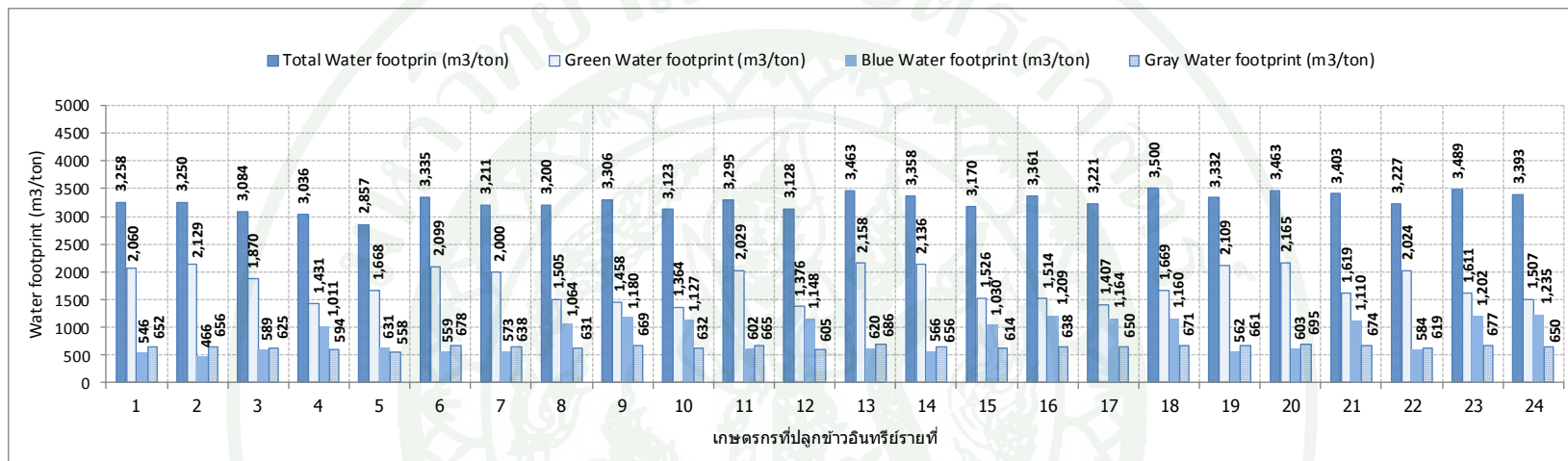
ภาพผนวกที่ จ1 ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลินิธิย์ จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2552/53



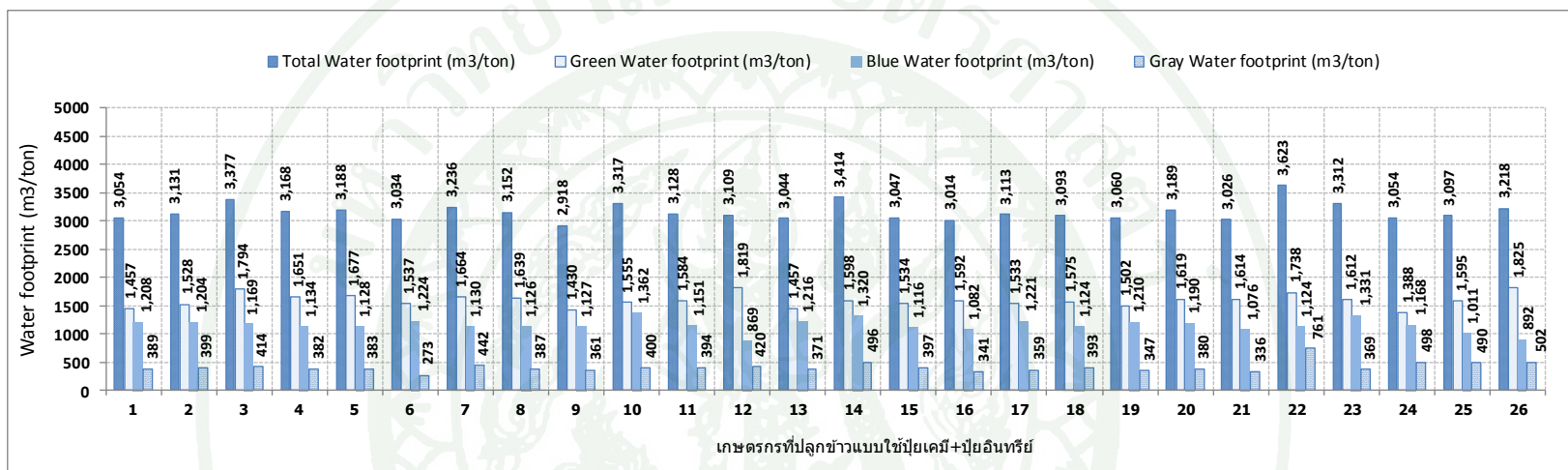
ภาพผนวกที่ จ2 ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลินิพันธ์ จ.สุรินทร์ (นอกเขตชลประทาน) ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2552/53



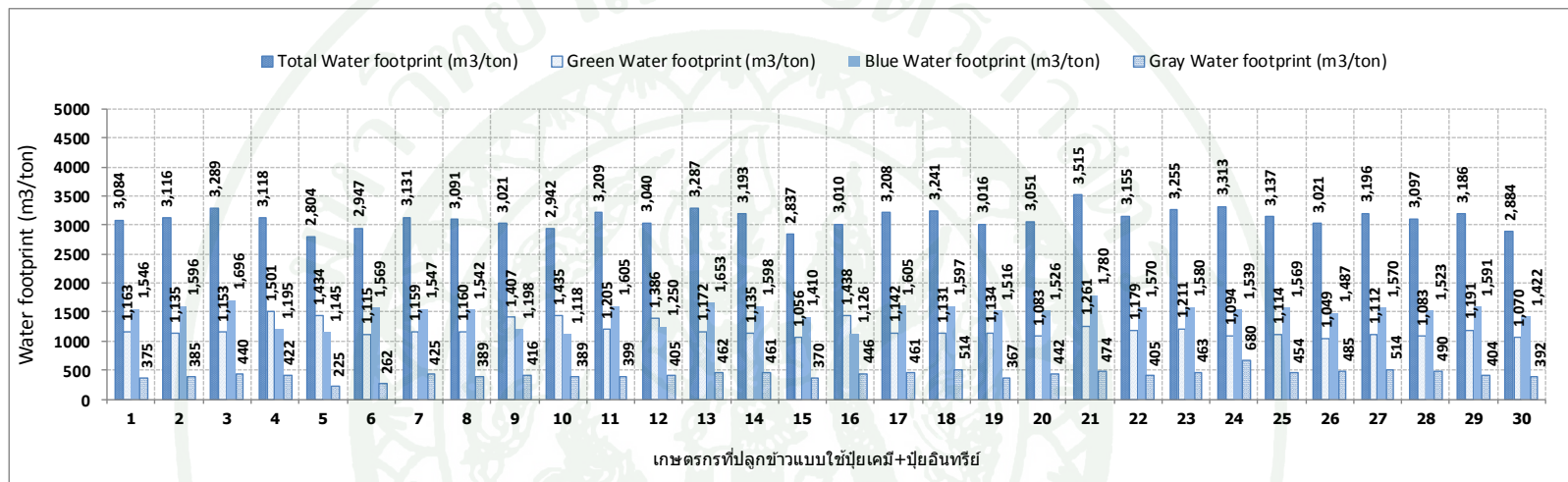
ภาพผนวกที่ จ3 ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์ จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2553/54



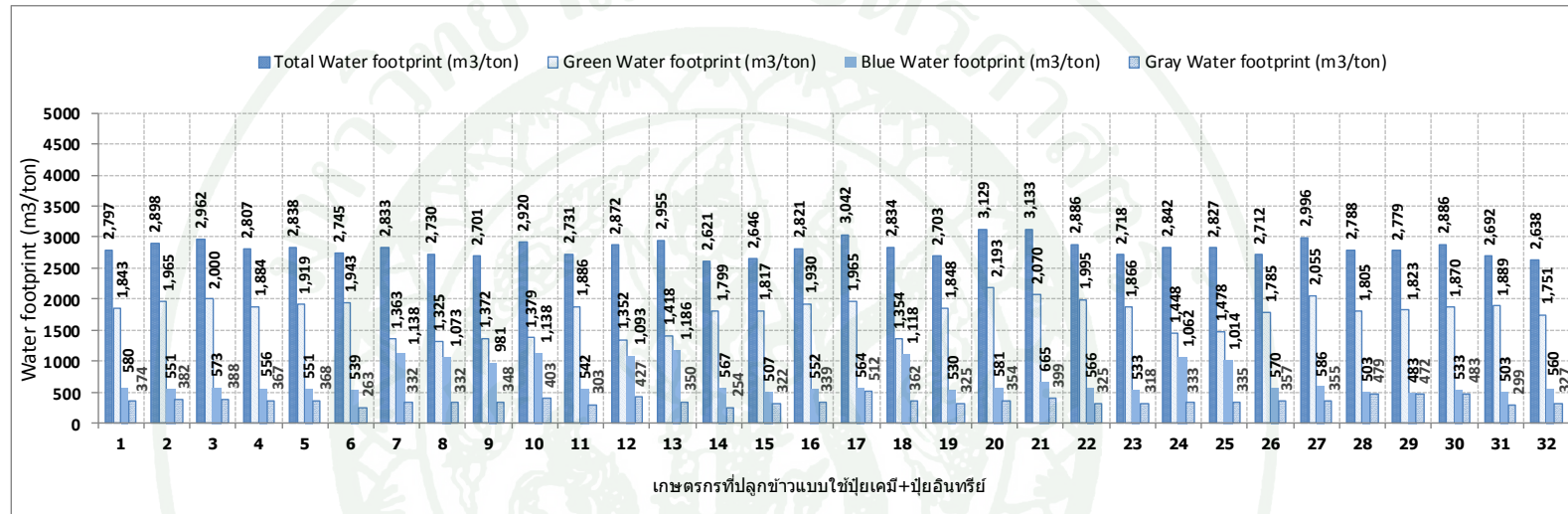
ภาพผนวกที่ จ4 ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลินทรีย์ จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2554/55



ภาพผนวกที่ จ5 ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2552/53



ภาพผนวกที่ จ6 ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2553/54



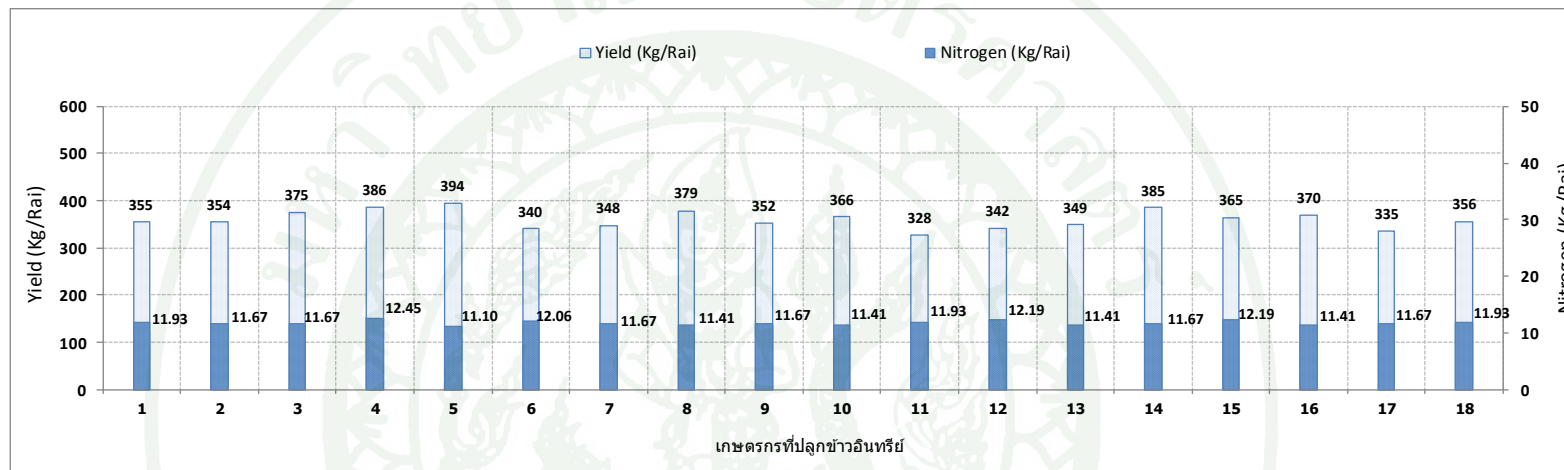
ภาพผนวกที่ ๗ ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2554/55



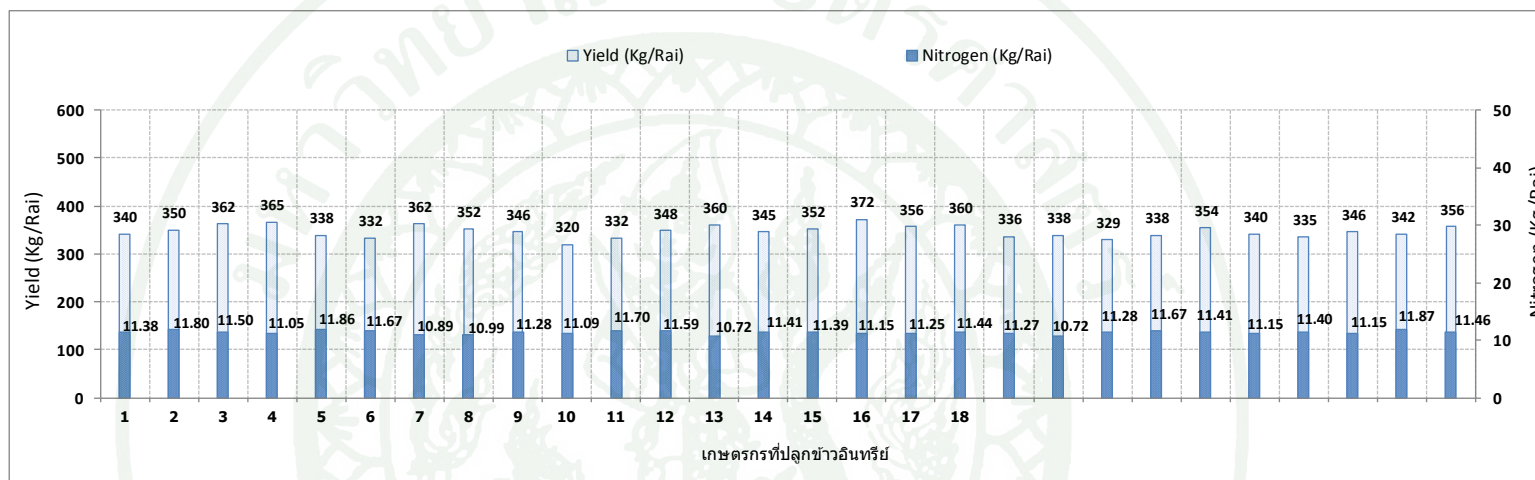
ภาคผนวก จ

ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน (N) ของข้าวหอมมะลิ

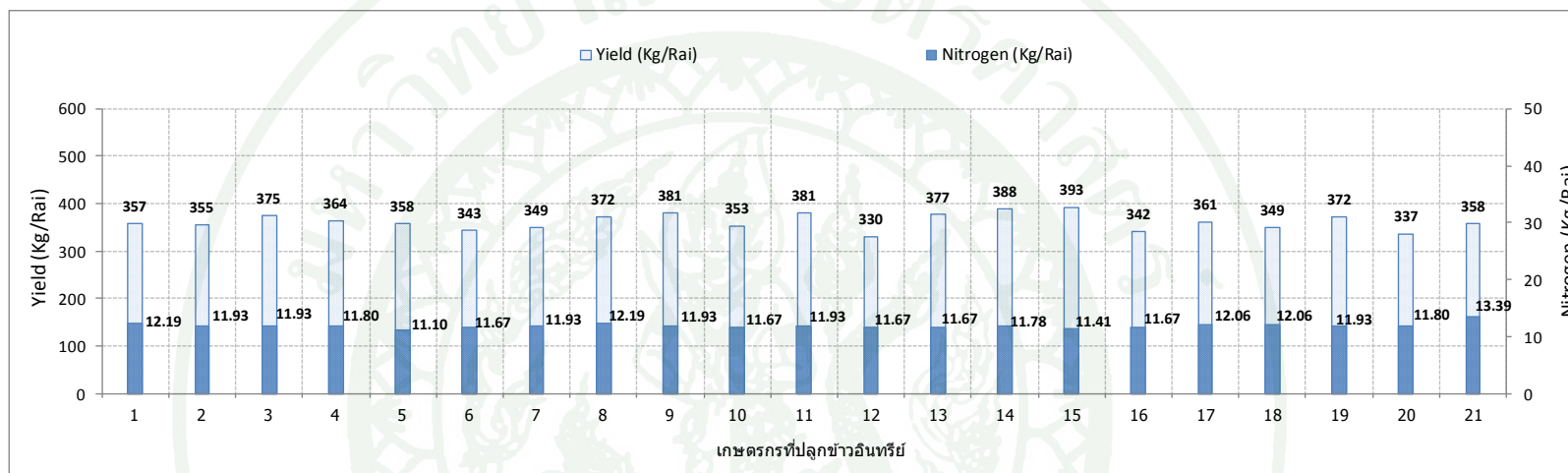
จ.สุรินทร์ ฤดูแล้งเพาะปลูก พ.ศ.2552/53 - พ.ศ.2554/55



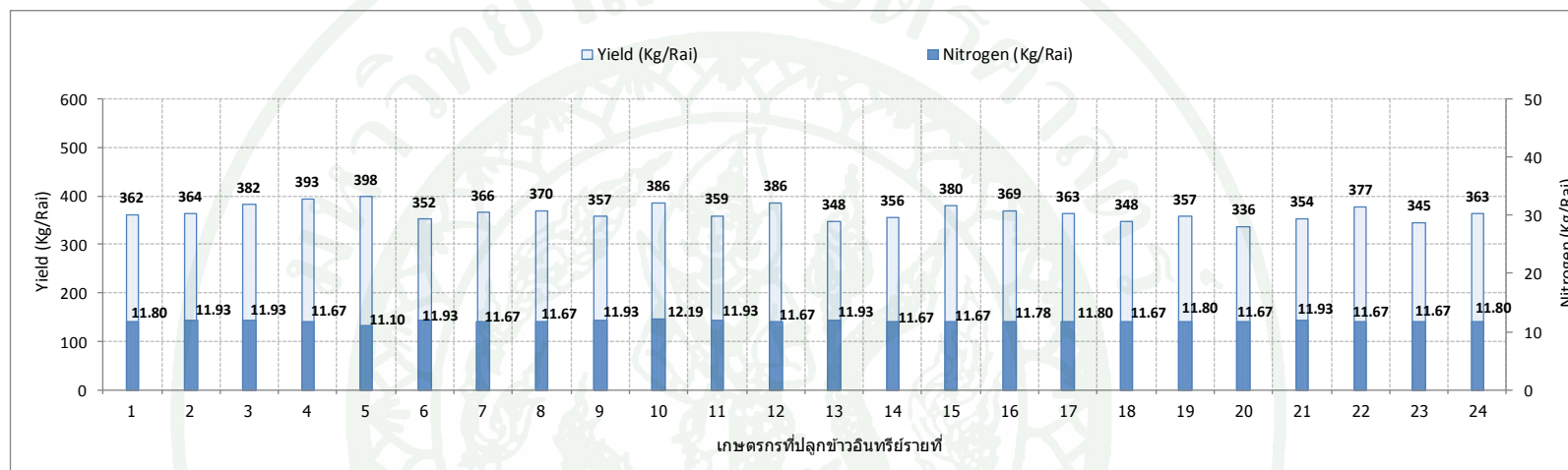
ภาพผนวกที่ ๑1 ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน (N) ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2552/53



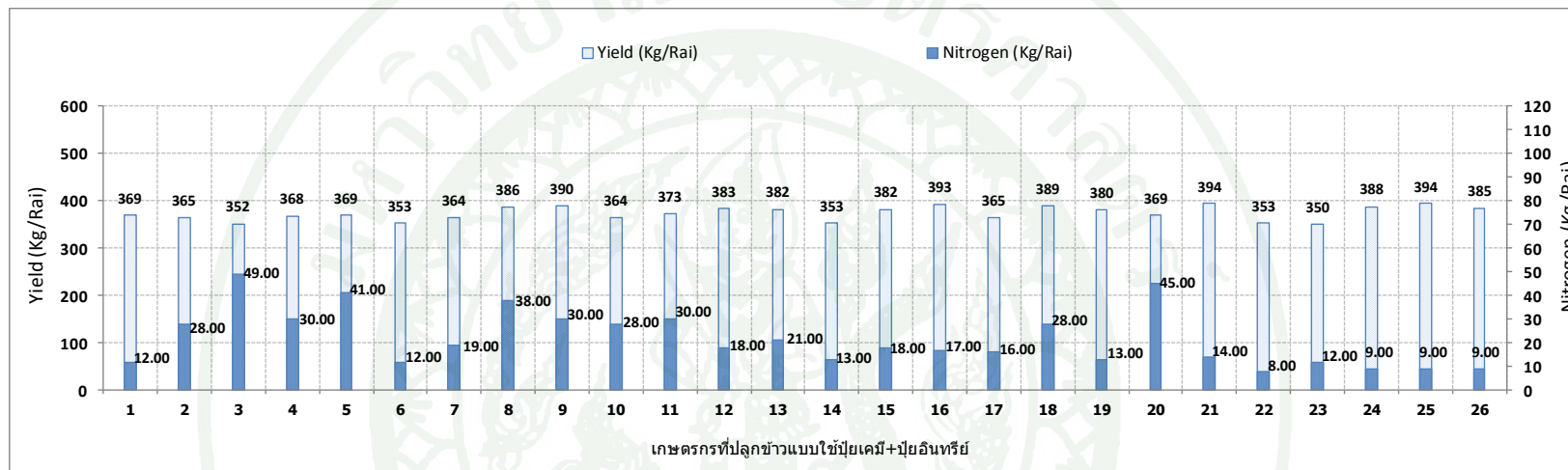
ภาพผนวกที่ ๑๒ ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน (N) ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์ (นอกเขตชลประทาน) ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2552/53



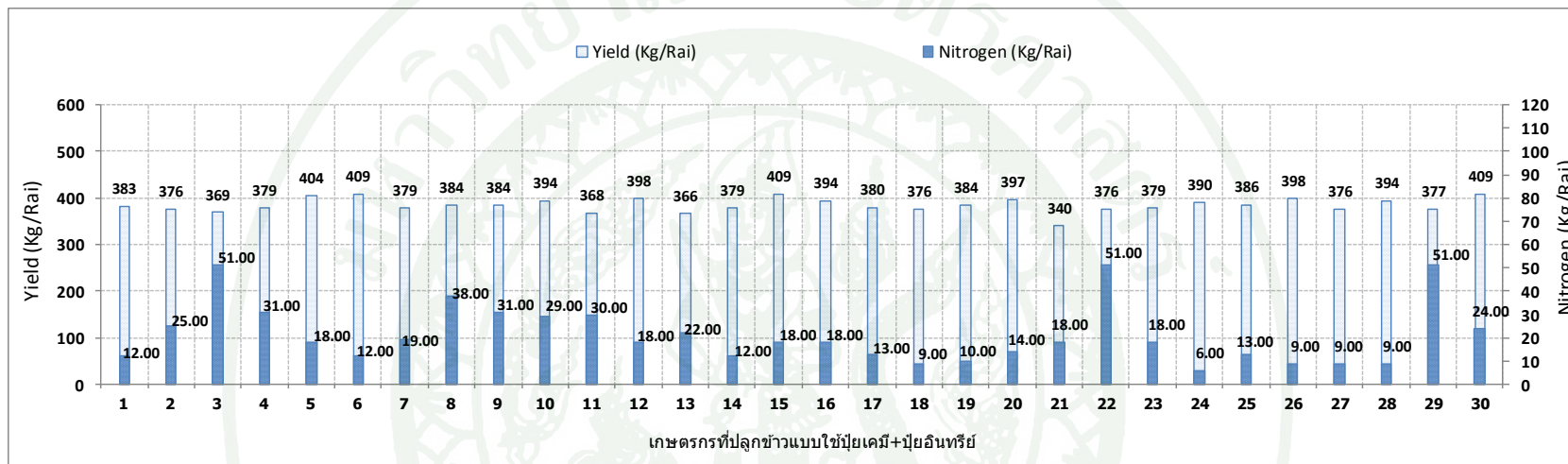
ภาพผนวกที่ ๓ ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน (N) ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2553/54



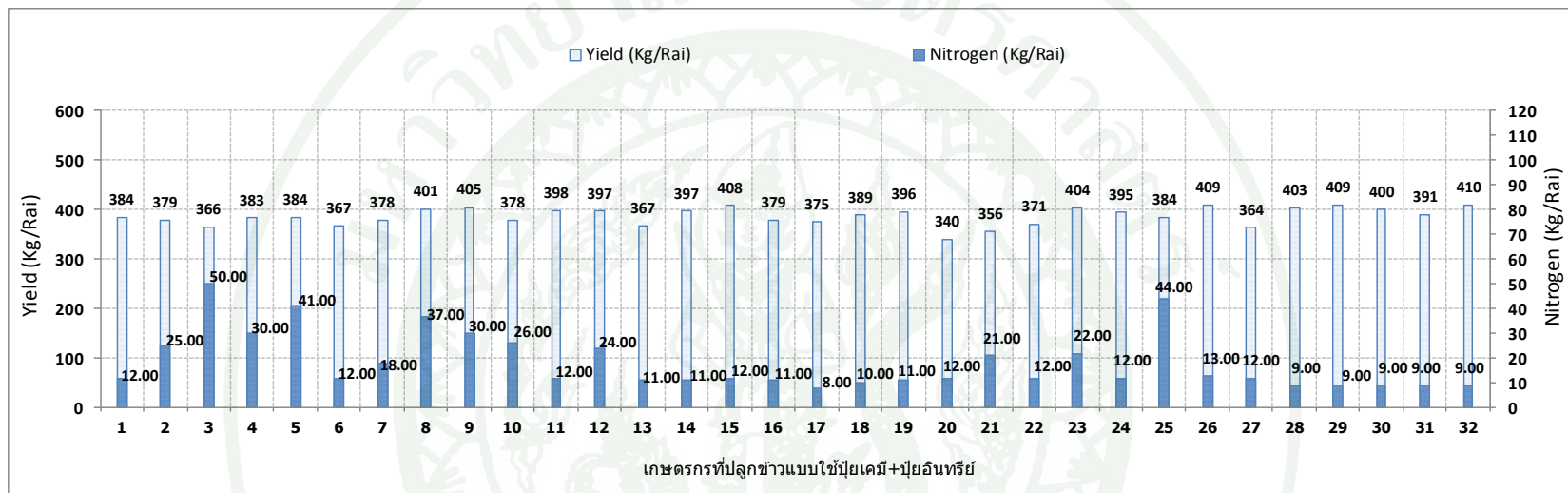
ภาพผนวกที่ ๓4 ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน (N) ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2554/55



ภาพผนวกที่ ๑5 ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน (N) ของข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2552/53



ภาพผนวกที่ ๖ ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน (N) ของข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2553/54



ภาพผนวกที่ ๗ ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจน (N) ของข้าวหอมมะลิแบบใช้ปุ๋ยผสม จ.สุรินทร์ ฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ.2554/55

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายมานพ พรหมดี
เกิดวันที่	18 กรกฎาคม 2528
สถานที่เกิด	อำเภอคอนสาร จังหวัดชัยภูมิ
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน) วิทยาลัยการชลประทาน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ศูนย์ปฏิบัติการจัดสรรน้ำ ส่วนจัดสรรน้ำ สำนักบริหารจัดการน้ำ และอุทกวิทยา
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-