



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวแบบนาเปียกสลับแห้ง

Water Footprint of Rice Cultivation Using Alternate Wet & Dry Irrigation

นามผู้วิจัย นายณรงค์ศักดิ์ ชัยคงสถิตย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดิษฐ์ พรพรมินทร์, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณดี ไทยสยาม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณภาพร เปี่ยมสง่า, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวแบบนาเปียกสลับแห้ง

Water Footprint of Rice Cultivation Using Alternate Wet & Dry Irrigation

โดย

นายณรงค์ศักดิ์ ชัยคงสถิตย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณรงค์ศักดิ์ ชัยคงสถิตย์ 2557: วอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของการปลูกข้าวแบบนาเปียกสลับแห้ง
ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
อดิษฐ์ พรพรหมินทร์, D.Eng. 95 หน้า

ข้าวมีบทบาทสำคัญหลายอย่างต่อสังคมไทย เป็นอาหารหลักของคนไทยและข้าวยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในการส่งออกของไทยด้วย นอกจากนั้นพื้นที่ปลูกข้าวคิดเป็นมากกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศ การปลูกข้าวมีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีพบว่ามีการใช้แตกต่างกันไป ปัจจุบันประเทศไทย เริ่มมีการนำวิธีการปลูกข้าวแบบนาเปียกสลับแห้งมาใช้มากขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่ทำการควบคุมระดับน้ำในแปลงนาด้วยท่อแกล้งข้าว การปล่อยเหินแดงช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ต้นข้าว และคลุมดินป้องกันวัชพืช การกำจัดวัชพืชโดยใช้เครื่องพรวนหญ้า ลดการใช้ยาฆ่าแมลง โดยพบว่าวิธีดังกล่าว สามารถลดการใช้น้ำและยังเพิ่มผลผลิตมากขึ้นด้วย น้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตและเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นเรื่องจำเป็นและเร่งด่วน วอเตอร์ฟุตปริ้นท์เป็นดัชนีหนึ่งที่ช่วยสะท้อนถึงประสิทธิภาพของการใช้น้ำในการเพาะปลูกในมุมมองเชิงอนุรักษ์น้ำ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์หาค่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของการปลูกข้าวแบบนาดำ และแบบนาเปียกสลับแห้ง โดยการนำข้อมูลผลการศึกษาที่ได้ทดลองในแปลงนาจริง ของสถานีวิจัยการจัดการน้ำด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ (วรวิทย์ และหนึ่งฤทัย, 2556) และจากการสัมภาษณ์ชาวนามืออาชีพ พื้นที่จังหวัดชัยนาท มาใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการปลูกข้าว 2 วิธีดังกล่าว ทั้งในแปลงทดลอง และในแปลงนาจริง ผลปรากฏว่าค่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของแปลงทดลอง (นาดำ) เท่ากับ 1,996.7 ลบ.ม./ตัน แปลงทดลอง (นาเปียกสลับแห้ง) เท่ากับ 1,417.1 ลบ.ม./ตัน แปลงนาจริง (นาดำ) เท่ากับ 1,288.4 ลบ.ม./ตัน แปลงนาจริง (เปียกสลับแห้ง) เท่ากับ 965.8 ลบ.ม./ตัน ซึ่งจะเห็นได้ว่านาเปียกสลับแห้งใช้น้ำน้อยกว่านาดำทั้งแปลงทดลองและแปลงนาจริง เท่ากับ 40.90% , 33.40% ตามลำดับ จึงสามารถนำไปเป็นแนวทางการปรับปรุงระบบการให้น้ำในแปลงนา เพื่อลดอัตราการใช้น้ำ ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มผลผลิตอีกด้วย

Narongsak Chaikongsatit 2014: Water Footprint of Rice Cultivation Using Alternate Wet & Dry Irrigation. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Adichai Pornprommin, D.Eng. 95 pages.

Rice has several important roles to the Thai society as main food and an important exported economic crop of Thailand. Besides, paddy field area is more than half of the cultivated area in the country. There are many methods to grow rice which cause different water consumption. Currently, the introduction of the alternate wet & dry irrigation is widespread in Thailand. Its method is to control water level in paddy field by measuring water level in the designed pipe, to grow Azolla in the field to increase nutrient for rice and prevent unwanted weed by letting Azolla to cover the soil, to remove unwanted weed by rotary weeder and to reduce the use of insecticide. As a result, this method is found to reduce water use and increase production. Water is essential for life and a limited resource. Thus, the study of efficient water consumption is necessary and urgent. Water footprint is an indicator that can reflect on the efficiency of water use in cultivation with water conservation aspect. Therefore, this study is conducted for analyzing water footprints of rice cultivation of both transplanting irrigation and alternate wet & dry irrigation. Using the results from the field experimental study data at the test station of the water management with new technology institute (Vorawut and Nuengruethai, 2013) more over, there are information from the farmer in study case area at Chainat province, that use to analyse and compare the result from rice planting for 2 methods. Including with field experimental and test station found that water footprint value for rice cultivation of test station is $1,996.7 \text{ m}^3/\text{ton}$ and field experimental is $1,417.1 \text{ m}^3/\text{ton}$. In part of water footprint value for alternate wet & dry irrigation of test station is $1,288.4 \text{ m}^3/\text{ton}$ and $965.8 \text{ m}^3/\text{ton}$ for field experimental. Comparing shows alternate wet & dry irrigation consume water less than both of test station and field experimental value are 40.90% and 33.40% in order. It can be use the guide line for adjust of water management in land field for reduce rate consume of water, decrease capital production and also increase product at land field.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.อดิษฐ์ พรพรหมินทร์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนและสร้างแนวทางในการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วรรณดี ไทยสยาม กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ รศ.ชัยวัฒน์ ขยันการนาวิ ประธานกรรมการในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย ดร.อรรถนันท์ เล็กอุทัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำรวมทั้งทำเจ้าหน้าที่จากบัณฑิตวิทยาลัย เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ที่กรุณาตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณลำพอง ภู่วงษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความรู้เกี่ยวกับการปลูกข้าว ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยา ฝ่ายงานบริการข้อมูล กลุ่มภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา และสำนักงานเกษตรจังหวัดชัยนาท ฝ่ายบริการข้อมูลที่เอื้อเฟื้อข้อมูลใช้ในการวิเคราะห์รวมถึงการให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการศึกษาครั้งนี้

คุณความดีอันเป็นประโยชน์ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบให้แก่บิดา มารดา ผู้ที่ให้กำเนิด ให้สติปัญญาและความสามารถ คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสาทความรู้แก่ข้าพเจ้า

ณรงค์ศักดิ์ ชัยคงสถิตย์

พฤษภาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	58
อุปกรณ์	58
วิธีการ	58
ผลและวิจารณ์	64
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	86
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	87
ภาคผนวก	90
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	95

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงตัวอย่างค่าเฉลี่ยรอยเท้าน้ำของสินค้า	11
2	ตารางแสดงคุณสมบัติของดิน	65
3	ตารางสรุปข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา	67
4	เปรียบเทียบราคาต้นทุนและกำไรของการปลูกข้าวแบบนาดำ และแบบนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงนาจริง	79
5	แสดงค่าการใช้น้ำของการปลูกข้าว	82
6	แสดงราคาต้นทุนและกำไรของการผลิตข้าว	84
7	ตารางสรุปข้อดี – ข้อเสีย ของการปลูกข้าวแบบนาดำ และแบบนาเปียกสลับแห้ง	85

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว	14
2	แสดงการจัดการ “ข้าว + น้ำ + หญ้า” ครบวงจร	26
3	ท่อแก๊สข้าว ใช้ระดับน้ำในแปลงนา	27
4	แผนผังแสดงการเกิดดินจากวัตถุต้นกำเนิด	29
5	สัดส่วนการกระจายตัวของอนุภาคดิน	35
6	สมดุลของน้ำในแปลงนา	55
7	สมดุลน้ำในเขตรากพืช	56
8	แสดงแผนผังพื้นที่การทดลอง	60
9	แสดงพิกัด และพื้นที่กรณีศึกษา	61
10	แสดงตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบคุณสมบัติ	62
11	แสดงสมดุลน้ำในแปลงนาคำ ของแปลงทดลอง	68
12	แสดงสมดุลน้ำในแปลงนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงทดลอง	69
13	แสดงสมดุลน้ำในแปลงนาคำ ของแปลงนาจริง	69
14	แสดงสมดุลน้ำในแปลงนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงนาจริง	70
15	เปรียบเทียบระดับน้ำรายวันของแปลงทดลอง กรณีนาคำเทียบกับนาเปียกสลับแห้ง โดยวันเริ่มจากการปักดำ	71
16	เปรียบเทียบระดับน้ำรายวันของแปลงนาจริง กรณีนาคำเทียบกับนาเปียกสลับแห้ง โดยวันเริ่มจากการปักดำ	71
17	เปรียบเทียบระดับน้ำรายวันกรณีนาคำ ของแปลงทดลองเทียบกับผลจากแบบจำลองที่ได้เคยศึกษาไว้ (ณรงค์ศักดิ์, 2557) โดยวันเริ่มจากการปักดำ	72
18	เปรียบเทียบระดับน้ำรายวันกรณีนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงทดลองเทียบกับผลจากแบบจำลองที่ได้เคยศึกษาไว้ (ณรงค์ศักดิ์, 2557) โดยวันเริ่มจากการปักดำ	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	เปรียบเทียบค่าระดับน้ำในแปลงนารายวันของแบบจำลอง โดยใช้ค่า Maximum rain infiltration rate เท่ากับ 3.5 mm. ผลจากแบบจำลอง (ณรงค์ศักดิ์, 2557) และ 2.77 mm. คู่มือปฏิบัติงาน ด้านจัดสรรน้ำ (2554) โดย (ก) กรณีน้ำดำ และ (ข) กรณีน้ำเปียกสลับแห้ง	73
20	เปรียบเทียบความเค็มดินน้ำที่เกิดขึ้นของแปลงทดลอง กรณีน้ำดำเทียบกับนาเปียกสลับแห้ง	74
21	เปรียบเทียบความเค็มดินน้ำที่เกิดขึ้นของแปลงนาจริง กรณีน้ำดำเทียบกับนาเปียกสลับแห้ง	74
22	ผลการคำนวณเปรียบเทียบค่าอัตราการพุทปรึ้นที่น้ำดำ และนาเปียกสลับแห้งของแปลงทดลอง	76
23	ผลการคำนวณเปรียบเทียบค่าอัตราการพุทปรึ้นที่น้ำดำ และนาเปียกสลับแห้งของแปลงนาจริง	76
24	กราฟเปรียบเทียบค่าอัตราการพุทปรึ้นที่น้ำดำ และนาเปียกสลับแห้งของแปลงทดลอง และแปลงนาจริง กับการศึกษาอื่น	77
ภาพผนวกที่		
1	แสดงการเก็บข้อมูล พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท	92
2	แสดงการเก็บข้อมูล พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท	92
3	การเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบ พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท	93
4	เก็บตัวอย่างดินข้าว พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท	93
5	แสดงการเก็บข้อมูล พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท	94
6	ตัวอย่างข้าวน้ำดำและนาเปียกสลับแห้ง พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท	94
7	พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท	95
8	ขอบคุณ ลุงลำพอง ภู่งษ์ ชาวนามืออาชีพ ผู้ให้ข้อมูล	95

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AR	=	อัตราการใช้น้ำในพื้นที่ต่อไร่
CR	=	capillary rise
CWU	=	ความต้องการใช้น้ำของพืช (Crop Water Use)
C _{max}	=	ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ (Maximum Concentration)
C _{nat}	=	ความเข้มข้นมลพิษในธรรมชาติที่พิจารณา (Natural Concentration)
D	=	การพร่องของน้ำในเขตรากพืช (Depletion)
E _{To}	=	การคายระเหยอ้างอิงของพืช (Reference Crop Evapotranspiration)
E _{Tc}	=	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	=	น้ำที่มีอยู่ในดินที่ใช้งานได้ (Readily Available Water)
RO	=	น้ำท่าผิวดิน (Run off)
TAWC	=	น้ำทั้งหมดที่ใช้งานได้ในพื้นที่เขตรากพืช (Total Available Soil Water Capacity in the root zone)
Y	=	ผลผลิตต่อไร่ (Yield)
α	=	สัดส่วนการชะล้าง (Leaching runoff)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวแบบนาเปียกสลับแห้ง

Water Footprint of Rice Cultivation Using Alternate Wet & Dry Irrigation

คำนำ

สภาวะในปัจจุบัน น้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตบนโลก ซึ่งน้ำที่เราสามารถใช้ได้จะเป็นในส่วนน้ำจืดที่อยู่ตามน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำบาดาล มีเพียง 1% ซึ่งจากการคาดการณ์จำนวนประชากรของโลก จะมีปริมาณที่มากขึ้น จึงส่งผลทำให้อาจมีการขาดแคลนน้ำจืด ถ้าเราไม่มีการจัดการบริหารน้ำที่เหมาะสม อาจส่งผลทำให้ผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำ และสิ่งมีชีวิตอาจจะดำรงชีวิตต่อไปได้อย่างยากลำบากมากยิ่งขึ้น น้ำ เป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด แต่ความต้องการใช้น้ำกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนประชากรและความเติบโตทางเศรษฐกิจ แต่ปัจจุบันแหล่งน้ำสะอาดที่มีอยู่ต้องเผชิญกับปัญหามลภาวะทางน้ำที่เกิดจากมนุษย์ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ทำให้ปัญหาขาดแคลนน้ำทวีรุนแรงมากขึ้นในหลายส่วนของโลก ดังนั้น การใช้น้ำอย่างประหยัดทั้งทางตรงและทางอ้อมและการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นเรื่องเร่งด่วน ที่ต้องรีบปฏิบัติ โดยต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกฝ่ายทั้งผู้ผลิต ผู้บริโภค ภาครัฐ รวมถึงความร่วมมือระหว่างประเทศ Water Footprint ถือว่าเป็นเรื่องใหม่ที่จะกลายเป็นความท้าทายสำหรับอุตสาหกรรมอาหารรวมไปถึงภาคเกษตรกรรมที่ต้องใช้น้ำเป็นตัวแปรสำคัญในการผลิตในอนาคต

“วอเตอร์ฟุตพริ้นท์” (Water footprint) หมายถึง ปริมาณการใช้น้ำและปริมาณการเกิดมลภาวะน้ำ (หรือ น้ำที่เสื่อมคุณภาพ) โดยตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ การผลิต วัตถุดิบ การแปรรูป การจัดจำหน่าย การบริโภค และการจัดการของเสีย โดยพิจารณาทั้งปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำจากการชลประทาน และปริมาณน้ำที่เสื่อมคุณภาพ โดยสามารถแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ Blue Water Footprint หมายถึง ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน Green Water Footprint หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดิน และ Grey Water Footprint หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มีการประยุกต์ใช้หลากหลาย ตั้งแต่การประเมินขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เพื่อจำแนกแนวทางการจัดการในการลดขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ การใช้ข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการวางแผนการจัดการน้ำเชิงพื้นที่ในภาคเกษตรกรรม ตลอดจนการแสดงผลข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บนผลิตภัณฑ์

โดยในปี 2552 สหภาพยุโรปได้จัดการประชุมด้านการจัดการ ทรัพยากรน้ำและการคำนวณวอเตอร์ ฟุตพริ้นท์ ที่สห-ราชอาณาจักร ต่อมาในปีถัดมาเกิดการขาดแคลนน้ำในสหภาพยุโรป ทำให้มีการตระหนักถึงการนำผลผลิตจากสิ่งแวดล้อมด้าน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มาใช้ โดยในปัจจุบันมีบริษัทผู้ผลิตอาหารในฟินแลนด์ได้คิดผลจากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นประเทศแรก นอกจากนี้ สาธารณรัฐฝรั่งเศส กำลังพิจารณาให้แสดงข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บนฉลากสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร (รวมทั้ง ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์และผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ) โดยคาดว่าจะมีการประกาศใช้ฉลากสิ่งแวดล้อมเป็นมาตรการบังคับตามกฎหมายภายในปี 2555 ผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร กำลังได้รับความสนใจในหลายประเทศ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการใช้น้ำค่อนข้างสูงทั้งในการผลิตและบริโภค อีกทั้งยังเป็นผลิตภัณฑ์พื้นฐานที่สำคัญของผู้บริโภคทุกคน โดยในปัจจุบันวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ได้เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานสิ่งแวดล้อมที่บังคับใช้สำหรับสินค้าที่จะมีการผลิตและบริโภคในประเทศฝรั่งเศส และมีแนวโน้มที่จะบังคับใช้ในอีกหลายๆประเทศ ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญที่ผู้ประกอบการควรทำความเข้าใจเพื่อเตรียมรับมือต่อไป

ข้าวเป็นพืชประเภทหญ้าที่มีความสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์มาก ทุกวันนี้คนเอเชียประมาณ 3,000 ล้านคน บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ข้าวจึงนับว่ามีความสำคัญและมีคุณประโยชน์ต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์นับแต่อดีตถึงปัจจุบัน พื้นที่ปลูกข้าวมีมากกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นที่เพาะปลูก ทั้งประเทศและใช้แรงงานมากกว่าครึ่งของแรงงานทั้งประเทศ ข้าวจึงเป็นหนึ่งในอาหารหลักสำหรับประเทศไทยและของโลก ข้าวยังเป็นสินค้าสำคัญในการส่งออกของไทยอีกด้วย จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้เกิดความสนใจในการเลือกข้าวมาเป็นหัวข้อในการศึกษาวิจัยในเรื่องของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยได้ทำการศึกษาถึงรายละเอียดของการปลูกข้าว ซึ่งการเลือกใช้พื้นที่ศึกษาระดับเล็กๆ นั้นทำให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องชัดเจน มีการศึกษาประเมินปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากขั้นตอนต่างๆ ทั้งระบบ ภายใต้เงื่อนไขด้านสังคม เศรษฐกิจ และภูมิศาสตร์กายภาพ การมีข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ถูกต้องยังช่วยให้เกษตรกรและผู้วางนโยบายสามารถตัดสินใจได้ว่าควรเพาะปลูกพืชที่ต้องการใช้น้ำมากในวิธีใด ซึ่งจะทำให้การผลิตสินค้าเกษตรมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อจะได้ทราบว่าในการเพาะปลูกข้าวนั้น มีการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบการปลูกข้าวแบบนาดำ กับแบบนาเปียกสลับแห้ง ในมุมมองของกระบวนการเพาะปลูก การใช้น้ำ ต้นทุน ผลผลิต และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์
2. เพื่อคำนวณหาค่าอวอร์เตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในการปลูกข้าวแบบนาดำ และแบบนาเปียกสลับแห้ง และเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยอื่นๆ

ขอบเขตของการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษาประกอบด้วย 2 พื้นที่ ได้แก่แปลงทดลอง ของสถานีวิจัยทดลองการบริหารจัดการน้ำด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ ภายในสถาบันพัฒนาการชลประทาน และแปลงนาจริง ในตำบลนางลือ อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท
2. ค่าตัวแปรต่างๆ ในการวิเคราะห์จะใช้ค่าที่ได้ในพื้นที่ก่อน แต่หาไม่สามารถหาได้ จะใช้ค่ามาตรฐานจากหน่วยงานต่างๆ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ได้จากการศึกษาทดลองของกรมชลประทาน เป็นต้น
3. การคำนวณปริมาณการใช้น้ำ ใช้วิธีสมมูลน้ำในแปลงนา ควบคู่กับวิธีสมมูลน้ำในเขตรากพืช

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำ การขาดน้ำของการปลูกข้าวแบบนาดำและแบบนาเปียกสลับแห้ง ในทุกระยะการเพาะปลูก และทราบปริมาณน้ำที่เหมาะสม
2. สามารถคำนวณหาค่าvoerเตอร์ฟูตปรินท์ ของการปลูกข้าว 2 แบบ และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย ของการปลูกข้าวแต่ละแบบ
3. สามารถคำนวณความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของการปลูกข้าวแบบนาดำ และแบบนาเปียกสลับแห้ง

การตรวจเอกสาร

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์

พรเทพ (2556) การพัฒนาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (water footprint) ในประเทศไทย บทความวิชาการนี้เป็นบทความที่นำเสนอภาพรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (water footprint) ในประเทศไทย วัตถุประสงค์ของบทความนี้ต้องการแสดงแนวคิดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ กระบวนการคำนวณรอยเท้า น้ำ และปริมาณรอยเท้า น้ำที่ใช้ในประเทศไทย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบ ISO 14040 Life cycle assessment family บทความนี้ศึกษาตัวอย่างของการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในประเทศไทย ทั้งภาคการเกษตร ภาคอาหาร ภาคอุตสาหกรรมการผลิต และอุตสาหกรรมบริการรวมทั้งแนวโน้ม การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ของประเทศไทยในอนาคต เพื่อให้มีการตระหนักถึงการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประโยชน์สูงสุด

ชินธิปกรณ์ และธำรงรัตน์ (2554) ได้ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วยการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกมันสำปะหลัง การใช้น้ำเพื่อการแปรรูปเป็นเอทานอล ซึ่งพบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง มีค่าเท่ากับ 0.267 กิโลกรัมของน้ำต่อปี (ร้อยละ 0.03 ของปริมาณน้ำทั้งประเทศ) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไนจีเรีย นอกจากนี้ยังพบว่า ประเทศไทยยังมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เขียวมากกว่าประเทศไนจีเรีย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำฝน เพื่อเพาะปลูกมันสำปะหลังมากกว่าและยังมีการเพิ่มผลผลิตต่อไร่มากขึ้นด้วย จึงควรทำการศึกษาและเปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทอื่นๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดนโยบายสนับสนุนการเพาะปลูกพืชพลังงาน ให้สอดคล้องกับปริมาณทรัพยากรน้ำของประเทศ ที่มีอยู่อย่างจำกัดในอนาคต

ลักขณา (2555) ได้ศึกษาวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซล โดยอาศัยแนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งในการวิเคราะห์และบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตของปาล์มน้ำมันในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ทั้งหมด 16 จังหวัด (ปีพ.ศ.2550–2554) ซึ่งมีความแตกต่างตามลักษณะ

ของสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ จากผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์ม น้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 2,139 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ส่วนใหญ่เกิดจากปริมาณการใช้น้ำจากการคายระเหยของน้ำฝน 50% และเมื่อพิจารณาปริมาณการใช้น้ำในแต่ละพื้นที่ พบว่า ในเขตพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้น้ำสูงถึง 3.9 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ภาคใต้ โดยจังหวัดที่ใช้น้ำมากที่สุดคือ พิชณุโลก มีค่าเท่ากับ 6,098 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และจังหวัดที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดคือ สุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ 1,070 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ดังนั้นแนวทางการลดปริมาณการใช้น้ำที่เกิดขึ้นจึงควรมุ่งเน้นการศึกษาวิจัยและการพัฒนาระบบน้ำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อการพัฒนาด้านพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืนในอนาคต

ลักนาพร (2555) ได้ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมัน ณ โครงการปลูกปาล์มอินทรีย์พัฒนา-แม่ฟ้าหลวง จ.เพชรบุรี งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันที่ปลูก ณ โครงการปลูกปาล์มอินทรีย์พัฒนา-แม่ฟ้าหลวง จังหวัดเพชรบุรี ในช่วงปี พ.ศ. 2549-2553 การประเมินในงานวิจัยครั้งนี้อาศัยหลักการวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของ Hoekstra et al. (2009) เพื่อประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมัน CROPWAT model เวอร์ชัน 8.0 ใช้ในการคำนวณหาความต้องการใช้น้ำของพืช (green, blue WFs) สำหรับ grey WF จะวิเคราะห์เฉพาะในกรณีในโตรเจนของปุ๋ยที่ใช้เท่านั้น ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าผลผลิตปาล์มตลอดอายุการเก็บเกี่ยวเท่ากับ 7.8 ton/ha ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันเท่ากับ $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ ประกอบด้วย $\text{CWU}_{\text{green}} = 2,880 \text{ m}^3/\text{ha}$, $\text{CWU}_{\text{blue}} = 10,060 \text{ m}^3/\text{ha}$ และ $\text{CWU}_{\text{grey}} = 9,000 \text{ m}^3/\text{ha}$ ประสิทธิภาพการใช้น้ำในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันคือ $0.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ ในส่วนของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันเท่ากับ $12,940 \text{ m}^3/\text{ton}$ ($\text{WF}_{\text{green}} = 524 \text{ m}^3/\text{ton}$, $\text{WF}_{\text{blue}} = 1,829 \text{ m}^3/\text{ton}$ and $\text{WF}_{\text{grey}} = 1,636 \text{ m}^3/\text{ton}$) การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันของพื้นที่ศึกษามีความต้องการใช้น้ำจากชลประทานมากที่สุดและมีแนวโน้มความต้องการน้ำชลประทานเพิ่มมากขึ้นในอนาคต ดังนั้นควรเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำชลประทาน รวมถึงเพิ่มผลผลิตและความอุดมสมบูรณ์แก่ดินของพื้นที่ให้มากที่สุด จึงจะสามารถช่วยลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันในพื้นที่ศึกษานี้ได้

อนัตยา (2557) ศึกษาการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง พื้นที่จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี ผลการศึกษาพบว่า กรีน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมันสำปะหลัง คือ 333 และ 97 ลูกบาศก์เมตร (น้ำ)/ตัน (มัน

ลำปะหลัง) ตามลำดับ และวอเตอร์ฟุตปริ้นท์จากการปลูกมันสำปะหลัง คือ 430 ลูกบาศก์เมตร (น้ำ)/ตัน (มันสำปะหลัง) และไม่พบว่ามียวอเตอร์ฟุตปริ้นท์จากการปลูกมันสำปะหลัง เมื่อศึกษา วอเตอร์ฟุตปริ้นท์จากกระบวนการผลิตเอทานอลในอุตสาหกรรมพบว่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ที่มีค่า เท่ากับ 11 ลิตร (น้ำ)/ลิตร (เอทานอล) และจากการศึกษาในภาคอุตสาหกรรมไม่พบกรีนและเกรย์วอเตอร์ฟุต ปริ้นท์ เนื่องจากไม่มีการนำกรีนวอเตอร์ฟุตปริ้นท์มาใช้ในกระบวนการผลิต และน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะส่งไปใช้รดน้ำในพื้นที่เกษตรของโรงงาน ผล การศึกษาวอเตอร์ฟุตปริ้นท์จากการผลิตเอทานอลที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ พบว่า กรีนวอเตอร์ ฟุตปริ้นท์ที่มีค่าเท่ากับ 1,963 ลิตร (น้ำ)/ลิตร (เอทานอล) บลูวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ที่มีค่าเท่ากับ 11 ลิตร (น้ำ)/ลิตร (เอทานอล) และเกรย์วอเตอร์ฟุตปริ้นท์ มีค่าเท่ากับ 570 ลิตร (น้ำ)/ลิตร (เอทานอล)

ธีระวัฒน์ (2555) ศึกษาอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา โลกกะเทียม โดยศึกษาทำการคำนวณหาอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์อย่างละเอียดโดยใช้ข้อมูลจากการ ดำรงจากสถานีในพื้นที่เพาะปลูกข้าวของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโลกกะเทียม ซึ่งพบว่า เกษตรกรในพื้นที่ เพาะปลูกข้าวด้วยวิธีการนาหว่านน้ำตม การศึกษานี้ได้ใช้ค่า Kc ของกรม ชลประทานซึ่งมีค่าสูงกว่าค่า Kc ของ FAO. No.56 และค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ยอมให้มีค่า เพียงครึ่งหนึ่งของ Chapagain และ Hoekstra (2011) เท่านั้น ดังนั้นการใช้ค่าพื้นฐานอาจส่งผลให้ได้ ค่าอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ที่มีค่าสูงกว่าการศึกษาที่ผ่านมา ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การปลูกข้าวใน เขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโลกกะเทียม มีผลผลิตสุทธิประมาณ 467 ตัน/ตร.กม. (747 กก./ไร่) ค่าอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวเฉลี่ยนาปีและนาปรังเท่ากับ 1,627 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นค่าบลู วอเตอร์ฟุตปริ้นท์ 771 ลบ.ม./ตัน ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ 438 ลบ.ม./ตัน และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตป ริ้นท์ 418 ลบ.ม./ตัน ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้น้ำและกำหนดแนวทางในการ บริหารจัดการน้ำที่เหมาะสมในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโลกกะเทียมได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์

หลักการของการนำน้ำมาคิดเกิดโดย Professor William Rees ได้วิจัยเกี่ยวกับด้านนิเวศวิทยา จึงได้กำหนดคำว่ารอยเท้านิเวศน์ (Ecological Footprint) มาใช้ในงานวิจัย โดยหลักการของรอยเท้านิเวศน์เป็นการประเมินความต้องการของมนุษย์ในแง่ต่างๆต่อระบบนิเวศน์ จนกระทั่งพัฒนามาเป็นคำว่ารอยเท้าคาร์บอน (Carbon Footprint) ในช่วง พ.ศ.2543 และในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาจึงได้มีการเริ่มพัฒนามาเป็นคำว่ารอยเท้าน้ำ (Water Footprint) ที่เริ่มแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ส่วนใหญ่มีการใช้น้ำและทำให้น้ำปนเปื้อนมลพิษต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมจากภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม ภาคชุมชน ภาคครัวเรือน เป็นต้น และในอดีตที่ผ่านมาได้มีการให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการน้ำน้อยมาก ทำให้แนวคิดการบริหารจัดการมลพิษทางน้ำ ร่วมกับห่วงโซ่การผลิตและโซ่อุปทานทั้งหมดเริ่มมี มากขึ้นตามลำดับ ดังนั้นความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างห่วงโซ่อุปทานการผลิตกับการใช้น้ำ และการทำให้น้ำเกิดมลพิษ จึงก่อให้เกิดหลักการบริหารจัดการน้ำในภาพรวมที่ดีกว่าเดิมและเป็นที่มาของแนวคิด “รอยเท้าน้ำ (Water Footprint)” และได้ถูกกล่าวขึ้นอีกครั้งประมาณปี 2545 โดย Professor Arjen Hoekstra ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยการคิดรอยเท้าน้ำ ของผลิตภัณฑ์ คือ การประเมินการใช้น้ำจากห่วงโซ่อุปทานการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (full supply chain) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี ทั้งนี้รอยเท้าน้ำเป็นค่าชี้วัดที่ชัดเจนเนื่องจากการแสดงปริมาณการใช้น้ำและยังแสดงการปล่อยน้ำเสีย แสดงสถานที่และระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำอีกด้วย (พรเทพ, 2556)

ประเภทของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท (Chapagain and Hoekstra, 2011) ดังนี้

1) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (Blue Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้จากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งจากน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน เพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์และบริการ

2) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (Green Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำจากน้ำฝนที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์และบริการ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไปเพื่อการเจริญเติบโตของพืช

3) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Gray Water Footprint) คือ ปริมาณน้ำที่ใช้เจือจางน้ำเสียที่เกิดขึ้นให้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถปล่อยทิ้งสู่ธรรมชาติได้ ซึ่งอีกนัยหนึ่ง เป็นการบอกถึงปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นและปล่อยทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในปัจจุบันดำเนินการตามคู่มือการประเมิน Water Footprint ชื่อ “The Water Footprint Assessment Manual” (Hoekstra et al., 2011) ซึ่งมีรายละเอียดหลากหลายขั้นตอน โดยพอจะสรุปหลักการคำนวณพอสังเขปดังนี้

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

โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำที่พืชใช้ (Crop water use, CWU) (หน่วย m^3/rai)หารด้วยปริมาณผลผลิตของพืชนั้น (yield, Y) (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) เป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณหา วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF) โดยทั่วไป นักวิจัยจะสนใจปริมาณน้ำที่พืชใช้ เพื่อพิจารณาการให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ ผลผลิตสูงสุด แต่วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีความหมายที่มากกว่านั้นโดยมองในแง่ของ การใช้น้ำในการผลิตสินค้าต่อหน่วยสินค้า ซึ่งทำให้สามารถเปรียบเทียบการผลิตสินค้าชนิดเดียวกันที่พื้นที่ต่างกันหรือเปรียบเทียบการผลิตสินค้าต่างชนิดกัน ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีในการวางแผนและบริหารจัดการเลือกผลิตสินค้าและช่วงเวลาในการผลิตสินค้าที่ทำให้การใช้น้ำเกิด ประสิทธิภาพสูงสุด ดังกล่าวไว้ข้างต้น

ค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ซึ่งคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางน้ำเสียให้ความเข้มข้น ลดลงให้อยู่ในระดับมาตรฐานที่ยอมรับได้ มาตรฐานของแม่น้ำลำคลองและคุณภาพของน้ำใน แหล่งน้ำประเภท 2 โดยกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กำหนดให้มีปริมาณไนเตรด (NO₃) ในน้ำในหน่วยไนโตรเจน ต้องมีค่าไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังสมการสมการ

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

เมื่อ α คือ การรั่วซึมออกของปุ๋ย เนื่องจากไม่มีค่าจากภาคสนามในที่นี้จึงสมมติให้เท่ากับ 10% ของ AR (Mekonnen and Hoekstra, 2010) ค่า AR คือ อัตราการใช้ปุ๋ยในพื้นที่ต่อไร่ มีหน่วยเป็น กก./ไร่ ซึ่งใช้ข้อมูลจากการสำรวจ C_{max} คือ ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ มีหน่วยเป็น กก./ลบ.ม. C_{nat} คือ ความเข้มข้นมลพิษในธรรมชาติที่พิจารณา มีหน่วยเป็น กก./ลบ.ม. เนื่องจากไม่มีข้อมูลในที่นี้จึงสมมติให้เท่ากับศูนย์ (Mekonnen and Hoekstra, 2010)

วอเตอร์ฟุตปริ้นท์ในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยได้รับแนวคิดรอยเท้าน้ำไม่ก็ปีเนื่องจาก มาตรฐาน ISO 14040 Life cycle assessment family มีเกณฑ์การกำหนดให้ทุกผลิตภัณฑ์จะต้องดำเนินการวิเคราะห์ห่วงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการจนจบกระบวนการ ตัวอย่างประเทศฝรั่งเศสได้กำหนดนโยบายสินค้าที่นำเข้ามาขายภายในประเทศต้องมีฉลากสิ่งแวดล้อมอย่างน้อย 2 ชนิดจาก 3 ชนิด (ฉลากน้ำฉลากความหลากหลายทางชีวภาพ ฉลากทรัพยากรธรรมชาติ) แนวโน้มการศึกษารอยเท้าน้ำในประเทศไทย มีการศึกษายังไม่มากและไม่ครอบคลุมสินค้าที่ส่งออกทั้งหมดและควรมีการศึกษาผลิตภัณฑ์ที่มีการส่งออก จากข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานที่มีการใช้ปริมาณน้ำมากที่สุดในประเทศไทย 6 อันดับแรก คืออันดับที่ 1 โรงงานประเภทเม็ล็ดพืชและหัวพืช อันดับที่ 2 โรงงานประเภทสิ่งทอ อันดับที่ 3 โรงงานประเภทเชื้อกระดาษ อันดับที่ 4 โรงงานประเภทเคมีภัณฑ์ อันดับที่ 5 โรงงานประเภทยาง อันดับที่ 6 โรงงานประเภทน้ำตาล ดังนั้นโรงงานประเภทเม็ล็ดพืชและหัวพืชจึงเป็นสิ่งที่ควรศึกษาเป็นอันดับแรก ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ ชีระวัฒน์ ธรรมนิยมและคณะ ได้ศึกษารอยเท้าน้ำของข้าวในพื้นที่ฝั่งซ้ายคลองชัยนาท-ป่าสัก โดยการวิเคราะห์การเพาะปลูกข้าวทั้งนาปี และนาปรัง ปัจจุบัน ค่ารอยเท้าน้ำของข้าวเปลือกเฉลี่ยทั่วโลกประมาณ 1,325 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และค่ารอยเท้าน้ำของข้าวเปลือกในประเทศไทยเฉลี่ย 1,617 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ค่ารอยเท้าน้ำของข้าวเฉลี่ยนาปี และนาปรังเท่ากับ 1,653 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน แต่ปริมาณรอยเท้าน้ำของข้าวที่ศึกษาสูงกว่าค่าเฉลี่ยของรอยเท้าน้ำของโลก ดังนั้นการจะทำให้ประเทศไทยมีรอยเท้าน้ำที่มีปริมาณลดลง ควรเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ให้ได้มากที่สุดรวมถึงการจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพ (พรเทพ, 2556)

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างค่าเฉลี่ยร้อยละของสินค้า

สินค้า	ค่าเฉลี่ยร้อยละ	ค่าเฉลี่ยร้อยละ
	ของโลก	ของประเทศไทย
ยางพารา	13,747	7,952
ไก่แปรรูป	4,325	5,443
ข้าว	2,628	3,529
น้ำตาลทราย	1,666	2,049
มันสำปะหลัง	563	467

ที่มา : พรเทพ (2556)

ข้าว

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก โดยเฉพาะประเทศในภูมิภาคเอเชียที่นิยมรับประทานข้าวเป็นอาหารประจำวันมากกว่าในภูมิภาคอื่นๆของโลก การผลิต บริโภคและการค้าข้าวส่วนใหญ่จึงกระจุกตัวอยู่ในทวีปเอเชีย แต่ข้าวที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะใช้ในการบริโภคภายในประเทศ ทำให้มีข้าวเพียงร้อยละ 6 เท่านั้นที่เข้าสู่ตลาดการค้าข้าวระหว่างประเทศ โดยประเทศที่มีบทบาทมากที่สุดในการส่งออกข้าว คือประเทศไทย รองลงมาคือ อินเดีย เวียดนาม จีนและพม่า ตามลำดับ โดยไทยส่งออกข้าวปีละประมาณ 7 ล้านตัน เป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 30 ของการส่งออกข้าวทั้งหมดทั่วโลก

พันธุ์ข้าว

ข้าวที่นำมาปลูกเป็นอาหารนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ข้าว *Oryza sativa* ปลูกในทวีปเอเชียและ *Oryza glaberrima* ปลูกในทวีปแอฟริกา แต่ข้าวที่ค้าขายกันในตลาดโลกเกือบทั้งหมดเป็นข้าวที่ปลูกจากแถบเอเชีย ซึ่งข้าวชนิดดังกล่าวยังสามารถแบ่งได้ตามแหล่งปลูกอีก คือ

ข้าวอินดิกา (Indica) มีลักษณะเมล็ดยาวรี ต้นสูง เป็นข้าวที่ปลูกในเอเชียเขตร้อน ตั้งแต่ จีน เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ไทย อินโดนีเซีย อินเดีย และศรีลังกา ข้าวพันธุ์นี้ค้นพบครั้งแรกในอินเดีย และต่อมาได้พัฒนาไปปลูกที่ทวีปอเมริกา

ข้าวจาปอนิกา (Japonica) เป็นข้าวที่ปลูกในเขตอบอุ่น เช่น จีน ญี่ปุ่น เกาหลี มีลักษณะ เมล็ดป้อม กลมรี ต้นเตี้ย

ข้าวจาวานิกา (Javanica) ปลูกในอินโดนีเซียและฟิลิปปินส์ มีเมล็ดป้อมใหญ่ แต่ไม่ได้รับความนิยมเพราะให้ผลผลิตต่ำ

สำหรับข้าวที่ปลูกในไทยเป็นพันธุ์ข้าวเมล็ดยาว คือ ข้าวอินดิกา แต่ประกอบด้วยหลายพันธุ์ ทั้งที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ และข้าวพันธุ์พื้นเมืองซึ่งมีอยู่ประมาณ 3,500 พันธุ์ ซึ่งมีข้าวป่า ข้าวพื้นเมือง และข้าวที่ผสมโดยมนุษย์ขึ้นมาใหม่ แต่ข้าวพันธุ์ที่สร้างชื่อเสียงให้กับไทยมากที่สุด คือ ข้าวหอมมะลิ ลักษณะของข้าวหอมมะลิ หรือข้าวดอกมะลิ เป็นข้าวที่มีความไวต่อช่วงแสง หมายถึง พันธุ์ข้าวจะออกดอกในวันที่กลางคืนยาวกว่ากลางวันเท่านั้น คือ ช่วงฤดูหนาวทำให้สามารถปลูกได้เฉพาะนาปีเท่านั้น ส่วนชื่อ เรียกว่าข้าวหอมมะลินั้นมีที่มาจากสีของข้าวที่ขาวเหมือนดอกมะลิ แต่มีกลิ่นหอมเหมือนใบเตย ไม่ได้หมายความว่าข้าวนั้นหอมเหมือนมะลิ ลักษณะที่สำคัญของข้าวหอมมะลิ คือ เมื่อหุงหรือนึ่งสุกแล้วเมล็ดข้าวสุกจะอ่อนนุ่มมากกว่าข้าวเจ้าทั่วไป แต่ร่วนน้อยกว่า และมีกลิ่นหอม ข้าวที่ปลูกเพื่อใช้เป็นข้าวหอมมะลิมิ 2 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข.15 ซึ่งข้าว กข.15 ก็คือข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่นำไปอาบรังสีแกมมาทำให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ประมาณ 4-6 % ซึ่งข้าวทั้งสองพันธุ์นี้มีลักษณะ คือ เมล็ดข้าวจะฟักตัวในเวลาประมาณ 8 สัปดาห์ เมล็ดมีเปลือกสีน้ำตาล ยาว 7.4 มม. รูปร่างเรียวยาว เมื่อข้าวสุกจะหอมนุ่ม มีอะมิโลส(amylose) 14-17 % ปลูกได้ในที่นาดอนทั่วไทย ทนแล้ง ดินเปรี้ยว ดินเค็ม ดำนทานไส้เดือนฝอยรากปม ไม่ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง เพี้ยกระดาดสีน้ำตาล และหนอนกอ (การผลิตและการตลาดข้าวหอมมะลิ, 2542)

ลักษณะของข้าวที่สำคัญทางการเกษตร

เป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตสูงของต้นข้าว ในท้องที่ที่ปลูก การทนต่อสภาพแวดล้อม ที่เปลี่ยนแปลงเสมอๆ ตลอดจนคุณภาพของเมล็ดข้าว ฉะนั้น พันธุ์ข้าวที่ดี

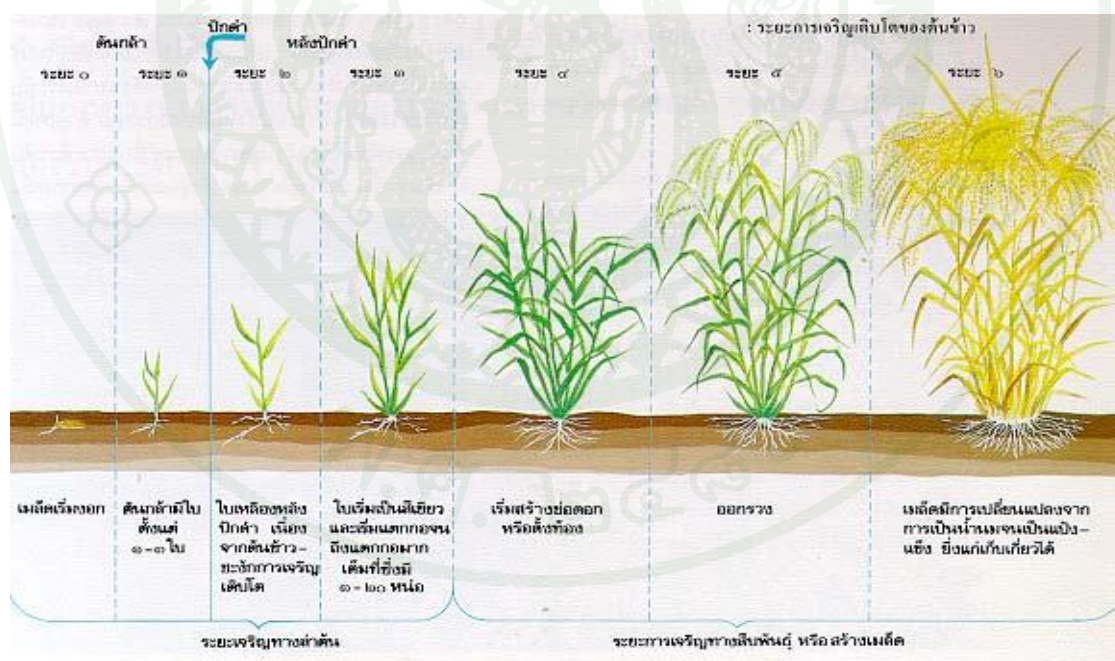
จะต้องมีลักษณะเหล่านี้ดี และเป็นที่ต้องการของชาวนา และตลาด ลักษณะที่สำคัญๆ มีดังนี้

1) ระยะเวลาพักตัวของเมล็ด (seed dormancy) เมล็ดที่เก็บเกี่ยวมาจากต้นใหม่ ๆ เมื่อเอาไปเพาะ มักจะไม่งอกทันที มันจะต้องใช้เวลาสำหรับพักตัวอยู่ระยะหนึ่ง ประมาณ 15-30 วัน จึงจะมีความงอก ถึง 80 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาหลังจากเก็บเกี่ยวที่เมล็ดไม่งอกนี้ เรียกว่า ระยะพักตัวของเมล็ดข้าว พวกอินดิคาแทบทุกพันธุ์ มีระยะพักตัวของเมล็ด แต่ข้าวพวกจาปอนิกานั้น ไม่มีระยะพักตัว ระยะพักตัว มีประโยชน์มาก โดยเฉพาะเป็นประโยชน์ สำหรับชาวนาในเขตร้อน ซึ่งมีฝนตก และมีความชื้นของอากาศสูงในฤดูเก็บเกี่ยว เพราะข้าวที่ไม่มีระยะพักตัวของเมล็ด จะงอกทันที เมื่อได้รับความชื้น หรือเมล็ดเปียกน้ำฝน ส่วนข้าวที่มีระยะพักตัว มันจะไม่งอกในสภาพดังกล่าว ซึ่งชาวนาจะได้รับผลผลิตเต็มที่ตามที่เก็บเกี่ยวได้ ระยะพักตัวของเมล็ดข้าว ส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในเมล็ดยังไม่สมบูรณ์ ฉะนั้น เมื่อได้เก็บเกี่ยวมาแล้ว เมล็ดจึงไม่งอกและต้องรอไป จนกว่าเมล็ดนั้น ได้มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาครบสมบูรณ์เสียก่อน มันจึงจะงอก สำหรับข้าวปีานั้น มีระยะ พักตัวนานกว่าพันธุ์ข้าวที่ชาวนาปลูก บางครั้งเป็น เวลานานประมาณ 5-6 เดือน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ระยะพักตัวใน 30 วันแรก เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และหลังจากนั้น เนื่องมาจากเปลือกนอกใหญ่ ที่ห่อหุ้มเมล็ดประสานกันแน่นมาก จนอากาศและน้ำเข้าไปไม่ได้ ฉะนั้น จะต้องแกะเปลือกนอกใหญ่ออกเสียก่อน แล้วจึงเอาเมล็ดไปเพาะในจานแก้ว เพื่อให้งอกตามปกติ ดังนั้น ระยะพักตัวของเมล็ดข้าวอาจเกิดขึ้นได้ด้วยสาเหตุทางสรีรวิทยา และลักษณะทางกายภาพของเมล็ด

2) ความไวต่อช่วงแสง (sensitivity to photoperiod) ระยะความยาวของกลางวันมีอิทธิพลต่อการออกดอกของต้นข้าว ดังนั้น พันธุ์ข้าวจึงแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด โดยถือเอาความไวต่อช่วงแสง หรือระยะความยาวของกลางวันเป็นหลัก คือ ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง และข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง

2.1) ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง ข้าวพวกนี้ออกดอก เฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันสั้น ปกติเราถือว่า กลางวันมีความยาว 12 ชั่วโมง และกลางคืน มีความยาว 12 ชั่วโมง ฉะนั้น กลางวันที่มีความยาว น้อยกว่า 12 ชั่วโมง ก็ถือว่าเป็นวันสั้น และกลางวันที่มีความยาวมากกว่า 12 ชั่วโมง ก็ถือว่าเป็นวันยาว และพบว่า ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงในประเทศไทย มักจะเริ่มสร้างช่อดอก และออกดอก ในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 40 นาที หรือสั้นกว่านี้ ดังนั้น ข้าวที่ออกดอกได้ ในเดือนที่มีความยาวของกลางวัน 11 ชั่วโมง 40-50 นาทีจึงได้ชื่อว่า เป็นข้าวที่มีความไว

น้อยต่อช่วงแสง (less sensitive to photoperiod) และพันธุ์ที่ออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 10-20 นาที ก็ได้ชื่อว่า เป็นพันธุ์ที่มีความไวต่อช่วงแสง (strongly sensitive to photoperiod) ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์ จึงเรียกข้าวว่า พืชวันสั้น (short-day plant) พันธุ์ข้าวในประเทศไทยที่เป็นพันธุ์พื้นเมือง ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่มีความไวต่อช่วงแสง โดยเฉพาะข้าวที่ปลูกเป็นข้าว นาเมือง หรือข้าวขึ้นน้ำ การปลูกข้าวพวกที่ไวต่อช่วงแสงจะต้องปลูกในฤดูนาปี (โดยอาศัยน้ำฝน บางครั้งจึงเรียกว่า ข้าวหน้าน้ำฝน) เพราะในฤดูนาปี กลางวันมีความยาวกว่า 12 ชั่วโมง เดือนที่มีกลางวันสั้นที่สุด ได้แก่ เดือนธันวาคม และเดือนที่มีกลางวันยาวที่สุด ได้แก่ เดือน มิถุนายน ความยาวของกลางวันจะเริ่มสั้น จนมากพอที่จะทำให้ข้าวพวกไวต่อช่วงแสงออกดอกได้นั้น คือ วันในเดือนกันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม ข้าวที่มีความไวต่อช่วงแสง จะออกดอกในเดือนกันยายน ตุลาคม ซึ่งเรียกว่า ข้าวเบา ข้าวที่ออกดอก ในเดือน พฤศจิกายน เรียกว่า ข้าวกลาง และข้าวที่ออกดอกในเดือนธันวาคม มกราคม เรียกว่า ข้าวหนัก ด้วยเหตุนี้ ข้าวพวกที่ไวต่อช่วงแสง จะออกดอกในเดือนดังกล่าวนี้เท่านั้น ไม่ว่าจะปลูกในเดือนอะไรก็ตาม มันจึงมีระยะการเจริญเติบโตมากพอสมควร



ภาพที่ 1 ระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

ที่มา : สารานุกรมไทยฉบับเยาวชนฯ (2542)

2.2) ข้าวที่ไม่ไวต่อแสง การออกดอกของข้าวพวกนี้ ไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของกลางวัน เมื่อต้นข้าวได้มีระยะเวลาการเจริญเติบโตครบตามกำหนด ต้นข้าวก็จะออกดอกทันที ไม่ว่าเดือนนั้นจะมีกลางวันสั้นหรือยาว พันธุ์ข้าว กข.1 เป็นพันธุ์ที่ไม่ไวต่อช่วงแสง เมื่อมีอายุเจริญเติบโตนับจากวันตกกล้า ครบ 90-100 วัน ต้นข้าวก็จะออกดอก ฉะนั้น พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง จึงใช้ปลูกได้ผลดี ทั้งในฤดูนาปรังและนาปี อย่างไรก็ตาม พวกที่ไม่ไวต่อช่วงแสงมักจะให้ผลผลิตสูง เมื่อปลูกในฤดูนาปรัง ปกติระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวทั้งไว และไม่ไวต่อช่วงแสง แบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ ดังนี้

(1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (basic vegetative growth phase) เป็นระยะเวลานับตั้งแต่วันตกกล้า จนถึงวันที่แตกกอ และต้นสูงเต็มที่ ในระยะนี้ ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตทางความสูง และแตกเป็นหน่อใหม่จำนวนมาก

(2) ระยะการสร้างช่อดอก (panicle initiation phase) เป็นระยะเวลาที่ต้นข้าวเริ่มสร้างช่อดอก จนถึงรวงข้าวเริ่มโผล่ออกมาให้เห็น ซึ่งใช้เวลาประมาณ 20 วัน สำหรับพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง อาจเรียกระยะนี้ว่า ระยะที่มีความไวต่อช่วงแสง (photoperiod sensitive phase) ดังนั้น ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง เมื่อได้ครบระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นแล้ว ต้นข้าวจะไม่สร้างช่อดอก จนกว่าต้นข้าวจะได้รับช่วงแสงที่มันต้องการ ส่วนข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง จะเริ่มสร้างช่อดอกทันที หลังจากที่ต้นข้าวได้ครบระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นแล้ว ดังนั้น การปลูกในระยะเวลาที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้พันธุ์ที่ไวต่อช่วงแสงมีเวลามากหรือน้อยเกินไป สำหรับการเจริญเติบโตทางลำต้น โดยเฉพาะการใช้พันธุ์ที่ไวต่อช่วงแสงปลูกต่ำกว่าปกติ จะทำให้ต้นข้าวมีระยะเวลาน้อยไป ทำให้ได้ผลผลิตต่ำ

3) ความสามารถในการขึ้นน้ำและการทนน้ำลึก (floatong ability and tolerance to deep water) ข้าวที่ปลูกในประเทศไทย ชนิดข้าวไร่ และข้าวนาสวน ไม่จำเป็นต้องมีความสามารถในการขึ้นน้ำ หรือการทนน้ำลึก เพราะพื้นที่ปลูกนั้น ไม่มีน้ำลึก แต่พันธุ์ข้าวที่ปลูกเป็นข้าวนาเมืองนั้น จำเป็นต้องมีความสามารถในการขึ้นน้ำ และต้องทนน้ำลึกด้วย เพราะระดับน้ำในนาเมือง ในระยะต้นข้าวกำลังเจริญเติบโตทางลำต้น และออกรวง มีความชื้นประมาณ 80-300 เซนติเมตร โดยเฉพาะในระหว่างเดือนกันยายน และต้นเดือนธันวาคม ปกติชาวนาที่ปลูกข้าวนาเมือง จะต้องลงมือไถนาเตรียมดิน และหว่านเมล็ดพันธุ์ ในเดือนเมษายนหรือพฤษภาคม เพราะในระยะนี้ ดินแห้งน้ำไม่ขังในนา ซึ่งเหมาะสำหรับการเตรียมดิน และหว่านเมล็ดพันธุ์ เมื่อฝนตกลงมา หลังจากที่ได้หว่านเมล็ดแล้ว เมล็ดข้าวที่หว่านลงไป จะงอกเป็นต้นกล้า และเจริญเติบโตในดิน ที่ไม่มีน้ำขังนั้น จนถึงเดือน

กรกฎาคมหรือสิงหาคม ฉะนั้น ข้าวพวกนี้ จึงมีสภาพคล้ายข้าวไร่ในระยะแรกๆ ต่อมาในเดือนสิงหาคม ฝนจะเริ่มตกหนักขึ้นๆ และระดับน้ำในนา ก็จะสูงขึ้นๆ จนมีความลึกประมาณ 80-300 เซนติเมตร ในเดือนกันยายน แล้วระดับน้ำลึกนี้ ก็จะอยู่ในนาอย่างนี้ไปจนถึงกลางเดือนธันวาคม หลังจากนั้นระดับน้ำก็จะเริ่มลดลง กระทั่งแห้ง ในเดือนมกราคม ด้วยเหตุนี้ ต้นข้าวจะต้องเจริญเติบโตทางความสูง ในระยะที่ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น เพื่อให้มีส่วนของลำต้นและใบจำนวนหนึ่ง อยู่เหนือระดับน้ำ ความสามารถของต้นข้าว ในการเจริญเติบโตให้มีต้นสูง เพื่อหนีระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า ความสามารถในการขึ้นน้ำของต้นข้าว เนื่องจาก ต้นข้าวจะต้องอยู่ในน้ำ ที่มีความลึกมากอย่างนี้เป็นเวลา 2-3 เดือน ก่อนที่ต้นข้าวจะออกรวง จนแก่เก็บเกี่ยวได้ ในต้นหรือกลางเดือนมกราคม ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ระดับน้ำในนา ได้ลดลงเกือบแห้ง ฉะนั้น ความสามารถของต้นข้าว ที่เจริญเติบโตอยู่ในน้ำลึก จนกระทั่งเก็บเกี่ยวนี้ จึงเรียกว่า การทนน้ำลึก ดังนั้น การขึ้นน้ำ และการทนน้ำลึก จึงเป็นลักษณะที่จำเป็นยิ่งของพันธุ์ข้าวนาเมือง หรือข้าวขึ้นน้ำ

4) คุณภาพของเมล็ด (grain quality) คุณภาพของเมล็ดแบ่งออกได้เป็น ๒ ประเภทด้วยกัน คือ คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ ซึ่งหมายถึง ลักษณะรูปร่าง และขนาดของเมล็ดที่มองเห็นได้เป็นลักษณะที่เกี่ยวกับ ความยาว ความกว้าง และความหนา ของเมล็ดข้าวกล้อง ตลอดจนถึงการมีท้องไข่ของข้าวเจ้า นอกจากนี้คุณภาพในการสีเป็นข้าวสาร ก็ถือว่าเป็นคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดด้วย เมล็ดข้าวที่ตลาดต้องการ และถือว่า มีเมล็ดได้มาตรฐานนั้น เมล็ดข้าวกล้องจะต้องมีความยาวประมาณ 7 – 7.5 มิลลิเมตร ความกว้างและความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร และมีหน้าตัดของเมล็ดค่อนข้างกลม ถ้าเป็นข้าวเจ้า เมล็ดจะต้องใส ไม่มีท้องไข่ การมีท้องไข่ของเมล็ดข้าวกล้องนั้น ทำให้เมล็ดหักง่าย เมื่อเอาไปสีเป็นข้าวสาร ซึ่งทำให้ได้เมล็ดข้าวสารที่หักมาก ดังนั้น พันธุ์ข้าวที่รัฐบาลไทยส่งเสริมให้ชาวนาปลูก จะต้องมีความคุณภาพเมล็ดได้มาตรฐาน ซึ่งเรียกว่า ข้าวพันธุ์ดี และคุณภาพเมล็ดทางเคมี ซึ่งหมายถึง องค์ประกอบทางเคมีที่รวมกันเป็นเม็ดแป้งของข้าว ที่หุงต้ม เพื่อบริโภคเป็นลักษณะขององค์ประกอบของแป้งในเมล็ดข้าวกล้อง ข้าวเหนียว และข้าวเจ้า แตกต่างกันไปในชนิดของแป้ง ที่รวมกันเป็นเอ็นโดสเปิร์ม เมล็ดข้าวเหนียวประกอบด้วย แป้งชนิดอะมิโล เพกทินเป็นส่วนใหญ่ และมีแป้งอะมิโลสน้อยมาก คือ ประมาณ 5-7 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ส่วนเมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วย แป้งชนิดอะมิโลส ประมาณ 15-30 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ของอะมิโลสในเมล็ดข้าวเจ้าของพวกอินดิกา และจาปอนิกา ก็แตกต่างกันด้วย ข้าวอินดิกามีแป้งอะมิโลสประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวพวกจาปอนิกามีเพียง 15-20 เปอร์เซ็นต์ ข้าวไทยที่มีเปอร์เซ็นต์ของแป้งอะมิโลสต่ำ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 (22 เปอร์เซ็นต์) ส่วนข้าวไทยที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งอะมิโลสสูง ได้แก่ กข.1 (30 เปอร์เซ็นต์)

5) ลักษณะรูปต้น (plant type) รูปต้นของข้าวมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการให้ผลผลิต และการให้ผลผลิตของข้าว ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 3 อย่าง คือ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนักข้าวเปลือก 100 เมล็ด การที่จะได้องค์ประกอบที่ดีทั้งสามอย่างนี้ อยู่ในต้นเดียวกันนั้น เป็นการยากมาก เพราะองค์ประกอบเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับสรีรวิทยาภายในต้นข้าว และสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น การเปลี่ยนแร่ธาตุอาหารให้เป็นแป้ง แล้วส่งไปสร้างส่วนต่างๆ ของต้นข้าว ที่กำลังเจริญเติบโต อาหารจำนวนหนึ่งจะต้องเปลี่ยนเป็นจำนวนรวง จำนวนเมล็ด และน้ำหนักของเมล็ด ถ้าอาหารส่งไปเลี้ยง และสร้างจำนวนรวงเป็นส่วนใหญ่ อาหารก็เหลือน้อย สำหรับสร้างจำนวนเมล็ด และน้ำหนักเมล็ด ฉะนั้น ต้นข้าวต้นนี้ จึงมีจำนวนรวงมาก จำนวนเมล็ดต่อรวงน้อย และน้ำหนักข้าวเปลือกของเมล็ดเบา จึงเป็นสิ่งที่ทำไม่ได้ ที่จะให้มีต้นข้าวที่มีเมล็ดในรวงมาก และเมล็ดข้าวเปลือกมีน้ำหนักมาก ทำได้เพียงให้ได้องค์ประกอบทั้งสามอย่าง ในจำนวนที่พอๆ เท่านั้น ต่อมานักวิชาการเรื่องข้าวได้ศึกษาพบว่า ต้นข้าวจะให้ผลผลิตสูงหรือต่ำนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะรูปต้นของข้าว เพราะรูปต้นของข้าว มีความสัมพันธ์กับการใช้ปุ๋ย หรือที่เรียกว่า การตอบสนองต่อปุ๋ย และการเปลี่ยนแร่ธาตุอาหารจากปุ๋ยให้เป็นแป้ง ซึ่งใช้ในการสร้างส่วนต่างๆ ของต้นและเมล็ดข้าว พันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูง จะต้องมีลักษณะรูปต้นที่สำคัญๆ ดังนี้ ใบมีสีเขียวแก่ตรง ไม่โค้งงอ แผ่นใบไม่กว้าง และไม่ยาวจนเกินไป ความสูงของต้นประมาณ 100-130 เซนติเมตร ลำต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย แตกกอมากและให้รวงมาก (สารานุกรมไทยฉบับเยาวชนฯ, 2542)

วิธีการปลูกข้าว

การปลูกข้าวในประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีด้วยกันดังนี้

1. การปลูกข้าวไร่ หมายถึง การปลูกข้าวบนที่ดอน และไม่มีน้ำขังในพื้นที่ปลูก ชนิดของข้าวที่ปลูก เรียกว่า ข้าวไร่ พื้นที่ดอนส่วนมาก เช่น เชิงภูเขา มักจะไม่มีระดับ คือ สูงๆ ต่ำๆ จึงไม่สามารถไถเตรียมดิน และปรับระดับได้ง่ายๆ เหมือนกับพื้นที่ราบ เพราะฉะนั้น ชาวนามักจะปลูกแบบหยอด โดยขั้นแรกทำการตัดหญ้าและต้นไม้อเลื้อยออก ทำความสะอาดพื้นที่ที่จะปลูก แล้วใช้หลักไม้ปลายแหลมเจาะดินเป็นหลุมเล็กๆ ลึกประมาณ 3-4 เซนติเมตร ปากหลุมมีขนาดกว้างพอที่จะหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวลงไปได้ 5-10 เมล็ด หลุมนี้มีระยะห่างกันประมาณ 25 เซนติเมตร จะต้องหยอดเมล็ดพันธุ์ทันที หลังจากที่ได้เจาะหลุม หลังจากหยอดเมล็ดพันธุ์แล้ว จะใช้เท้ากลบดินปากหลุม เมื่อฝนตกลงมา เมล็ดได้รับความชื้น ก็จะงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นข้าว เนื่องจากที่ดอนไม่มีน้ำขัง และไม่มีการชลประทาน การปลูกข้าวไร่จึงต้องใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียว พื้นที่ปลูกข้าวไร่

จะแห้งและขาดน้ำทันที เมื่อสิ้นฤดูฝน ดังนั้น การปลูกข้าวไร่จะต้องใช้พันธุ์ที่มีอายุเบา โดยปลูกในต้นฤดูฝน และแก่เก็บเกี่ยวได้ ในปลายฤดูฝน การปลูกข้าวไร่ชาวนาจะต้องหมั่นกำจัด วัชพืช เพราะที่ดอนมักจะมีวัชพืชมากกว่าที่ลุ่ม เนื้อที่ที่ใช้ปลูกข้าวไร่ในประเทศไทย มีจำนวนน้อยและมีปลูกมากในภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางปลูกข้าวไร่น้อยมาก

2. การปลูกข้าวนาดำ เรียกว่า การปักดำ ซึ่งวิธีการปลูกจะแบ่งออกได้เป็นสองตอน ตอนที่หนึ่งได้แก่ การตกกล้าในแปลงขนาดเล็ก และตอนที่สอง ได้แก่ การถอนต้นกล้า เอาไปปักดำในนาพื้นที่ใหญ่

2.1 การเตรียมดิน ต้องทำการเตรียมดินให้ดีกว่า การปลูกข้าวไร่ โดยมีการไถเคาะ การไถแปร และการคราด ปกติการไถและคราดในนาดำมักจะใช้แรง วัว ควาย หรือแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ที่เรียกว่า ควายเหล็กหรือไถยนต์เดินตาม ทั้งนี้เป็นเพราะพื้นที่นาดำนั้น ได้มีคันนาแบ่งกันออกเป็นแปลงเล็กๆ ขนาด 1-2 ไร่ คันนามีไว้สำหรับกักเก็บน้ำ หรือปล่อยน้ำทิ้งจากแปลงนา นาดำจึงมีการบังคับระดับน้ำในนาได้บ้างพอสมควร ก่อนที่จะทำการไถ ต้องรอให้ดินมีความชื้นพอที่จะไถได้เสียก่อน ปกติจะต้องรอให้ฝนตก จนมีน้ำขังในผืนนา หรือไขน้ำเข้าไปในนา เพื่อให้ดินเปียก การไถเคาะ หมายถึง การไถครั้งแรกเพื่อทำลายวัชพืชในนา และ พลิกกลับหน้าดิน แล้วปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ จึงทำการไถแปร ซึ่งหมายถึง การไถเพื่อตัดกับรอยไถเคาะ ทำให้รอยไถเคาะแตกออกเป็นก้อนเล็กๆ จนวัชพืชหลุดออกจากดิน การไถแปรอาจไถมากกว่าหนึ่งครั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับน้ำในนา ตลอดถึงชนิดและปริมาณของวัชพืช เมื่อไถแปรแล้วก็ทำการคราดได้ทันที การคราด คือ การคราดเอาวัชพืชออกจากผืนนา และปรับพื้นที่นาให้ได้ระดับเป็นที่ราบเสมอกัน ด้วยนาที่มีระดับ เป็นที่ราบ ต้นข้าวจะได้รับน้ำเท่าๆ กัน และสะดวกแก่ การไขน้ำเข้าออก

2.2 การตกกล้า หมายถึง การเอาเมล็ดไปหว่านในหึ่งอกและเจริญเติบโตขึ้นมาเป็นต้นกล้า เพื่อเอาไปปักดำ การตกกล้าสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การตกกล้าในดินเปียก การตกกล้าในดินแห้ง และการตกกล้าแบบคาบป

การตกกล้าในดินเปียก จะต้องเลือกหาพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินดีเป็นพิเศษ สามารถป้องกันนกและหนู ที่จะเข้าทำลายต้นกล้าได้เป็นอย่างดี และมีน้ำพอเพียงกับความต้องการ การเตรียมดินก็มีการไถเคาะ ไถแปร และคราด ดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ต้องยกเป็น แปลงสูงจากระดับน้ำในผืนนานั้นประมาณ 3 เซนติเมตร ทั้งนี้ เพื่อไม่ให้เมล็ดที่หว่านลงไปจมน้ำและดินจนเปียกชุ่มอยู่เสมอ ถ้าจะให้ดียิ่งขึ้น ควรแบ่งแปลงนี้ออกเป็นแปลงย่อยขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร

และมีความยาวขนานไปกับทิศทางลม ระหว่างแปลง เว้นช่องว่างไว้สำหรับเดิน ประมาณ 30 เซนติเมตร ทั้งนี้ เพื่อลดแรงกระबाของโรคที่จะเข้าไปทำลายต้นข้าว เช่น โรคไหม้

การตกกล้าในดินแห้ง ในกรณีที่ขานาไม่มีน้ำเพียงพอสำหรับการตกกล้าในดินเปียก ขานาอาจทำการตกกล้าบนที่ดอน ซึ่งไม่มีน้ำขัง โดยเอาเมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์ ซึ่งยังไม่ได้เพาะให้ งอก ไปโรยไว้ในแถวที่เปิดเป็นร่องเล็กๆ ขนาดยาวประมาณ 1 เมตร จำนวนหลายแถว แล้วกลบดิน เพื่อป้องกันนกและหนู หลังจากนั้นก็รดน้ำด้วยบัวรดน้ำวันละ 2-3 ครั้ง เมล็ดจะงอกขึ้นมาเป็นต้น กล้า เหมือนกับการตกกล้าในดินเปียก ปกติใช้เมล็ดพันธุ์จำนวน 7-10 กรัม/แถว ที่มีความยาว 1 เมตรและแถวห่างกันประมาณ 10 เซนติเมตร หลังจากโรยเมล็ด และกลบดินแล้ว ควรหว่านปุ๋ยพวก ที่ให้ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในอัตราต่ำลงไปด้วย การตกกล้าในดินแห้งจะไม่ทำให้ต้นกล้า ที่มีอายุมากกว่า 40 วัน มีปล้องที่ลำต้น เหมาะสำหรับการตกกล้าที่ต้องรอน้ำฝนสำหรับปักดำ

การตกกล้าแบบคาปก การตกกล้าแบบนี้เป็นที่นิยมทำกันมากในประเทศฟิลิปปินส์ ขึ้น แรกทำการเตรียมพื้นที่ดิน และแปลงกล้า ซึ่งเหมือนกับการตกกล้า ในดินเปียก หรือจะเป็นที่ดอน เรียบก็ได้ แล้วใช้กาบของต้นกล้วย ต่อกันเป็นกรอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 1 เมตร และยาว ประมาณ 1.5 เมตร วางลงบนพื้นที่ที่ได้เตรียมไว้ ต่อจากนั้นเอาใบกล้วยที่ไม่มีก้านกลางวางเรียง เพื่อปูเป็นพื้นที่ในกรอบนั้น ให้เอาด้านล่างของใบหงายขึ้น และไม่ให้มีรอยแตกของใบ เพราะฉะนั้นใบกล้วยที่ปูพื้นนั้นจะต้องวางซ้อนกันเป็นทอดๆ แล้วเอาเมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์ ซึ่งได้ เพาะให้งอกแบบการตกกล้าในดินเปียก โรยลงไปในรอบที่เตรียมไว้นี้ โดยใช้เมล็ดพันธุ์หนัก 3 กิโลกรัม/เนื้อที่ 1 ตารางเมตร ดังนั้น เมล็ดพันธุ์ที่โรยลงไปในรอบ จะซ้อนกันเป็น 2-3 ชั้น หลังจากโรยเมล็ดแล้ว จะต้องใช้บัวรดน้ำชนิดรูเล็กมาก รดลงในกรอบที่โรยเมล็ดนี้วันละ 2-3 ครั้ง ในที่สุดเมล็ดก็จะเจริญเติบโตขึ้นมาเป็นต้นกล้า ต้นกล้าแบบนี้มีอายุประมาณ 10-14 วัน ก็พร้อมที่จะ ปักดำได้ การที่จะเอาต้นกล้าไปปักดำไม่จำเป็นต้องถอนต้นกล้า เหมือนกับวิธีอื่นๆ เพราะรากของ ต้นกล้าเกาะกันแน่น ระหว่างต้น และราก ก็ไม่ได้ทะลุใบกล้วยลงไปดิน ฉะนั้น ขานาจึงทำการ ม้วนใบกล้วยแบบม้วนเสื้อ โดยมีต้นกล้าอยู่ภายใน การม้วนก็ควรม้วนหลวมๆ ถ้าม้วนแน่น จะ ทำ ให้ต้นกล้าเสียหายได้ เมื่อถึงแปลงปักดำก็จะคลี่มันออก แล้วแบ่งต้นกล้าไปปักดำ การตกกล้า วิธีนี้ อาจเหมาะกับการทำกล้าชำในภาคเหนือ (การทำ กล้าชำ คือ การเอาต้นกล้าที่มีอายุ 10-14 วัน ไป ปักดำในนา โดยปักดำถี่และปักดำกอละหลายๆ ต้น หลังจากกล้าชำมีอายุได้ 20 วัน ก็พร้อมที่จะ ถอนไปปักดำ ตามปกติ)

2.3 การปักดำ เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 25-30 วัน จากการตกกล้าในดินเปียก หรือการตกกล้าในดินแห้ง ก็จะโตพอที่จะถอนเอาไปปักดำได้ สำหรับต้นกล้าที่ได้มาจากการตกกล้าแบบคาปนนั้น ในเมืองไทยยังไม่เคยปฏิบัติ ควรจะต้องเอาไปชิมแบบชาวนาในจังหวัดเชียงรายเสียก่อน จึงเอาไปปักดำได้ เพราะต้นกล้าขนาด 10-14 วันนั้น อาจมีขนาดเล็กเกินไปที่จะใช้ปักดำในพื้นที่นาของเรา ซึ่งมีน้ำขังมาก ขึ้นแรก ให้ถอนต้นกล้าขึ้นมาจากแปลงแล้วมัดรวมกันเป็นมัดๆ คัดปลายใบทิ้ง ถ้าต้นกล้าเล็กมากไม่ต้องคัดปลายใบทิ้ง สำหรับต้นกล้าที่ได้มาจากการตกกล้าในดินเปียก จะต้องล้างเอาดินที่รากออกเสียด้วยแล้วเอาไปปักดำ ในพื้นที่นาได้เตรียมไว้ พื้นที่นาที่ใช้ปักดำควรมีน้ำขังอยู่ประมาณ 5-10 เซนติเมตร เพราะต้นข้าวอาจจะถูกลมพัด จนพับลงได้ ในเมื่อนานั้น ไม่มีน้ำอยู่เลย ถ้าระดับน้ำในนานั้นลึกมาก ต้นข้าวที่ปักดำอาจจมน้ำในระยะแรก และทำให้ต้นข้าวต้องยืดต้นมากกว่าปกติ จนมีผลให้แตกกอน้อย การปักดำที่จะให้ได้ผลผลิตสูง จะต้องปักดำให้เป็นแถวเป็นแนว และมีระยะห่างระหว่างกอมากพอสมควร การปักดำโดยทั่วไป มักใช้ต้นกล้าจำนวน 3-5 ต้นต่อกอ ระยะปลูกหรือปักดำจะต้องมีระยะ ห่างระหว่างกอและระหว่างแถวประมาณ 25 เซนติเมตร

3. การปลูกข้าวนาหว่าน เป็นการปลูกข้าวโดยเอาเมล็ดพันธุ์หว่านลงไปในพื้นที่นาที่ได้ไถเตรียมดินไว้ การเตรียมดินก็มีการไถตะและไถแปร ปกติชาวนา จะเริ่มไถนา เพื่อปลูกข้าวนาหว่าน ตั้งแต่เดือนเมษายน เนื่องจากพื้นที่นาสำหรับปลูกข้าวนาหว่าน ไม่มีคันนาขึ้นแบ่งออกเป็นฝืนเล็กๆ จึงสะดวกแก่การไถด้วยรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ยังมีชาวนาอีกจำนวนมากที่ใช้แรงวัวและควายไถนา การปลูกข้าวนาหว่านมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การหว่านสำรวย การหว่านคราดกลบ หรือไถกลบ การหว่านหลังขี้ไถ และการหว่านน้าต้ม

การหว่านสำรวย การหว่านวิธีนี้ชาวนาจะต้อง เริ่มไถนาเตรียมดินตั้งแต่เดือนเมษายน ซึ่งมีการไถตะ และไถแปร แล้วเอาเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เพาะในหังอกหว่าน ลงไปโดยตรง ปกติใช้เมล็ดพันธุ์ ๕๕/ไร่ เมล็ด พันธุ์ที่หว่านลงไปบางส่วนจะตกลงไปอยู่ตามซอก ระหว่างก้อนดินและรอยไถ เมื่อฝนตกลงมา ทำให้ดิน เปียกและเมล็ดที่ได้รับความชื้น ก็จะงอกขึ้นมาเป็นต้นกล้า การหว่านวิธีนี้ใช้เฉพาะในที่ที่ฝนตกตาม ฤดูกาล

การหว่านคราดกลบหรือไถกลบ ในกรณีที่ดินมีความชื้นอยู่บ้างแล้ว และเป็นเวลาที่ฝนจะเริ่มตกตาม ฤดูกาล ชาวนาจะปลูกข้าวแบบหว่านคราดกลบหรือ ไถกลบ โดยชาวนาจะทำการไถตะและไถแปร แล้วเอา เมล็ดพันธุ์ที่ยังไม่ได้ เพาะในหังอกจำนวน 1-2 ๕๕/ไร่ หว่านลงไปทันที แล้วคราดหรือไถ เพื่อกลบเมล็ดที่หว่าน ลงไปอีกครึ่งหนึ่ง เนื่องจากดินมีความชื้นอยู่แล้วเมล็ด ก็จะ

เริ่มงอกทันทีหลังจากหว่านลงไปในดิน วิธีนี้ดูเหมือนว่าจะดีกว่าวิธีแรก เพราะเมล็ดจะงอกทันทีหลังจากที่ได้หว่านลงไป นอกจากนี้ การตั้งตัวของต้นกล้าก็ดีกว่า วิธีแรกด้วย เพราะเมล็ดที่หว่านลงไปถูกดินกลบฝังลึก ลงไปในดิน

การหว่านน้ำตม การหว่านแบบนี้นิยมใช้ในพื้นที่ ที่มีการชลประทานอย่างสมบูรณ์แบบ และพื้นที่นาเป็น ผืนใหญ่ มีคันนาถัน การเตรียมดินก็เหมือนกับการ เตรียมดินสำหรับนาดำ ซึ่งมีการไถตะไกรแปรและคราด เพื่อจะได้เก็บวัชพืชออกไปจากนาและปรับระดับพื้นที่ นา แล้วทิ้งให้ดินตกตะกอนจนเห็นว่ามีน้ำใส และน้ำในนา ไม่ควรลึกกว่า 2 เซนติเมตร จึงเอาเมล็ดพันธุ์จำนวน 1-2 ถัง/ไร่ ที่ได้เพราะให้งอกแล้วหว่านลงไป เมล็ดก็จะ เจริญเติบโตเป็นต้นข้าวและ โผล่ขึ้นมาเหนือน้ำ มีการ เจริญเติบโตอย่างช้าอื่นๆ ตามปกติ

การดูแลรักษา

ในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าวตั้งแต่การ หยอดเมล็ดเพื่อปลูกข้าวไร่ การหว่าน เมล็ดเพื่อให้ได้ ต้นกล้า การปักดำ เพื่อให้ได้รวงข้าว และการหว่าน เมล็ดในการปลูกข้าวนาหว่าน ต้นข้าวต้องการน้ำและ ปุ๋ย สำหรับการเจริญเติบโต ในระยะนี้ ต้นข้าวอาจถูกโรคและแมลงศัตรูข้าว หลายชนิดเข้ามาทำลายต้นข้าว โดยทำให้ต้นข้าวแห้งตาย หรือผลิตผลต่ำและคุณภาพ เมล็ดไม่ได้ มาตรฐาน เพราะฉะนั้น นอกจากจะมีวิธีการ ปลูกที่ดีแล้ว จะต้องมีการดูแลรักษาที่ดีอีกด้วย ผู้ ปลูกจะต้องหมั่นออกไปตรวจดูต้นข้าวที่ปลูกไว้เสมอๆ ในแปลงที่ปลูกข้าวไร่ จะต้องมีการกำจัด วัชพืช ใส่ปุ๋ย และพ่นยาเคมี เพื่อป้องกัน และกำจัด โรคแมลงศัตรูที่อาจ เกิดระบาดขึ้นได้ ในแปลง กล้าและแปลงปักดำจะต้อง มีการใส่ปุ๋ย มีน้ำเพียงพอกับความต้องการของต้นข้าว และพ่นยาเคมี ป้องกันกำจัดโรคแมลงศัตรูข้าว นอกจากนี้ ชาวนาจะต้องหมั่นกำจัดวัชพืชในแปลงปักดำอีกด้วย เพราะวัชพืชเป็นวัชที่แย่งปุ๋ยไปจากต้นข้าว ในพื้นที่นาหว่าน ชาวนาจะต้องกำจัดวัชพืชโดยใช้ สารเคมี หรือจะใช้แรงคนถอนทิ้งไปก็ได้ นอกจากนี้จะต้องพ่นสารเคมี เพื่อป้องกันกำจัดโรคและ แมลงอีกด้วย เนื่องจากพื้นที่ นาหว่านมักจะมียกระดับน้ำลึกกว่านาดำ ฉะนั้น ชาวนา ควรใส่ปุ๋ยก่อนที่ น้ำจะลึก ยกเว้นในพื้นที่ที่น้ำไม่ลึกมาก ก็ให้ใส่ปุ๋ยแบบนาดำทั่วๆ ไป

การเก็บเกี่ยว

เมื่อดอกข้าวบานและมีการผสมเกสรแล้วหนึ่ง สัปดาห์ ภายในที่ห่อหุ้มด้วยเปลือกนอก ใหญ่ ก็จะเริ่มเป็นแป้งเหลืองขาว ในสัปดาห์ที่สองแป้งเหลืองนั้น ก็จะแห้งกลายเป็นแป้งค่อนข้าง

แข็ง และในสัปดาห์ที่สาม แป้งก็จะแข็งตัวมากยิ่งขึ้น เป็นรูปร่างของเมล็ดข้าวกลิ้ง แต่มันจะแก่เก็บเกี่ยวได้ในสัปดาห์ที่สี่นับจากวัน ที่ผสมเกสรจึงเป็นที่เชื่อถือได้ว่า เมล็ดข้าวจะแก่พร้อมเก็บเกี่ยวได้ หลังจากออกดอกแล้วประมาณ 30-35 วัน ชวานาในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางใช้เกี่ยว สำหรับเกี่ยวข้าว ที่ละหลายๆ รวง ส่วนชวานาในภาคใต้ใช้แกระสำหรับเกี่ยวข้าวที่ละรวง เกี่ยวที่ใช้เกี่ยวข้าวมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ เกี่ยวนาสวนและ เกี่ยวนาเมือง เกี่ยวนาสวนเป็นเกี่ยววงกว้าง ใช้สำหรับ เกี่ยวชวานาสวน ซึ่งปลูกแบบปักดำ แต่ถ้าผู้ใช้ มีความชำนาญก็อาจเอาไปใช้เกี่ยวชวานาเมืองก็ได้ ส่วนเกี่ยวนาเมืองเป็นเกี่ยววงแคบและมีด้ามยาวกว่า เกี่ยวนาสวน เกี่ยวนาเมืองใช้เกี่ยวชวานาเมือง ซึ่งปลูกแบบหว่าน ข้าวที่เกี่ยวด้วยเกี่ยวไม่จำเป็นต้อง มีคอรวงยาว เพราะข้าวที่เกี่ยวมาจะถูกรวมมัดด้วย ตอซังหรือตอกไม้ไผ่ เป็นกำๆ ส่วนข้าวที่เกี่ยวด้วยแกระ จำเป็นต้องมีคอรวงยาว เพราะชวานาต้องเกี่ยวเฉพาะรวงที่ละรวง แล้วมัดเป็นกำๆ ซึ่งเรียกว่า เรียง ข้าวที่เกี่ยวด้วยแกระ ชวานาจะเก็บไว้ในยุ้งฉางซึ่งโปร่ง มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก และจะทำการนวดเมื่อต้องการขายหรือต้องการสีเป็นข้าวสาร ข้าวที่เกี่ยวด้วย เกี่ยวชวานาจะทิ้งไว้บนตอซังในนา เพื่อตากแดดให้แห้ง เป็นเวลานาน 3-5 วัน หรือจะตากบนราวไม้ไผ่ก็ได้ แล้วจึงขนมาที่ลานสำหรับนวด ข้าวที่นวดแล้ว จะถูกขนย้ายไปเก็บไว้ในยุ้งฉาง หรือส่งไปขายที่โรงสีทันที

การเก็บรักษาข้าว

หลังจากชวานาได้ตากเมล็ดข้าวจนแห้งและมีความ ชื้นในเมล็ดประมาณ 13-15% แล้วนั้น ชวานาจะเก็บ ข้าวไว้ในยุ้งฉาง เพื่อไว้บริโภค และแบ่งขายเมื่อข้าวมี ราคาสูง และอีกส่วนหนึ่ง ชวานาจะแบ่งไว้ทำพันธุ์ ฉะนั้น ข้าวพวกนี้จะต้องเก็บไว้เป็นอย่างดี โดยรักษาให้ ข้าวนั้นมีคุณภาพ ได้มาตรฐานอยู่ตลอดเวลา และไม่สูญเสียความงอก ข้าวพวกนี้ควรเก็บไว้ในยุ้งฉาง ยุ้งฉางที่ดี จะต้องเป็นยุ้งฉางที่ทำด้วยไม้ยกพื้นสูงจากพื้นดิน อย่างน้อย 1 เมตร อากาศถ่ายเทได้สะดวก เพื่อจะได้ ระบายความชื้นและความร้อนออกไปจากยุ้งฉาง นอก จากนี้ หลังคาของฉางจะต้องไม่รั่ว กัน น้ำฝนไม่ให้หยด ลงไปในฉางได้เป็นอันตราย ก่อนเอาข้าวขึ้นไปเก็บไว้ในยุ้งฉาง จำเป็นต้องทำความสะอาดฉางเสียก่อนโดย ปิดกวาดแล้วพ่นด้วยยาฆ่าแมลง (สารานุกรมไทยฉบับเยาวชนฯ, 2542)

การใช้ปุ๋ยในนาข้าว

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ปุ๋ย คือ อาหารของพืช เช่น ข้าว พื้นที่นาที่ใช้ปลูกข้าวติดต่อกันมาเป็นเวลานาน จนแร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นอาหารของดินข้าวถูกดึงดูเอาไปสร้างเป็นต้น และเมล็ดข้าว

หมดลง ทำให้แร่ธาตุเหล่านี้ขาดแคลนไปจากพื้นนา ข้าวที่ปลูกในระยะหลังจึงให้ผลผลิตต่ำ ดังนั้น ชาวนาจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยใส่ลงไปบนนาข้าวในปัจจุบัน เพื่อจะได้ผลิตผลสูงและมีรายได้มากยิ่งขึ้นจน พอกับความต้องการของครอบครัว จากสถิติพบว่า ในปี พ.ศ. 2504 ประเทศไทย มีพื้นที่ทำนาปี ประมาณ 38 ล้านไร่ ได้ผลิตผลประมาณ 8 ล้านตัน เฉลี่ยแล้วชาวนาได้ผลิตผล 231 กิโลกรัม หรือ ประมาณ 23 ถัง/ไร่ ต่อมาในปี พ.ศ. 2527 พื้นที่ทำนาของประเทศได้เพิ่มขึ้นเป็น 58 ล้านไร่ ได้ ผลิตผลทั้งหมด 19 ล้านตัน เฉลี่ยแล้วชาวนาได้ผลิต ผล 326 กิโลกรัม หรือ 32-33 ถัง/ไร่ จะเห็นได้ ว่า ผลิตผลที่ได้เพิ่มขึ้นจาก 8 ล้านตัน เป็น 19 ล้าน ตันนั้น เพราะได้มีพื้นที่นาเพิ่มมากขึ้น และ ผลิตผลเฉลี่ยต่อเนื้อที่หนึ่งไร่นั้น ได้เพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อเทียบกับผลิตผลเฉลี่ยของประเทศญี่ปุ่นแล้ว ผลิตผลของข้าวในประเทศไทยต่ำมากเหลือเกิน ทั้งนี้เป็นเพราะสาเหตุหลายประการ ดังนี้

1. ดินนาขาดแคลนธาตุอาหารที่ต้นข้าวต้องการดินนาส่วนใหญ่ของประเทศไทยขาดแร่ ธาตุอาหารพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่ต้นข้าวต้องการเป็น จำนวนมากสำหรับการเจริญเติบโต และจากรายงานผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินนา ของกรม วิชาการเกษตร พบว่า ดินนาส่วนใหญ่ของทุกภาค มีปฏิกิริยาของดินเป็นกรด คือ มี pH ประมาณ 4.6-5.5 ดินนาในภาคเหนือ เป็นดินเหนียว หรือดินทราย ปนดินเหนียว แม้จะมีความสมบูรณ์ของดิน ดีกว่าภาคอื่นๆ แต่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ และแร่ธาตุอาหารค่อนข้างต่ำ คือ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ มีธาตุฟอสฟอรัสประมาณ 10 ppm. และมีธาตุโพแทสเซียมประมาณ 80 ppm. ส่วนดินนาในภาคกลางเป็นดินเหนียว มีความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นรองจากภาคเหนือ และ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ และแร่ธาตุอาหารต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ดีกว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ ภาคใต้

2. โดยธรรมชาติดินนามีแร่ธาตุอาหารพืชต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับดินสำหรับปลูกพืชชนิด อื่นทั่วไป ดินนามีปริมาณแร่ธาตุอาหารต่ำที่สุด และเมื่อได้มีการปลูกข้าวติดต่อกันเป็นเวลาหลาย ไร่ปี ก็ยิ่งทำให้ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในดินนา เกิดขาดแคลนมากยิ่งขึ้น เพราะต้นข้าวดูดเอาไป สร้างต้น ใบ และเมล็ด ทุกๆ ปี จากการวิเคราะห์ดินข้าวพันธุ์นางมด S-4 ซึ่งปลูกในพื้นที่นา 1 ไร่ ได้ ผลิตผลข้าวเปลือก 576 กิโลกรัม ซึ่งประกอบด้วย ธาตุไนโตรเจน 6.84 กิโลกรัม ธาตุฟอสฟอรัส 3.5 กิโลกรัม และธาตุโพแทสเซียม 2.15 กิโลกรัม เมื่อเทียบจำนวนแร่ธาตุดังกล่าวนี้ กลับไปเป็น ปริมาณของปุ๋ย จะได้เป็นปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (ให้ธาตุไนโตรเจน) จำนวน 34 กิโลกรัม ปุ๋ยซู เพอร์ฟอสเฟต (ให้ธาตุฟอสฟอรัส) จำนวน 17 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทส (ให้ธาตุโพแทสเซียม) จำนวน 3.5 กิโลกรัม ส่วนแร่ธาตุที่เอาไปสร้างเป็นต้นและฟางข้าวนั้น ยังไม่ได้คำนวณ อย่างไรก็ตาม

ตาม นี่ก็เป็นสิ่งที่ยืนยันให้ทราบว่า ต้นข้าวได้ดูดเอาแร่ธาตุจากดินนาขึ้นไปสร้างเมล็ดข้าวจริง และจะทำให้ดินนั้นเสื่อม ปลูกข้าวได้ผลผลิตต่ำ ถ้าดินนา นั้นไม่ได้รับปุ๋ยเพิ่มเติม (สารานุกรมไทยฉบับเยาวชนฯ, 2542)

เปียกสลับแห้งแล้งข้าว

ศุภชัย, 2555 กล่าว “ถ้าคนมีสุขภาพที่แข็งแรง ด้วยอาหาร อากาศ ออกกำลังกาย อารมณ์ ก็ไม่จำเป็นต้องไปหาหมอ ไม่ต้องกินยา กินวิตามิน อาหารเสริมสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย” “ต้นข้าวก็เช่นกัน ต้นข้าวสามารถแข็งแรงได้ด้วยศักยภาพตามธรรมชาติ ด้วยการบำรุงดินดี ระบายปลูกเหมาะสม อากาศถ่ายเท แสงแดดทั่วถึง โคน ระบบน้ำ (เปียกสลับแห้ง แล้งข้าว) ต้นข้าวก็จะกระชับผนังเซลล์แข็งแรง กระตุ้นการออกราก เพิ่มพื้นที่การหาอาหาร แรกกอ ดูแลตัวเอง ได้ตามศักยภาพ และสร้างผลผลิตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เป็นการลดต้นทุนที่ดีที่สุด”

การผลิตข้าวระบบ “เปียกสลับแห้ง แล้งข้าว” หมายถึง การทำนาที่ใช้วิธีแล้งข้าวให้อุดน้ำ 2 ครั้งในระยะแตกกอ ครั้งแรกตอนอายุข้าวประมาณ 45-50 วัน วัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นให้ข้าวแตกกอแตกกอใหม่ให้มากที่สุด เนื่องจากข้าวจะรู้สึกอดอยาก จึงพยายามสร้างรากใหม่เพิ่มพื้นที่ในการหาอาหารให้มากขึ้น กิดการแตกกอมากขึ้น ครั้งที่ 2 ข้าวอายุประมาณ 50-60 วัน กระตุ้นให้หน่อต้นข้าวที่เกิดใหม่ กระชับผนังเซลล์แข็งแรง ด้านทานโรคแมลง และสร้างผลผลิตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เป็นการลดต้นทุนที่ดีที่สุด

แนวคิดเปียกสลับแห้งแล้งข้าวเกิดขึ้นจากปัญหาดังนี้

- ความยากลำบากในการทำนา
- การหมัก การแช่น้ำขังในแปลงนาต่อเนื่อง ไม่ปล่อยแห้ง
- เป็นที่มาของการใช้สารเคมี ทำลายระบบนิเวศน์ ทำลายคุณภาพชีวิตในระบบการผลิตข้าว ทำความเข้าใจกับ “ข้าว + ดิน + น้ำ”
- ข้าว ไม่ใช่พืชน้ำ แต่เป็นพืชทนน้ำท่วมขัง

- การแช่น้ำไว้ในแปลงนา วัตถุประสงค์หลัก “เพื่อคุมวัชพืช” การแช่น้ำในแปลงนาตลอดเวลา ทำให้ต้นข้าวอ่อนแอ จี๋โรค ไม่แตกกอ มีปัญหาหาล่ม เครื่องจักรเสียหาย จากการทำนาต่อเนื่อง ไม่มีการพักนา มีการหมักในแปลงนาต่อเนื่อง จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้ ออกซิเจนสำหรับการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยรากข้าวดูดเข้าไปทำให้ต้นข้าวอ่อนแอ ล่อโรคและแมลงมาทำลาย ให้เกิดความเสียหาย

- มีต้นทุนในการสูบน้ำเข้านาสูง และมีปัญหาการแย่งชิงน้ำ เกิดการทะเลาะในชุมชน ชุมชนขาดความสามัคคี ไม่สามารถรวมกลุ่มทำงาน เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันได้ ทำให้ชาวนาทานาเป็นไปในลักษณะ ตัวใคร ตัวมัน ไม่มีใครฟังใคร ลูกหลาน ไม่สนใจอยากกลับมาทานา เพราะเห็นตัวอย่างความขัดแย้งในชุมชน

- ต้นทุนการผลิตปุ๋ยเคมี และสารเคมีในระบบการผลิตข้าว เพิ่มสูงขึ้นโดยไม่จำเป็น ทำให้เสี่ยงต่อสภาวะการขาดทุนจากการประกอบอาชีพทำนา และมีการพึ่งพาภาครัฐสูง (ประกัน, จำนำ, พักหนี้)

- ความชื้นในแปลงนามาก เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของโรคแมลง ของต้นข้าว มีผลต่อการระบาดของโรค แมลง ต้องใช้สารเคมีกำจัด

- การใช้สารเคมี ในระบบการผลิตข้าว ทำให้สมดุล ระบบนิเวศน์ในแปลงนาเสื่อมโทรม สุขภาพชาวนาย่ำแย่ ผลกระทบเป็นลูกโซ่ ถึงผู้บริโภคข้าว และภาระรายจ่ายของรัฐที่ไม่จำเป็น ชาวนาไม่สามารถกำหนดคุณภาพผลผลิต และกำหนดราคา กำหนดอนาคต ของตัวเองได้



ภาพที่ 2 แสดงการจัดการ “ข้าว + น้ำ + หญ้า” ครบวงจร

ที่มา : ศุภชัย (2555)

หลักการของ “เปียกสลับแห้งเกลึงข้าว”

"เปือก" คือ มีน้ำท่วมขัง สูง 5-10 เซนติเมตร หรือราดผ่าน

"สลับ" คือ เปลี่ยนบรรยากาศ

"แห้ง" คือ คุระด้บจากน้ำในท่อ ค่อยๆลดลงไปถึง 15 เซนติเมตร ประกอบการใบข้าวเหี่ยวชั่วคราว (เข้าไปตั้ง บ่ายไปโค้ง)

"แก่งข้าว" คือ การกระตุ้นโดยใช้ระดับน้ำแข็ง เพื่อดึงศักยภาพต้นข้าวตามธรรมชาติ มาใช้การออกรากหาอาหาร การแตกกอ สร้างความแข็งแรงต้านทานโรค-แมลง สร้างผลผลิตอย่างเต็มประสิทธิภาพ



ภาพที่ 3 ท่อแก่งข้าว ใช้ดูระดับน้ำในแปลงนา

ที่มา : สุภชัย (2555)

ทำได้ตั้งแต่ สัปดาห์ที่ 2-3 หลังปักดำ (ข้าวอายุ 39-60 วัน ปล่อยแก่ง 2 ครั้ง เว้นช่วงข้าวตั้งท้อง – ปล่อยให้แห้งก่อนการเก็บเกี่ยว 15 วัน

1. ความชื้นที่โคนกอข้าวต่ำ อุณหภูมิหน้าผิวดิน จะสูง โรครา ต่างๆ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และแมลงต่างๆ ไม่ชอบ (ธรรมชาติไม่เอื้ออาศัย)

2. ต้นข้าวจะไม่อวบน้ำ พืชเซลล์จะแข็งแรง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล แมลงศัตรูข้าวไม่ชอบ (ไม่ต้องทาน้ำหมักฉีดพ่น)

3. หน้าดินแตกกระแหว รากข้าวได้ออกซิเจนมากขึ้น ทำให้ต้นข้าวแข็งแรง ด้านทานโรค และแมลง / มีไส้เดือน มาช่วยย่อยอินทรีย์วัตถุในนา

4. ระบบราก ทำงานอย่างเต็มที่ มีการเกิดรากใหม่ หาอาหารได้มาก ข้าวมีการแตกกอดี ตั้งเกดสีรากข้าว จะขาว และยาว จำนวนมาก

5. หน้าดินได้มีเวลา เซพตัว ลดปริมาณการใช้น้ำในแปลงนาข้าวลง ช่วยลดปัญหานาห่มคลุมและทำงานในแปลงนาได้ง่าย

6. หลังจากหน้าดินแตก ก็ค่อยใส่ปุ๋ยลงไป ในนา ปุ๋ยจะลงไปรอย crack (เหมือนกับการฝังปุ๋ยไว้ในดิน ทำให้รากข้าวดูดซึมสารอาหารได้เต็มที่ การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากขึ้น) ดีกว่าการหว่านแบบเดิม ที่เม็ดปุ๋ยอยู่บนพื้นดิน รากไม่เจอปุ๋ย และทำให้รากข้าวลอย มีการคายประจุ ออกไปในอากาศ ข้าวไม่ได้สารอาหารเต็มที่ / การใช้เหินแดง เพื่อคลุมหน้าดิน เป็นปุ๋ยพืชสด ตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และเป็นอาหารเปิด

7. เติมน้ำลงในแปลงนา ปุ๋ยที่อยู่ในดินละลายน้ำ ต้นข้าว กินอย่างหิวกระหาย – ต้นข้าวแข็งแรง การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพ

8. หากมีหญ้าขึ้นระหว่างแถว ก็พรวนดิน เพื่้อออกซิเจนให้รากข้าว กำจัดหญ้า พร้อมฝังปุ๋ยไว้ในนา ไปในตัว ด้วย Rotary weeder (พรวนเก็บหญ้าในแปลงนา ก่อนปล่อยให้น้ำแห้ง หรือถ้ามีหญ้าขึ้น ตามหลัง ก็เก็บด้วย Aigamon เครื่องตัดหญ้าในร่องนาดำ

9. เลี้ยงเป็ดในร่องนาดำ (บ้านที่มีคนอยู่ปลวก แมลงไม่ขึ้นบ้าน แปลงนามี เป็ดอยู่ ก็จะมีเสียง และคลื่นความร้อน รบกวนการอยู่ของแมลง)

10. ต้นข้าวจะ โตทางข้าง (แตกกอ) และล่าง (รากลงล่าง ช่วยหาหินเลียงลำต้น) ทำให้ไม่ต้องยัดตัว "หนึ่น้ำ" ต้นข้าว ไม่ล้ม เวลาเก็บเกี่ยว ชาวนาก็ได้ข้าวเพิ่มขึ้น ขายข้าวได้ราคาเพราะความชื้นต่ำ ที่สำคัญ รวงข้าว จะยาวสุดเหยียด ไม่มีอั้น เพราะกลัวตาย ต้องออกลูกหลานมาสืบพันธุ์ สุขชัย (2555)

ดิน

ดินเกิดมาจากการสลายตัวผุพังของหินและแร่ (อนินทรีย์สาร inorganic material) รวมกับซากพืชและสัตว์ที่ตายเน่าเปื่อย (อินทรีย์สาร : organic material) คลุกเคล้าเข้าด้วยกันโดยมีกระบวนการ ทางธรรมชาติคอยควบคุมการเกิดดินให้ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องติดต่อกันโดยตลอด ดังแผนผังการเกิดดิน (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 แผนผังแสดงการเกิดดินจากวัตถุต้นกำเนิด

ที่มา : หลักการกลไกกรรม (2543)

การสลายตัวผุพังของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นอนินทรีย์สารเกิดจากกระบวนการทางด้านกายภาพ (physical process) เช่น การเกิดแรงดึงและแรงดันของพื้นผิวโลก ทำให้หินแร่แตกหัก หรือการกัดเซาะของน้ำและลม ทำให้หินแร่ผุพังจนแตกหักได้ เป็นต้น กระบวนการทางเคมี (chemical process) เช่น การทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับแร่ธาตุต่างๆ อย่างเช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) หรือการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างอากาศกับแร่ธาตุต่างๆ อย่างเช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxydation) ปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน (carbonation) เป็นต้น และกระบวนการทางชีวภาพ (biological process) โดยจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเล็กๆ ช่วยย่อยสลายวัตถุต้นกำเนิดดินให้มีขนาดเล็กลงจนเป็นอนุภาคเล็กๆ การสร้างตัวของดิน เริ่มจากการทับถมของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นเศษหินและแร่ธาตุต่างๆ ได้เป็นชั้นดินที่เรียกว่าชั้นกำเนิดดิน หรือชั้นดิน C แล้วมีการผสมคลุกเคล้ากับสารอินทรีย์ที่ถูกทำให้สลายตัว ทำให้ลักษณะของดินชั้นนั้นค่อยเปลี่ยนแปลงไปโดยมีการผสมของอินทรีย์สารเพิ่มมากขึ้นจนกลายเป็นดินชั้นใหม่เรียกว่าดินชั้นบน หรือชั้นดิน A ซึ่งจะมีกิจกรรมของจุลินทรีย์และสิ่งที่มีชีวิตในดินมากขึ้น หลังจากนั้นกระบวนการสร้างดินยังคงดำเนินการต่อไปอยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดลักษณะของดินใหม่ๆ จนกลายเป็นดินชั้นใหม่ เรียงกันไปตามลำดับความลึกเป็นชั้นๆ เรียกว่าโปรไฟล์ของดิน (soil profile)

องค์ประกอบของดิน

จากข้อความอธิบายกำเนิดของดิน ซึ่งให้เห็นว่าดินประกอบด้วยวัตถุต้นกำเนิดดิน 2 ส่วนคือ หินและแร่ (อนินทรีย์สาร) และซากสิ่งมีชีวิต (อินทรีย์สาร) ต่อมาเมื่อมีกระบวนการสร้างดิน มีการ

รวมตัวจับเกาะคลุกเคล้าวัตถุดิบกำเนิดเข้าด้วยกัน ก่อให้เกิดช่องว่างเล็กๆ ระหว่างเม็ดดินเป็นที่แทรกตัวอยู่ของน้ำ อากาศ และสิ่งที่มีชีวิตเล็กๆ ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช หากจะสรุปโดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบที่สำคัญของดิน (soil component) มีอยู่ 4 อย่าง คือ

1. แร่ธาตุหรืออนินทรีย์สาร ได้แก่ส่วนที่ได้มาจากการสลายตัวผุพังของหินและแร่ แร่ที่เป็นวัตถุดิบกำเนิดของดินมีอยู่ 2 กลุ่มใหญ่ คือ แร่ปฐมภูมิ (primary mineral) เป็นแร่ที่เกิดขึ้นดั้งเดิมตั้งแต่การสร้างตัวของเปลือกโลกในระยะแรก เช่น พวกแร่เฟลสปาร์ (feldspar : AlSi_3O_8) แต่ควอตซ์ (quartz : SiO_2) แร่ไมก้า (mica : $\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) เป็นต้น และแร่ทุติยภูมิ (secondary minerals) เป็นแร่ที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุต่างๆ ที่สลายตัวมาจากแร่ปฐมภูมิ หรือแร่ทุติยภูมิด้วยกัน เช่น พวกแร่แคลไซต์ (calcite : CaCO_3) แต่โดโลไมต์ (dolomite : $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) แร่ไพไรต์ (pyrite : FeS_2) แร่ยิปซัม (gypsum : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เป็นต้น ส่วนหินที่เป็นวัตถุดิบกำเนิดของดิน ก็แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ หินอัคนี (igneous rock) มีอยู่หลายชนิดเช่น หินแกรนิต (granite) หินไดโอไรต์ (diorite) เป็นต้น หินชั้น (sedimentary rock) มีอยู่หลายชนิดเช่น หินดินดาน (shale) หินทราย (sandstone) หินปูน (limestone) เป็นต้น และหินแปร (metamorphic rock) มีอยู่หลายชนิดเช่น หินไนส์ (gneiss) หินชีสต์ (schist) หินอ่อน (marble) เป็นต้น องค์ประกอบของดินส่วนที่เป็นอนินทรีย์สารมีมากที่สุดถึงประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ จึงมีผล ทำให้คุณสมบัติของดินแตกต่างกันได้มากและจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ขึ้นอยู่ในดินนั้นๆ ซึ่งสามารถสรุปบทบาทความสำคัญของอนินทรีย์สารในดินต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดังนี้

- เป็นแหล่งที่ให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่นดินที่มีแร่เฟลสปาร์ซึ่งสลายตัวได้ง่าย เป็นองค์ประกอบอยู่มากจะมีความอุดมสมบูรณ์สูง
- เป็นส่วนควบคุมลักษณะเนื้อดิน (soil texture) เช่น ดินที่มีแร่ควอตซ์เป็นองค์ประกอบอยู่มากจะทำให้เกิดดินเนื้อหยาบ แต่ถ้าหากมีแร่แคลไซต์เป็นองค์ประกอบอยู่มากจะทำให้ได้ดินเนื้อละเอียด เป็นต้น
- เป็นส่วนควบคุมคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ตัวอย่างเช่นควบคุมสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง (soil pH) ควบคุมความสามารถการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange capacity) หรือควบคุมความสามารถในการดูดซับน้ำของดิน (water holding capacity)

2. อินทรีย์สาร ได้มาจากซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ที่ตายและถูกทำให้เน่าเปื่อยสลายตัวทับถมลงไปในดินจนกลายเป็นเนื้อดินไปในที่สุด อินทรีย์สารที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะประกอบด้วยธาตุต่างๆ คือ คาร์บอน (carbon) ไฮโดรเจน (hydrogen) ออกซิเจน (oxygen) ไนโตรเจน (nitrogen) ฟอสฟอรัส (phosphorus) และกำมะถัน (sulfur) ซากสิ่งมีชีวิตที่สลายตัวสุดท้ายจะมีความละเอียดอยู่ในรูปของสารประกอบที่สลับซับซ้อนมีลักษณะร่วนโปร่ง สีคล้ำ เรียกว่าฮิวมัส (humus) โดยทั่วไปพบว่าปริมาณของอินทรีย์สารในดินมีน้อยเพียง 3-5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของดินชั้นบน (top soil) ในระดับชั้นดินที่ลึกลงไปปริมาณของอินทรีย์สารจะค่อยๆ ลดลง แม้ว่าอินทรีย์สารในดินจะมีน้อยแต่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ช่วยทำให้โครงสร้างของดินร่วนโปร่ง มีน้ำและอากาศในเนื้อดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของรากพืช
- เป็นแหล่งที่ให้ธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ตลอดจนสิ่งที่มีชีวิตเล็กๆ ในดินซึ่งเกื้อกูลการเจริญเติบโตของพืช
- เป็นแหล่งให้พลังงานแก่จุลินทรีย์ในดินที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยที่ฮิวมัสมีลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกับส่วนอนุภาคของดินเหนียว (clay fraction) จึงเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของธาตุอาหารและเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำของดิน

3. น้ำ ในดินจะอยู่ตามส่วนที่เป็นช่องว่างในเนื้อดิน และตามผิวของอนุภาคดินโดยมีแรงยึดของเม็ดดินและระหว่างน้ำด้วยกันดูดยึดเอาไว้ ดังนั้นดินที่มีอนุภาคละเอียดยึดเหนี่ยวน้ำไว้ได้ดีและมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินมากจึงมีโอกาสดึงน้ำในดินได้มากกว่าดินที่มีอนุภาคหยาบจะดูดน้ำได้น้อย เพราะมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินน้อย การแบ่งแยกน้ำในดินโดยถือเอาปฏิกิริยาร่วมของน้ำกับอนุภาคดิน ได้เป็น 4 ประเภทคือ

- 1) น้ำที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของดิน (chemically combined water) เป็นน้ำที่เป็นองค์ประกอบของแร่ต่างๆ ในดิน และอยู่ในรูปต่างๆ กัน เช่น น้ำเลี้ยงผลึกของแรลิโมนาท์

($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) หรือน้ำในแร่ทัลค์ ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) เป็นต้น น้ำประเภทนี้รากพืชไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากมีน้อยและแรงยึดเกาะติดกับแร่แข็งแรงมาก

2) น้ำเชื้อผิวนุภาคดิน (hygroscopic water) เป็นน้ำที่อนุภาคดินดูดยึดไว้ที่ผิวภายนอกในลักษณะที่เป็นเยื่อบาง ๆ ด้วยแรงที่สูงมาก (ไม่ต่ำกว่า 31 บรรยากาศ) รากพืชดูดไปใช้ประโยชน์ไม่ได้เช่นกัน

3) น้ำซึบ (capillary water) เป็นน้ำที่อนุภาคดินดูดยึดไว้ที่ผิวภายนอกอยู่ถัดจากน้ำเชื้อผิวนุภาคดินออกไป มีลักษณะเป็นแผ่นที่หนาขึ้น หรือเป็นน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดเล็กในดินและแรงดึงดูดของโลกไม่สามารถทำให้น้ำส่วนนี้เคลื่อนที่ลงไปได้ โดยทั่วไปดินจะดูดยึดน้ำส่วนนี้ไว้ด้วยแรงประมาณ 0.3-31 บรรยากาศ รากพืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้

4) น้ำซึม (gravitational water) เป็นน้ำในดินตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ไม่อยู่ภายใต้แรงดึงดูดของอนุภาคดิน สามารถถูกแรงดึงดูดของโลกทำให้เคลื่อนที่ลงไปได้ รากพืชจึงดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วน และยังทำให้เกิดการชะพาธาอาหารพืชลงไปยังดินชั้นล่างโดยทั่วไป องค์ประกอบของดินส่วนที่เป็นน้ำมีอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ แต่ส่วนของน้ำที่จะเป็นประโยชน์กับพืชมีอยู่เพียงส่วนน้อยจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจถึงการให้น้ำและการใช้ประโยชน์จากน้ำในดินต่อการเจริญเติบโตของพืช น้ำในดินมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชดังต่อไปนี้

- น้ำเป็นองค์ประกอบของเซลล์รากพืชให้เต่งตึงสามารถดำเนินกิจกรรมที่มีชีวิตได้ตามปกติ

- น้ำทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายธาตอาหารพืชให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์และรากพืชดูดไปใช้ได้

- น้ำทำหน้าที่เป็นตัวการเคลื่อนย้ายธาตอาหารพืชในดิน จากบริเวณหนึ่งไปอีกบริเวณหนึ่ง และเคลื่อนย้ายต่อไปในรากและเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของพืช

- น้ำทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของดินไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากและเร็วเกินไปจนเกิดการกระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของพืช

4. อากาศ อากาศในดินจะอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินในส่วนที่ไม่มีน้ำ ดังนั้นปริมาณของอากาศในดินจึงแปรผันกลับกับปริมาณน้ำในดิน อากาศในดินมีแก๊สต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่นเดียวกับในบรรยากาศเหนือผิวดิน แต่ที่ระดับลึกลงไปดินอากาศจะเบาบางลงและจะมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าในบรรยากาศ ตัวอย่างเช่นในดินที่ระดับความลึกไม่เกิน 1 เมตร มีแก๊สออกซิเจนประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 1-15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ในขณะที่อากาศเหนือผิวดินประกอบด้วยแก๊สออกซิเจนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.03 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร การหายใจของรากพืชโดยดูดเอาแก๊สออกซิเจนเข้าไปและปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในดินเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในดินมีมาก โดยทั่วไปปริมาณอากาศในดินมีอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรของดิน พืชต้องการอากาศในการเจริญเติบโต อากาศในดินมีประโยชน์ต่อการหายใจของรากและกิจกรรมของสิ่งที่มีชีวิตอื่นๆ ในดินที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืช ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณอากาศในดินมีหลายอย่างเช่น

- สมบัติของดิน เช่น เนื้อดิน โครงสร้างของดิน ปริมาณน้ำในดิน และอินทรีย์สารในดิน สมบัติของดินเหล่านี้จะไปมีผลต่อความจุอากาศและการถ่ายเทอากาศของดิน

- พืช รากของพืชในดินจะกำหนดปริมาณและสัดส่วนแก๊สในดินได้มาก โดยเฉพาะแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมการหายใจของเซลล์รากพืช

- จุลินทรีย์ในดิน ต้องการออกซิเจนในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ และปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาและหากในดินมีอินทรีย์สารอยู่มากจะเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินให้มากขึ้นด้วย และจะมีผลต่อปริมาณและสัดส่วนของแก๊สในดิน

- ลมฟ้าอากาศ ที่อยู่เหนือระดับผิวดินจะเกี่ยวเนื่องกับอากาศในดินตลอดเวลา เช่น อุณหภูมิ แสงแดด และฝน ในสภาพที่ดินขาดอากาศหรือมีแก๊สออกซิเจนน้อยจะส่งผลกระทบต่อพืชทันที นั่นคือจะทำให้การดูดน้ำและอาหารของรากพืชลดลงหรือหยุดชะงัก ทำให้ต้นพืชขาดอาหารและน้ำจนแสดงอาการเหี่ยวเฉาให้ปรากฏ นอกจากนั้นในดินที่มีแก๊สออกซิเจนน้อยจะ

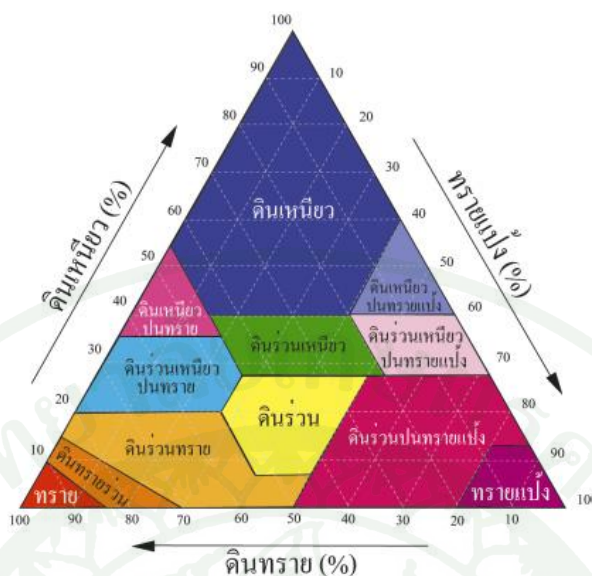
ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ เช่น ไนโตรเจน เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแก๊สแอมโมเนีย หรือกำมะถันจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแก๊สไข่เน่า (H₂S) นอกจากนั้นในสภาพดินที่ขาดออกซิเจนจะส่งเสริมให้จุลินทรีย์ในดินดำเนินกิจกรรมที่ไม่ต้องการใช้แก๊สออกซิเจน และจะได้สารพิษต่อพืชออกมา

องค์ประกอบของดินที่มีอนินทรีย์สาร 45 เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์สาร 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 25 เปอร์เซ็นต์ และอากาศ 25 เปอร์เซ็นต์ จะเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ความเป็นจริงในสภาพธรรมชาติดินแต่ละจุดจะมีความแตกต่างกัน จากวัตถุดิบกำเนิดดินและองค์ประกอบที่เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อมา และแม้แต่ดินจุดเดียวกันก็จะมีการเปลี่ยนแปลงอันเกิดจากกิจกรรมต่างๆ และกระบวนการต่างๆ ภายในดินเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา (หลักการกลไกกรรม, 2543)

คุณสมบัติทางกายภาพของดินที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

สมบัติทางกายภาพของดินจะเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชตลอดเวลา ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงไม่จำเป็นเสมอไปที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตได้สูง ถ้าหากว่าดินนั้นมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี เช่นเป็นดินเนื้อละเอียดมาก ความพรุนของดินมีน้อยทำให้ดินมีน้ำมากแต่ขาดอากาศ คุณสมบัติทางกายภาพของดินเป็นข้อมูลพื้นฐานของดินที่สำคัญประการหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการประเมินหรือกำหนดความเหมาะสมของดินสำหรับการเพาะปลูกพืช หรือกำหนดวิธีการแก้ไขปรับปรุงดินต่อไป สมบัติทางกายภาพของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชมีหลายประการแต่ที่สำคัญและกล่าวถึงในส่วนนี้เพียง 5 ประการ คือ

1. เนื้อดิน (soil texture) คือ สัดส่วนขององค์ประกอบแร่ธาตุที่มีอยู่ในดิน ซึ่งประกอบด้วยอนุภาค (particle) ที่มีขนาดต่างๆ กัน 3 กลุ่มใหญ่ๆ คืออนุภาคทราย (sand) อนุภาคซิลต์ (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) สัดส่วนขององค์ประกอบอนุภาคทั้ง 3 ในดินจะกำหนดความหยาบหรือความละเอียดของดินซึ่งโดยทั่วไป จะแบ่งเนื้อดินออก 3 ประเภท (ภาพที่ 5) ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5 สัดส่วนการกระจายตัวของอนุภาคดิน

ที่มา : ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (2546)

- ดินเนื้อละเอียด (fine textured soil) ได้แก่ดินที่มีเนื้อดินละเอียดที่มีค่าขึ้นต้นหรือลงท้ายชื่อเนื้อดินด้วยคำว่า clay เช่น clay, sandy clay, silty clay, clay loam
- ดินเนื้อปานกลาง (medium textured soil) ได้แก่ดินที่มีเนื้อดินไม่ละเอียดหรือหยาบเกินไป มีค่าขึ้นต้นหรือลงท้ายชื่อเนื้อดินด้วยคำว่า silt หรือ loam (ยกเว้น clay loam และ sandy loam) เช่น loam, sandy clay loam, silty clay loam, silt loam และ silt
- ดินเนื้อหยาบ (coarse-textured soil) ได้แก่ดินที่มีเนื้อดินหยาบการเรียกชื่อดินไม่มีคำว่า clay และ silt เช่น sand, sandy loam และ loamy sand

คุณสมบัติหลายอย่างของดินจะถูกควบคุมจากลักษณะเนื้อดิน เช่น การดูดซับและระบายน้ำ ความสามารถในการดูดซับและแลกเปลี่ยนไอออน การระบายอากาศ เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตลอดเวลา โดยทั่วไปแล้วดินเนื้อละเอียด เมื่อแห้งดินจะรวมตัวกันเป็นก้อนและแข็งแต่จะเหนียวและหนืดเมื่อเปียก จึงยากต่อการเกษตรกรรมหรือต้องใช้พลังงานมากจึง

มักเรียกว่าดินหนัก (heavy soil) ส่วนดินเนื้อหยาบจะร่วนซุยไม่ว่าขณะแห้งหรือเปียกจึงง่ายต่อการเกษตรกรรม หรือใช้พลังงานน้อย จึงเรียกดินประเภทนี้ว่าดินเบา (light soil)

เนื้อดินเป็นสมบัติเฉพาะตัวของดินแต่ละชนิดและเปลี่ยนแปลงค่อนข้างยาก ดังนั้นหากเนื้อดินอยู่ในสภาพที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น เนื้อดินเป็นทรายจัดหรือเหนียวจัด จำเป็นจะต้องหาวิธีการจัดการที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำให้ใช้ดินนั้นผลิตพืชได้ เช่น การรักษาระดับอินทรีย์สารในดินไม่ให้ต่ำเกินไปทั้งในดินเนื้อหยาบและดินเนื้อละเอียดจะช่วยให้น้ำเก็บกักน้ำและอากาศไว้ได้ในสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช หรือแม้แต่ในการให้น้ำและปุ๋ยกับพืชอย่างมีประสิทธิภาพต้องพิจารณาถึงลักษณะของเนื้อดินด้วย เช่น หากเป็นดินเนื้อหยาบควรแบ่งการให้น้ำและปุ๋ยออกหลายครั้งกว่าดินเนื้อละเอียด ซึ่งดูดยืมน้ำและปุ๋ยไว้ได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบ

โครงสร้างของดิน (soil structure)

โครงสร้างของดินคือ การจัดเรียงตัวและเชื่อมติดกันของเม็ดดินกลายเป็นก้อนดิน ที่มีลักษณะที่แน่นอนและเหมือนกัน แต่บางครั้งดินอาจไม่มีโครงสร้าง หรือโครงสร้างถูกทำลายไม่ให้เม็ดดินจับตัวกันหรือการจับตัวที่ไม่มีรูปร่างแน่นอน เช่นดินโคลนโดยทั่วไปรูปร่างลักษณะของก้อนดินที่กำหนดโครงสร้างของดินมี 4 ประเภทใหญ่ๆคือ

- 1) โครงสร้างแบบทรงกลม (spheroidal structure) พบมากในดินชั้นบนของดินที่ใช้ทำการเกษตรหรือดินที่มีอินทรีย์สารอยู่สูง
- 2) โครงสร้างแบบเหลี่ยม (blocky structure) พบมากในดินชั้นล่างของดินป่าหรือดินตามทุ่งหญ้า
- 3) โครงสร้างแบบแท่ง (prism-like structure) พบมากในดินชั้นล่างโดยเฉพาะในดินเขตแห้งแล้ง หรือกึ่งแห้งแล้ง
- 4) โครงสร้างแบบแผ่น (plate-like structure) พบมากในดินที่ไม่ได้ใช้ทำการเกษตรทั้งดินชั้นบนและดินชั้นล่าง หรือในดินชั้นล่างของดินที่ทำการเกษตรโดยใช้เครื่องมือหนักเป็นเวลานานๆ

โครงสร้างของดินจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตลอดเวลา เช่นดินที่มีโครงสร้างไม่ดี หรือไม่มีโครงสร้างทำให้แน่นทึบ จะจำกัดการเจริญเติบโตของรากพืช การแผ่กว้างและขนไชของ รากในแนวลึกเกิดขึ้นได้น้อย ดินที่มีโครงสร้างที่ดี เช่น โครงสร้างแบบทรงกลมจะทำให้เกิดช่องว่าง ภายในดินได้มาก และเป็นช่องว่างที่มีขนาดโต ดินจึงโปร่งและร่วนซุยมีน้ำและอากาศในดิน พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช

ความหนาแน่นของดิน (bulk density of soil)

ความหนาแน่นของดินคือ สัดส่วนโดยน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของดินเมื่อทำให้แห้ง โดยทั่วไปมีหน่วยเป็นกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรหรือปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนาแน่นของดินจะ ควบคุมหรือกำหนดความสามารถในการระบายน้ำของดิน และมักเป็นคุณสมบัติที่ควบคู่กันไปกับ ความพรุนของดิน ซึ่งหมายถึงช่องว่างภายในดิน อันอาจจะมีน้ำหรืออากาศแทรกตัวอยู่

สีของดิน (soil color)

สีของดินเป็นสมบัติเฉพาะตัวของดินนั้นที่เห็นได้ชัดเจนจะมีความแตกต่างกันมากมายอัน เนื่องมาจาก วัตถุดิบกำเนิดและแร่ธาตุในดิน เช่นถ้าดินมีแร่เหล็กในรูปของ Fe_2O_3 จะทำให้ดินมีสี แดง อินทรีย์สารในดินถ้ามีอยู่มากจะทำให้ดินมีสีดำหรือสีดำหรือความชื้นในดินที่สูงจะทำให้ดิน มีสีเข้มขึ้น โดยทั่วไปดินชั้นบนซึ่งมีอินทรีย์วัตถุอยู่มากมักจะมีสีเข้มกว่าดินชั้นล่าง เนื่องจากมีความ แตกต่างหลากหลายในสีของดินจึงได้มีการกำหนดรหัสสีมาตรฐานของดินขึ้นมาใช้ เช่นสมุดเทียบ สีดินของมุนเซลล์ (Munsell soil color chart)

อุณหภูมิของดิน (soil temperature)

อุณหภูมิของดินเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและสิ่งมีชีวิตในดิน อุณหภูมิในแต่ละชั้นดินที่แตกต่างกันจะไปมีผลต่อการแลกเปลี่ยนอากาศในดินชั้นต่างๆ ที่อยู่ติดกัน ความหนาแน่นของดินปริมาณน้ำและอากาศในดิน เนื้อดิน เป็นต้น ล้วนเป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการ นำพาความร้อนในดิน เช่นดินที่อัดตัวกันแน่น มีเนื้อดินละเอียด และความชื้นในดินสูงจะมีการ นำพาความร้อนได้สูง อุณหภูมิของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชสรุปได้ดังนี้

1) ช่วยในการงอกของเมล็ด เมล็ดพืชต้องการระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกแตกต่างกัน อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปจะกระทบกระเทือนต่อการงอกของเมล็ดได้

2) การดำเนินกิจกรรมของรากพืช เช่นการหายใจ การดูดอาหาร การแบ่งเซลล์ เป็นต้น ต้องการระดับอุณหภูมิบริเวณรอบ ๆ รากที่เหมาะสม

3) การเกิดและการระบาดของโรคพืช ระดับอุณหภูมิและปัจจัยอื่นในดินมีผลต่อการเกิดและแพร่ระบาดของเชื้อโรคในดินที่เป็นอันตรายกับพืชได้

การควบคุมอุณหภูมิของดินไม่ให้สูงหรือต่ำเกินระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในดินอาจทำได้หลายวิธีเช่น การป้องกันอุณหภูมิของดินไม่ให้สูงเกินไปโดยการใช้วัสดุชนิดต่างๆ คลุมดิน หรือโดยการเปลี่ยนสมบัติการนำพาความร้อนของดิน เช่นการไถพรวนดินให้โปร่งและการให้น้ำ จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนลงไปสู่ดินชั้นล่างลดอุณหภูมิของดินชั้นบนลงได้

ความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับเพาะปลูกพืช

ความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นสภาพความเหมาะสมของดินที่จะใช้ปลูกพืชชนิดหนึ่งชนิดใดให้เจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดี พืชต่างชนิดกันอาจจะต้องการความอุดมสมบูรณ์ของดินต่างกัน ความอุดมสมบูรณ์ของดินถูกกำหนดจากเกณฑ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ความสามารถที่จะปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชได้สูง
- คุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช
- การมีหรือไม่มีสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่จะเป็นพิษต่อพืช

สำหรับธาตุที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทางชีววิทยาของพืชมีอยู่ทั้งหมด 13 ธาตุโดยมีที่มาต่างๆ กัน 3 แหล่งคือ จากอากาศ น้ำ และองค์ประกอบของดินเอง ในจำนวนนี้จะเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง (essential element) นั่นคือจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช พืชต้องการใช้ธาตุนั้นในลักษณะเฉพาะเจาะจง ธาตุอื่นใช้แทนไม่ได้ เช่น เป็นธาตุมีหน้าที่เฉพาะอย่างในกระบวนการทางสรีรวิทยา มีอยู่เพียง 16 ธาตุ คือ

คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน ธาตุอาหารทั้งหมดเป็นองค์ประกอบของดินตามสภาพธรรมชาติ ยกเว้น คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน พืชจะได้รับจากอากาศและน้ำ ธาตุอาหารทั้ง 13 ธาตุที่พืชได้รับจากดินได้มีการจัดแบ่งออกตามความสำคัญเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

1. ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากหรือมหธาตุ (macronutrient elements) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ในกลุ่มนี้ปรากฏว่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการมากที่สุด และมักอยู่ในดินไม่มาก หรืออยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้จึงทำให้พืชค่อนข้างขาดธาตุอาหารเหล่านี้ จำเป็นต้องเพิ่มเติมลงไปดินเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของพืช จึงเรียกธาตุอาหารพวกนี้ว่าธาตุอาหารหลัก (primary nutrient element) ส่วนแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน พืชต้องการในปริมาณที่ไม่สูงมากนักและมักมีอยู่อย่างเพียงพอในดิน จึงเรียกธาตุอาหารพวกนี้ว่าธาตุอาหารรอง (secondary nutrient element)

2. ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ (micronutrient or trace element) ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน ธาตุอาหารเหล่านี้ พืชต้องการในปริมาณที่ต่ำมาก แต่พืชจะขาดไม่ได้ ในดินโดยทั่วไปมักมีธาตุอาหารเหล่านี้อยู่ในปริมาณต่ำ แต่พืชก็ไม่ค่อยแสดงอาการขาดธาตุเหล่านี้ นอกจากในดินที่มีเนื้อเป็นทรายจัด หรือดินที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานาน และในดินบางชนิดหรือบางสภาพอาจจะมีธาตุเหล่านี้ อยู่ในปริมาณสูงจนเป็นพิษต่อพืชได้

การประเมินความสมบูรณ์ของดินว่ามีปริมาณธาตุอาหารพืชมากน้อยแค่ไหนสามารถทำได้หลายวิธีแล้วแต่ความสะดวกเหมาะสม เช่น

1) การสังเกตลักษณะอาการที่พืชแสดงออก (symptom of plant) การประเมินโดยวิธีนี้จะทำได้ง่ายแต่ต้องอาศัยความรู้และความชำนาญในการที่จะแยกแยะลักษณะที่ของพืชที่ปรากฏจากการขาด หรือได้รับธาตุอาหารต่างๆ มากจนเกินไป

2) การวิเคราะห์พืช (plant analysis) เพื่อให้ทราบว่าพืชมีธาตุอาหารชนิดไหนอยู่ใน

ปริมาณเล็กน้อยเท่าใด ปริมาณธาตุอาหารในพืชจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับปริมาณที่มีอยู่ในดิน การวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืชอาจทำได้หลายวิธี เช่นวิเคราะห์เนื้อเยื่อพืช (tissue test) เป็นการทดสอบอย่างง่ายจากเพียงบางส่วนของพืช เช่นการคั้นเอาน้ำในเนื้อเยื่อของพืชมาผสมกับน้ำยาทำให้เกิดสีต่างๆ แล้วเปรียบเทียบกับสีมาตรฐานที่ระบุถึงระดับของธาตุอาหารนั้นๆ หรืออาจใช้วิธีการวิเคราะห์พืชทั้งหมด (total analysis) โดยการนำเอาส่วนหนึ่งส่วนใดหรือพืชทั้งต้นที่มีขนาดเล็กไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ

3) การทดสอบทางชีวภาพ (biological test) คือการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชที่ได้รับปริมาณธาตุอาหารต่างๆ กัน ในแปลงทดลอง หรือเรือนกระจกทดลอง

4) การวิเคราะห์ดิน (soil analysis) โดยการเก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ

การปลูกพืชในดินเดิมอย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน จะทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ไปอย่างรวดเร็ว ดินจะแข็ง ไม่ร่วนซุย ดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้น้อยลง และที่สำคัญคือจะทำให้การใช้ปุ๋ยเคมีไม่ได้รับผลดีเท่าที่ควร การใช้ปุ๋ยเคมีที่ได้ผล จะต้องใช้ควบคู่ไปกับการปรับปรุงบำรุงดิน หากใช้ปุ๋ยเคมีแต่เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดินติดต่อกันเป็นเวลานาน จะทำให้ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ทำให้ผลผลิตลดลง ต้องใช้ปุ๋ยเคมีมากขึ้น เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้น การปรับปรุงบำรุงดินทำได้โดยการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน ซึ่งจะทำให้ได้รับประโยชน์ดังนี้

1) ทำให้ดินจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ ร่วนซุยไถพรวนง่าย ระบายน้ำและอากาศได้ดี รากพืชก็จะเจริญเติบโตได้ดี

2) ทำให้ดินทนทานต่อการชะล้างดีขึ้น

3) ทำให้ดินอุ้มน้ำได้มากขึ้นและลดการระเหยน้ำออกจากดิน

4) ทำให้ดินดูดซับธาตุอาหารพืชไว้เป็นประโยชน์แก่พืชได้มากขึ้น

5) อินทรีขั้วตจะสลายตัวปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืช

6) ทำให้ธาตุอาหารพืชในดินละลายออกมาเป็นประโยชน์มากขึ้น

7) เพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปในดินให้เป็นประโยชน์แก่พืชมากขึ้น และลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ในระยะยาว

8) ทำให้ได้รับผลผลิตสูงขึ้น และได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี

การปรับปรุงบำรุงดินโดยการเพิ่มอินทรีขั้วตให้แก่ดินมีหลายวิธีคือ

1) การใช้ปุ๋ยคอก ได้จากมูลสัตว์ต่างๆ แต่มูลสัตว์มักจะสูญเสียธาตุอาหารไปได้ง่าย จึงควรใช้เศษซากพืช เช่น ฟาง แกลบ รong ฟืนคอกสัตว์เพื่อช่วยดูดซับธาตุอาหารจากมูลสัตว์เอาไว้

2) การใช้ปุ๋ยหมัก ได้จากการนำเอาเศษซากพืชที่เหลือจากการเพาะปลูก เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด ต้นถั่วต่างๆ ผักตบชวา และของเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนขยะมูลฝอย มาหมักจนเน่าเปื่อยย่อยสลายตัวดีแล้วนำไปใช้ใส่ในไร่นาหรือสวน

3) การใช้ปุ๋ยพืชสด คือการไถกลบส่วนต่างๆ ของพืชที่ยังสดอยู่ลงในดินเพื่อให้เน่าเปื่อยเป็นปุ๋ย ส่วนใหญ่จะใช้พืชตระกูลถั่ว เพราะให้ธาตุไนโตรเจนสูง และย่อยสลายง่าย โดยเฉพาะในระยะใกล้ออกดอกถึงกำลังออกดอกพืชที่นิยมใช้เป็นปุ๋ยพืชสด ได้แก่ โสน ปอเทือง ถั่วเขียว และถั่วพุ่ม เป็นต้น

4) การใช้พืชคลุมดิน นิยมใช้พืชตระกูลถั่วที่มีคุณสมบัติคลุมดินได้หนาแน่น เพื่อป้องกันวัชพืช ลดการชะล้าง เก็บความชื้นไว้ในดินได้ดี และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน ได้แก่ ถั่วลาย และถั่วคาโลโปโกเนียม เป็นต้น

5) การใช้เศษเหลือของพืชหรือสัตว์ หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว ส่วนของต้นหรือเศษพืชที่

เหลือ เช่น ดันและเปลือกถั่วลิสง แกลบ ตอซัง หรือวัสดุอื่นๆ ถ้าไม่มีการใช้ประโยชน์ควรไถกลับกลับคืนลงไปดิน ส่วนเศษเหลือของสัตว์ เช่น เลือดและเศษซากสัตว์จากโรงฆ่าสัตว์ก็สามารถใช้เป็นปุ๋ยเพิ่มอินทรีย์วัตถุได้

6) การปลูกพืชหมุนเวียน เป็นการปลูกพืชหลายชนิดหมุนเวียนในพื้นที่เดียวกัน ควรมีพืชตระกูลถั่ว ซึ่งมีคุณสมบัติบำรุงดินร่วมอยู่ด้วย เพื่อให้การใช้ธาตุอาหารจากดินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการระบาดของศัตรูพืช ตลอดจนให้ชั้นดินมีเวลาพักตัวในกรณีพืชที่ปลูกมีระบบรากลึกแตกต่างกัน

การปรับปรุงบำรุงดิน ควรใช้หลายวิธีร่วมกัน จะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงได้ และควรมีการปฏิบัติบำรุงดินอย่างต่อเนื่องทุกปี เพื่อรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินให้สูงอยู่เสมอ เพื่อประโยชน์ต่อการผลิตพืชผลทางเกษตรในระยะยาวต่อไป

ดินที่มีปัญหาต่อการเกษตรกรรมในประเทศไทยและการแก้ไข

ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สาเหตุเกิดจากน้ำละลายเอาเกลือหินใต้ดินซึ่งเป็นแหล่งเกลือที่มีอยู่ตามธรรมชาติในดิน มาสะสมไว้ในบริเวณที่ลุ่มต่ำ ทำให้ดินในบริเวณนั้น และบริเวณใกล้เคียงเปลี่ยนสภาพเป็นดินเค็ม ได้มีการสำรวจพบพื้นที่ ซึ่งมีคราบเกลือมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ ประมาณ 2 แสนไร่ ที่ไม่สามารถทำการเพาะปลูกพืชได้ พื้นที่ที่มีคราบเกลือ 10-50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ประมาณ 1.3 ล้านไร่ บริเวณนี้จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผลผลิตตกต่ำ และพื้นที่ที่มีคราบเกลือ 1-10 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ประมาณ 4 ล้านไร่ จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช และทำให้ผลผลิตตกต่ำเช่นกัน นอกจากนั้นในบางพื้นที่ยังพบดินที่มีศักยภาพเป็นดินเค็ม แต่ปัจจุบันยังไม่เป็นดินเค็ม ต่อไปในอนาคตมีโอกาสจะเปลี่ยนสภาพเป็นดินเค็มได้ เนื่องจากมีน้ำใต้ดินเค็ม พบในบริเวณพื้นที่ราบลุ่มมีเนื้อที่ประมาณ 16 ล้านไร่ และหากมีการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อทำไร่เลื่อนลอย ดินเค็มประเภทนี้อาจมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น การแก้ไขปรับปรุงดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ต้องลดการตัดไม้ทำลายป่า หรือการเปิดโอกาสให้ผิวน้ำดินไม่มีสิ่งปกคลุม อันจะนำไปสู่การละลายเกลือใต้ดินให้ระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ เกลือจึงตกค้างอยู่บริเวณผิวดินมากขึ้น ควรมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ควบคู่ไปกับปุ๋ยเคมี เพื่อเพิ่มธาตุอาหารในดิน

ให้แก่พืช และควรปลูกพืชตระกูลถั่วคลุมดิน ปลูกไม้โตเร็ว เพื่อสร้างป่าสร้างสภาพแวดล้อม และปลูกพืชเศรษฐกิจที่ค่อนข้างทนดินเค็มได้ เช่น มะพร้าว มันสำปะหลัง และแตงโม เป็นต้น

ดินกรดกำมะถันหรือดินเปรี้ยว

ดินกรดกำมะถันหรือดินเปรี้ยว เกิดจากตะกอนที่แม่น้ำลำคลองพัดพาตะกอนที่เกิดจากทะเลและมีสารประกอบพวกกำมะถันอยู่ในปริมาณมาก เมื่อมีการตกตะกอนแผ่ขยายกว้างขวางขึ้น พื้นที่บริเวณนั้นจะค่อย ๆ ตื้นเขิน น้ำทะเลจะถอยร่นลงไป และมีอิทธิพลของน้ำจากแม่น้ำลำคลองทำให้เกิดเป็นสภาพน้ำกร่อย จุลินทรีย์ในดินจะเปลี่ยนสภาพของสารประกอบกำมะถันเกิดสารไพไรท์ที่อยู่ในสภาพน้ำขัง ทำให้ดินเปลี่ยนเป็นดินกรดกำมะถันแฝง และเมื่อมีการระบายน้ำออกไป จะเกิดสารจาโรไซต์ มีลักษณะสีเหลืองคล้ายฟางข้าวเป็นจุดประปรายอยู่ในเนื้อดิน กลายเป็นดินกรดกำมะถันซึ่งเป็นกรดจัดถึงขั้นเป็นอันตรายต่อพืช เนื่องจากธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืชบางอย่างถูกตรึงเอาไว้จนไม่สามารถละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ และสารบางอย่างในดินจะถูกละลายออกมามากเกินไปจนเกิดเป็นสารพิษ อีกทั้งจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชบางชนิดไม่สามารถทำงานหรือมีชีวิตอยู่ได้ ดินกรดกำมะถันครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 5 ล้านไร่ ในบริเวณจังหวัดปทุมธานี นครนายก ปราจีนบุรี พระนครศรีอยุธยา และจังหวัดตามชายฝั่งทะเลภาคใต้และภาคตะวันออก การแก้ไขและปรับปรุงดินกรดกำมะถัน โดยการระบายน้ำเฉพาะในส่วนของเนื้อดินตอนบนออกเพื่อชะล้างสารที่เป็นกรดออกไป และจะต้องควบคุมให้มีน้ำแช่ขังอยู่ในดินล่างเพื่อป้องกันไม่ให้สารที่เป็นกรดเกิดขึ้นใหม่อีก พร้อมกับจะต้องป้องกันไม่ให้น้ำเค็ม หรือน้ำกร่อยเข้ามาในบริเวณพื้นที่ และจะต้องใส่สารปรับปรุงดินพวกปูน เช่น ปูนขาว ปูนมาร์ล หินปูนบดละเอียด หรือเปลือกหอยเผาเพื่อให้ทำปฏิกิริยาแก้ความเป็นกรดในดิน ควบคู่ไปกับการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารพืช

ดินทรายดาน

ดินทรายดานเป็นทรายจัดและมีชั้นดานที่เกิดจากสารอิฐมีสี มีเหล็กและอะลูมิเนียมรวมกันถูกชะล้างมาจากดินชั้นบนเจือปนสะสมอยู่ในชั้นระดับน้ำใต้ดินและมีปริมาณมากจนสามารถเชื่อมเม็ดทรายให้เกาะติดกันจนกลายเป็นชั้นดานแข็ง มีความหนา 10-40 เซนติเมตร ส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับความลึกประมาณ 50-60 เซนติเมตร อุปสรรคของดินทรายดานที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ชั้นทรายสีจางซีดจนเกือบเป็นทรายขาวที่อยู่ถัดเหนือชั้นดาน ซึ่งเป็นชั้นที่ถูกน้ำชะล้างอิฐและ

ธาตุอาหารที่มีอยู่น้อยอยู่แล้วลงไปสะสมเกิดเป็นชั้นดาน ชั้นนี้จึงเป็นทรายล้วน ๆ ไม่มีธาตุอาหารที่พืชจะใช้ประโยชน์ได้อยู่เลย เป็นชั้นที่ขาดธาตุอาหารอย่างรุนแรง ประกอบกับชั้นล่างลงไปมีชั้นดานที่แข็งมาก รากพืชไม่สามารถจะชอนไชเข้าไปหาอาหารได้ ดังนั้นเมื่อปลูกพืชในดินประเภทนี้พืชจึงแคระแกร็น ไม่เจริญเติบโต ดินทรายดานส่วนใหญ่พบในภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือในสภาพพื้นที่ที่เกิดสันทรายเก่าชายฝั่งทะเล มีเนื้อที่ประมาณ 6 แสนไร่ การแก้ไขและปรับปรุงดินทรายดานยังไม่ได้มีการศึกษาเพื่อปรับใช้ประโยชน์จากดินนี้อย่างเต็มที่ แต่แนวทางการแก้ไข โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อช่วยให้ดินอุ้มน้ำ และควรใส่ปุ๋ยเคมีควบคู่ไปด้วยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารในดิน ควรปลูกพืชที่มีระบบรากตื้น

ดินอินทรีย์หรือดินพรุ

ดินอินทรีย์หรือดินพรุ เกิดจากการตายและสลายตัวของเปื่อยผุพังของพืชตามธรรมชาติที่ขึ้นอยู่ในแอ่งที่ลุ่มน้ำแช่แข็งเป็นเวลานานจนเป็นชั้นหนา ซากพืชที่ตายทับถมกันนี้จะมีสีน้ำตาลแดงเข้มหรือสีน้ำตาลคล้ำ บางส่วนสลายตัวเป็นอินทรีย์วัตถุอย่างสมบูรณ์ แต่บางส่วนยังคงสภาพเป็นชิ้นส่วนของพืช เช่น กิ่ง ก้าน ลำต้น และรากอยู่ ความหนาของซากพืชแตกต่างกัน ตั้งแต่ 10-40 เซนติเมตร จนถึง 1 เมตร ดินที่อยู่ถัดจากชั้นอินทรีย์ลงไปจะมีลักษณะเป็นดินเลน สีเทาปนน้ำเงิน ดินเลนนี้จะมีสารไฟโรท์ที่เป็นสารพวกเหล็กและกำมะถันสะสมอยู่มาก ซึ่งสารเหล่านี้จะแสดงความเป็นกรดอย่างรุนแรงเมื่อถูกกับอากาศ ดินพรุในประเทศไทยมีประมาณ 4 แสนไร่ ส่วนมากพบในภาคใต้โดยเฉพาะจังหวัดนราธิวาส นครศรีธรรมราช ชุมพร สงขลา พัทลุง ปัตตานี และจังหวัดทางภาคตะวันออก การแก้ไขปรับปรุงดินอินทรีย์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการรักษาสมดุลทางธรรมชาติในสภาพพรุเอาไว้ ไม่ควรระบายน้ำให้แห้งเพราะนอกจากจะทำให้ดินแปรสภาพเป็นกรดแล้ว จะทำให้ซากพืชสลายตัวไปได้อย่างรวดเร็ว พื้นดินจะยุบตัว ต่อไม้ ท่อนไม้จะโผล่ขึ้นมา เกาะเต็มพื้นที่ และจะกลายเป็นเชื้อเพลิงดีดไฟลุกลามได้ง่าย

ดินเหมืองแร่ร้าง

ดินเหมืองแร่ร้างเป็นพื้นที่เคยผ่านการทำเหมืองแร่มาก่อน สภาพพื้นที่ประกอบด้วยขุมเหมืองที่เป็นบ่อน้ำลึก กองหิน กองทรายเป็นเนินสูงๆ ต่ำๆ มีลานกรวด หิน ทราย แผ่นไปทั่วบริเวณพื้นที่ เนื่องจากถูกพัดพามาจากที่สูงบนเนิน ดินเหมืองร้างพบมากในจังหวัดภาคใต้ คือ พังงา ภูเก็ต ระนอง และสงขลา และจังหวัดในภาคตะวันออก คือ จันทบุรี และตราด การแก้ไขปรับปรุงดิน

เหมืองแร่ร้าง โดยการปลูกหญ้า พืชตระกูลถั่วคลุมดิน หรือไม้โตเร็ว เพื่อสร้างความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน

การอนุรักษ์ดิน

การใช้ที่ดินเพาะปลูกพืชเป็นเวลาดต่อกันเป็นเวลานานๆ จะทำให้ดินค่อยๆ เสื่อมสภาพลงไปเรื่อยๆ ถ้าหากมีการใช้ที่ดินอย่างผิดวิธีและขาดการบำรุงรักษา หรือการอนุรักษ์ที่ดีแล้วจะยิ่งทำให้ดินเสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น การเสื่อมสภาพของดินที่ปรากฏมีหลายลักษณะที่สำคัญ เช่น การสูญเสียผิวดินที่มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืชอันเนื่องมาจากผิวดินถูกเปิดก่อให้เกิดการชะล้างพังทลาย การเกษตรกรรมที่ไม่เหมาะสมเช่นการใช้เครื่องมือหนักเตรียมดินขณะที่มีความชื้นในดินสูงทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินเสื่อมดินอัดแน่น ปิดกั้นการเจริญเติบโตของรากและการระบายน้ำและอากาศ การปลูกพืชโดยใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์บางชนิดติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้ดินเป็นกรดเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการอนุรักษ์ดินและการจัดการต่างๆ เพื่อการอนุรักษ์ป้องกันการเสื่อมสภาพของดินหรือลดอัตราการเสื่อมสภาพของดินลง ให้สามารถใช้ทรัพยากรดินได้ยั่งยืนต่อไป ตามข้อความดังกล่าวข้างต้นสามารถแยกให้เห็นประเด็นของการอนุรักษ์ดินได้ดังต่อไปนี้

- 1) เพื่อลดการกัดกร่อนที่มีตัวเร่งลงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ จนกระทั่งการสูญเสียดินกับอัตราการเกิดดินใกล้เคียงกัน และพยายามรักษาสมดุลนี้ไว้
- 2) เพื่อรักษาปริมาณธาตุอาหารในดินให้อุดมสมบูรณ์โดยการป้องกันการสูญเสียที่ไม่จำเป็นหรือทดแทนส่วนที่สูญเสียไปโดยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง
- 3) เพื่อรักษาระดับอินทรีย์วัตถุโดยการควบคุมอัตราการสลายตัว หรือโดยการเพิ่มตัวซากพืชซากสัตว์ลงไปเสมอ
- 4) เพื่อรักษาสมบัติทางกายภาพของดินที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช เช่น ความร่วนซุย การเก็บกักอุ้มน้ำและอากาศได้ดี เป็นต้น และพยายามปรับปรุงให้เหมาะสมต่อพืชมากยิ่งขึ้น

5) เพื่อใช้น้ำที่มีอยู่ในดินให้เกิดประโยชน์สูงสุด

หลักการใหญ่ๆ ในการอนุรักษ์ดินให้เกิดขึ้นได้ตามประเด็นต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น มีดังต่อไปนี้

- 1) การปรับปรุงดินโดยการทำให้ดินนั้นทนทานต่อการกัดกร่อนและการพัดพา และสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ดีขึ้นด้วย อีกทั้งพยายามรักษาระดับน้ำ อากาศ และธาตุอาหารพืชให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชตลอดเวลา
- 2) การปกคลุมดินเพื่อป้องกันการกระแทกของเม็ดฝนและแรงลมเช่นการคลุมดินด้วยพืชหรือเศษเหลือของพืชเพื่อช่วยป้องกันดินจากแรงกระแทกของเม็ดฝน ลดความเร็วของลมที่ผิวหน้าดินและช่วยปรับปรุงดินอีกด้วย
- 3) การทำให้ความเร็วของน้ำไหลบ่าและของลมนลดลง ซึ่งเป็นการช่วยลดการกัดกร่อนและพัดพาของอนุภาคดิน เช่นการเพิ่มความสามารถในการให้น้ำแทรกซึมผ่านดินลงไปได้ง่ายหรือการสร้างสิ่งกีดขวางการไหลบ่าของน้ำและการพัดของลม
- 4) การทำทางระบายน้ำจากน้ำไหลบ่า และป้องกันการสูญเสียเนื้อดินโดยการทำขั้นบันได และการคลุมผิวหน้าดินด้วยหญ้าหรือพืชขนาดเล็ก

การจัดการบางประการเพื่อการอนุรักษ์ดิน ได้แก่

- 1) การปลูกพืชคลุมดิน ซึ่งมักจะเป็นพืชที่มีใบหนาและระบบรากแน่นสำหรับคลุมและยึดดิน เช่นพวงพืชรากแก้วหรือพืชรากหญ้า
- 2) การปลูกพืชหมุนเวียน คือการปลูกพืชต่างชนิดกับบนพื้นที่เดียวกันหมุนเวียนกันไป โดยทั่วไปควรเลือกชนิดพืชที่มีระบบรากต่างกัน ต้องการธาตุอาหารบางชนิดมากน้อยต่างกัน และองค์ประกอบทางเคมีไม่เหมือนกันเป็นต้น ตัวอย่างเช่น การปลูกข้าว ถั่วเหลือง ข้าวโพด และปอเทือง หมุนเวียนกันไป

- 3) การคลุมดิน ด้วยวัสดุใดๆ ก็ตาม เช่นอาจเป็นเศษเหลือของพืชเพื่อช่วยป้องกันการกัดกร่อน ลดแรงปะทะของเม็ดฝนและแรงลมพัด รักษาความชื้นของดินเอาไว้ได้นานขึ้น อีกทั้งช่วยเพิ่มความคงทนในการจับยึดกันของก้อนดินไว้ได้ทำให้การซึมซาบของน้ำลงไปดินได้ดียิ่งขึ้น
- 4) การปลูกพืชตามแนวระดับ การเขตกรรมในพื้นที่ที่มีความลาดเทจะต้องทำตามระดับเป็นขั้นๆ ลดหลั่นลงไปตามแนวขวางความลาดเทเพื่อลดอัตราการชะล้างและพัดพาดิน
- 5) การปลูกพืชสลับเป็นแถบ เป็นการปลูกพืชต่างชนิดบนพื้นที่เดียวกันขวางความชันของพื้นที่หรือตามแนวระดับเป็นแถบๆ มักจะทำได้กับพื้นที่ที่มีความลาดเทไม่มากนัก
- 6) การทำขั้นบันได คือการสร้างคันดินขวางความลาดเทของพื้นที่และปลูกพืชในขั้นบันได ตลอดจนระหว่างขั้นบันได

ตัวอย่างการจัดการบางประการเพื่อการอนุรักษ์ดิน เช่น การปลูกสร้างทุ่งหญ้า และป่าไม้สามารถป้องกันการสูญเสียที่ดินได้ดีเพราะมีพืชปกคลุมดินที่ถาวร หรือการปลูกพืชล้มลุกหลายชนิดในพื้นที่นาสลับและหมุนเวียนกันไป พร้อมทั้งไถกลบหรือปกคลุมซากพืชที่เก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้วไว้ในพื้นที่เพาะปลูกนั้น หรืออีกตัวอย่างหนึ่งของวิธีการจัดการอนุรักษ์ดินที่ค่อนข้างทำกันแพร่หลายในปัจจุบัน คือการใช้หญ้าแฝก ปลูกในที่ลาดชันตามไหล่เขาที่สูง เช่น ไหล่ถนนเพื่อการยึดเกาะดินได้ผลดีมาก (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2546)

การใช้น้ำของพืช

องค์ประกอบในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

1. การคายน้ำของพืช (Transpiration; T) หมายถึง การระเหยของน้ำออกจากต้นพืชโดยผ่านทางปากใบและผิวใบมีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ / หน่วยเวลาหรือปริมาตรของน้ำ / หน่วยเวลา / หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน
2. การระเหย (Evaporation; E) หมายถึง การระเหยของน้ำ จากผิวน้ำ และ/หรือผิวดิน มี

หน่วยเป็นความลึกของน้ำ /หน่วยเวลาหรือปริมาตรของน้ำ /หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน

3. ปริมาณการใช้น้ำของพืช หรือ การคายระเหยน้ำของพืช (Crop Evapotranspiration; ET) หมายถึง ปริมาณน้ำ ที่พืชต้องการใช้จริงๆ รวมถึงปริมาณน้ำ ที่สูญเสียไปจากแปลงปลูก โดยขบวนการคายน้ำของพืชและการระเหย มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ /หน่วยเวลา หรือปริมาตรของน้ำ /หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน

4. ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration; ETo) หรืออาจจะหมายรวมถึงค่า Potential Evapotranspiration; ETp ด้วยนั้น หมายถึงหลักการในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากพื้นที่เพาะปลูกที่มีพืชปกคลุมอยู่อย่างทั่วถึง โดยที่ดินจะต้องมีความชื้นอยู่อย่างเพียงพอกับความต้องการของพืชตลอดเวลาและพื้นที่เพาะปลูกนั้นจะต้องมีบริเวณกว้างใหญ่ พอที่จะไม่ทำให้การระเหยและการคายน้ำของพืชต้องกระทบกระเทือนจากอิทธิพลภายนอกมากนัก เช่น การพัดผ่านของลมที่แห้งและร้อน ทั้งนี้เพราะเพื่อต้องการให้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงนี้ขึ้น อยู่กับความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศรอบข้างแต่เพียงอย่างเดียว เช่น อิทธิพลที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ชั่วโมงแสงแดด เป็นต้น

การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จะเป็นการนำเอาข้อมูลของสภาพภูมิอากาศ ณ ช่วงเวลาและสถานที่ที่ใช้ทดลองนั้น หรือเป็นสถานที่ที่จะนำค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงไปใช้งาน ข้อมูลดังกล่าวจะต้องผ่านการตรวจสอบ วิเคราะห์ ปรับปรุงตลอดจนแบ่งช่วงให้ตรงกับช่วงการเจริญเติบโตหรืออายุพืชหรือช่วงเวลาที่นำไปใช้ โดยใช้สูตรหรือวิธีการคิดคำนวณที่ปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น Modified Penman, Penman Monteith, Pan Method เป็นต้น

5. ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient; Kc) หมายถึง ค่าคงที่ของพืชที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่ทำการทดลองและตรวจวัดได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) กับผลการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) จากสูตรใดสูตรหนึ่ง โดยอยู่ในรูปสมการ

$$Kc = \frac{ET}{ETo} \quad (4)$$

ค่าสัมประสิทธิ์พืช จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการนำไปใช้งานในด้านชลประทานและการเกษตร ในกรณีที่ต้องการปลูกพืชในท้องถิ่นอื่นที่ยังไม่มีการทำการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดนั้นมาก่อนเลย เมื่อต้องการทราบก็สามารถนำค่า K_c มาคำนวณหาค่า ET ร่วมกับค่า ET_o ที่ได้จากข้อมูลของสภาพภูมิอากาศของท้องถิ่นนั้นได้

สิ่งสำคัญที่สุดของการนำค่าสัมประสิทธิ์พืชไปใช้งานคือ จะต้องจำไว้เสมอว่าพืชแต่ละชนิด K_c ที่ได้จากการคำนวณสูตรหลายค่าด้วยกัน ดังนั้น ก่อนนำค่า K_c ไปใช้งานต้องตรวจสอบเสียก่อนว่าเป็นค่า K_c ของสูตรใด เพื่อจะได้้นำค่า ET_o ของสูตรนั้น มาใช้เพื่อค่า ET ที่ถูกต้องและนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่าสัมประสิทธิ์พืชจะมีค่าที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและช่วงการเจริญเติบโตของพืชและสูตรที่ใช้ในการคำนวณหา ET_o เป็นสำคัญ

วิธีการคำนวณค่าการระเหยของพืช

ค่าการคายระเหยของพืช (Evapotranspiration, ET_c มีหน่วย mm/day) คำนวณจาก

$$ET_c = K_s K_c ET_o \quad (5)$$

โดยที่ ET_o คือ ค่าการคายระเหยอ้างอิงของพืช (Reference Crop Evapotranspiration, ET_o มีหน่วย mm/day) K_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient) และ K_s คือ สัมประสิทธิ์ความเครียดน้ำ (Water Stress) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ในกรณีที่น้ำในดินในเขตรากพืชมีค่าการพร่อง (Depletion, D_r มีหน่วย mm) น้อยกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ที่ใช้การได้ (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

$$K_s = 1 \quad \text{กรณี } D_r < RAW \quad (5a)$$

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} \quad \text{กรณี } TAW < D_r < RAW \quad (5b)$$

$$K_s = 0 \quad \text{กรณี } D_r = TAW \quad (5c)$$

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ตั้งแต่วิธีการง่ายๆ ที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่สลับซับซ้อน ไปจนถึงวิธีการที่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษและมีราคาแพง สำหรับการตรวจวัด ซึ่งไม่ว่าจะเป็นวิธีใดก็ตามสุดท้ายผลลัพธ์ที่ได้จะต้องเป็นค่าการใช้น้ำของพืชที่มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงค่าความเป็นจริงมากที่สุดและสามารถนำไปใช้งานได้จริง เป็นต้น หากจะแยกการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชออกตามวิธีการดำเนินการ สามารถแยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธีการตรวจวัด การวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยตรงอาจทำได้หลายวิธี แต่ละวิธีมีทั้ง ข้อดีและข้อเสีย ตลอดจนมีปัญหาเข้ามาเกี่ยวข้องต่างๆ กัน การที่จะเลือกใช้วิธีหนึ่งวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมหรือจัดหาเครื่องมือ ชนิดของพืชและองค์ประกอบอื่นๆ อีกหลายอย่าง วิธีการที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ในงานด้านเกษตรชลประทานและวิศวกรรมชลประทาน ได้แก่

- การวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter Tank) การวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช นั้น ถ้าจะเปรียบเทียบกันแล้วก็คือกระถางต้นไม้ขนาดใหญ่ที่ปลูกพืชที่ต้องการวัดค่าการใช้น้ำ แล้วนำไปตั้ง อยู่ท่ามกลางพื้นที่ที่ปลูกพืชชนิดเดียวกัน โดยให้มีสภาพทั้ง ภายในและภายนอกกระถาง คล้ายคลึงกับสภาพที่เป็นจริงตามธรรมชาติมากที่สุด กระถางดังกล่าวต้องมีอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณน้ำที่สูญเสียไป เพื่อจะได้นำมาคำนวณปริมาณน้ำใช้ของพืชในช่วงระยะเวลาต่างๆ ได้ ปริมาณการใช้น้ำของพืชนิยมบอกเป็นค่าความลึกของน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น มิลลิเมตรต่อวัน

- การศึกษาจากค่าความชื้นในดิน การศึกษาจากค่าความชื้นในดิน วิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีเนื้อดินที่สม่ำเสมอตลอดความลึก และระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินมาก วิธีวัดทำโดยการหาจำนวนความชื้นในดินก่อนและหลังให้น้ำ แก่พืชทุกครั้ง

- การศึกษาจากแปลงทดลอง การศึกษาจากแปลงทดลอง แปลงทดลองควรมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินอย่างน้อย 25 เมตร ซึ่งจะทำให้เชื่อได้ว่าพืชไม่สามารถดูดน้ำ ใต้ดินมาใช้ได้แล้วทำการทดลองโดยให้น้ำแก่พืชในปริมาณที่ต่าง ๆ กัน แล้ววัดผลผลิตที่ได้รับ ซึ่งผลปรากฏว่าพืชทุกชนิดที่ทำการทดลองจะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อให้น้ำ เพิ่มขึ้น จนถึงระดับหนึ่งที่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำ ที่ให้แล้ว จะทำให้ผลผลิตลดลง จึงใช้ค่าปริมาณน้ำ ที่จุดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงผลผลิต

จากที่เพิ่มขึ้น เป็นลคลงนั้น เป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดนั้นๆ การทดลองนี้จะไม่มีน้ำไหลออกนอกแปลงทดลอง แต่ก็ไม่ได้วัดการไหลซึมของน้ำ เลยเขตรากพืช ดังนั้น ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ทำได้จึงมีค่าค่อนข้างสูงและไม่ได้รับความนิยม

2. การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration; ETo) อาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งสูตรที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องของผลลัพธ์ข้อมูลภูมิอากาศที่มีอยู่ และความสามารถในการนำไปใช้งาน ฯลฯ สูตรหรือวิธีการที่นิยมใช้กันในงานด้านชลประทานและเกษตรชลประทานซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้คือ Penman Monteith ซึ่งกล่าวถึงโดยสังเขปได้ดังนี้

- ข้อมูลที่ใช้คำนวณสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ข้อมูลที่สำคัญของสภาพภูมิประเทศหรือทำเลที่ตั้งของสถานที่ที่ทำการคำนวณ ได้แก่ จุดพิกัดเส้นรุ้ง (Latitude) จุดพิกัดเส้นแวง (Longitude) และค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (altitude above mean sea level; MSL) เป็นต้น

2. ข้อมูลภูมิอากาศหรือสถิติอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่นำมาใช้ เป็นข้อมูลเฉลี่ยเป็นรายวัน, รายสัปดาห์หรือรายเดือนก็ได้แล้วแต่ช่วงการทดลองหรือความละเอียดของผลงานที่ต้องการข้อมูลที่สำคัญๆ สำหรับใช้ในการคำนวณ ได้แก่

1. อุณหภูมิของอากาศ (Air Temperature; °C สามารถแยกออกเป็น

- อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย
- อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย
- อุณหภูมิเฉลี่ย

2. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity; %)

- ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย

3. ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2.00 ม. จากพื้นดิน (windspeed at 2.00 m. above ground; กม./วัน)

- ความเร็วลมผิวดินเฉลี่ย

4. ชั่วโมงแสงแดด (Sunshine Duration; ชม./วัน)

- ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ย

5. การระเหยของน้ำจากอ่างวัดการระเหยแบบ Class A pan (Evaporation; มม./วัน)

- ค่าระเหยของน้ำเฉลี่ย

นอกจากนี้ในกรณีที่ข้อมูลที่ต้องการดังที่กล่าวมาเกิดขาดหายไป เนื่องจากไม่ได้ทำการตรวจวัด หรือเครื่องมือตรวจวัดชำรุด ก็สามารถใช้อีกข้อมูลตัวอื่น นำมาปรับเปลี่ยนหรือแปลงค่าใช้แทนกันได้ เช่น

6. ค่าความครึ้มของเมฆ (Cloudiness; 0-10) สามารถใช้แทนค่าชั่วโมงแสงแดด

- ความครึ้มของเมฆเฉลี่ย

7. ความเร็วลมที่ระดับความสูง.....เมตร.(windspeed atm. above ground; กม./วัน)

- ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง.....เมตร.

8. ค่าความสูงจากพื้นดินของเครื่องมือวัดความเร็วลม(height of wind vane; m.) ใช้แทนความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 2.00 ม. จากพื้นดิน

- ความสูงจากพื้นดินเฉลี่ย.....เมตร.

- สูตรหรือวิธีการคำนวณ สูตรหรือสมการที่ใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช
อ้างอิง ของวิธี Penman Monteith มีดังนี้

ข้อมูลที่ต้องการ

- พิกัดทางภูมิศาสตร์ (เส้นรุ้ง, เส้นแวง, ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง)
- อุณหภูมิของอากาศ (สูงสุด, ต่ำสุด, เฉลี่ย)
- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (เฉลี่ย)
- ความเร็วลมผิวดินหรือที่ระดับ 2.00 เมตร (เฉลี่ย)
- จำนวนชั่วโมงแสงแดด หรือค่าความครึ้มของเมฆ (เฉลี่ย)

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$ET_o = \frac{0.408 R_n - G + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (6)$$

ET_o = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)

R_n = ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ ($MJ/m^2/d$)

G = flux ค่าความร้อนของพื้นดิน ($MJ/m^2/d$)

T = อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย ($^{\circ}C$)

Δ = ค่าความลาดเทของเส้น curve แรงดันไอน้ำ ($kPa/^{\circ}C$)

γ = ค่าคงที่ของ psychrometric ($kPa/^{\circ}C$)

U_2 = ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 ม. (m/s)

$(e_s - e_a)$ = ค่าความต่างของแรงดันไอน้ำ (kPa)

900 = factor ปรับแก้ (ที่ระพล, 2549)

วิธีการคำนวณสมดุลน้ำบนแปลงนา

สำหรับการหาค่าการใช้^๖น้ำสำหรับนาข้าวหาได้จากหลักการสมดุลของน้ำในแปลงนา ซึ่งมีตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 6 และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (วรารุช, 2545)

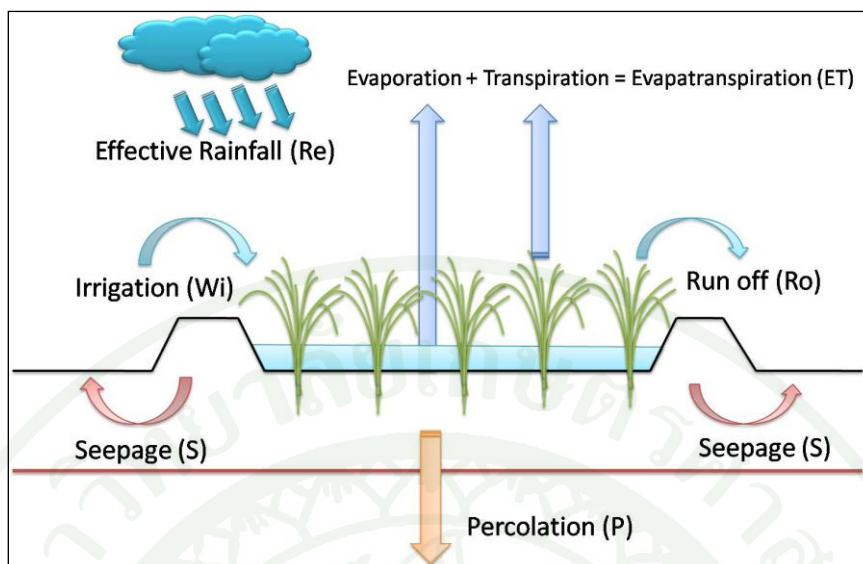
$$W_i + R_e = ET + P + S \quad (7)$$

โดย	W_i	=	ปริมาณน้ำชลประทาน (irrigation water)
	R_e	=	ปริมาณฝนใช้การ (effective rainfall)
	ET	=	ปริมาณการใช้น้ำของพืช (evapotranspiration)
	P	=	ปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงเขตรากพืช (percolation)
	S	=	ปริมาณรั่วซึมทางด้านข้าง (seepage)

ในกรณีที่แปลงนาที่อยู่ข้าง ๆ มีน้ำข้างเหมือนกัน ปริมาณรั่วซึมทางด้านข้างจะมีค่าไม่มาก และโดยทั่ว ๆ ไปจะรวมค่า P และ S เข้าด้วยกัน เรียกว่า ปริมาณรั่วซึมในแปลงนา (PS) ดังนั้นสมการที่ 8 สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$W_i = ET + PS - R_e - R_o \quad (8)$$

กรณีที่มีการใช้น้ำชลประทานเพื่อการอื่น เช่น การเตรียมดิน หรือการตกกล้า จะต้องนำปริมาณน้ำส่วนนั้นมารวมอยู่ในค่า W_i ด้วย



ภาพที่ 6 สมดุลของน้ำในแปลงนา

ที่มา: คัดแปลงจาก ชูพันธุ์ (2547)

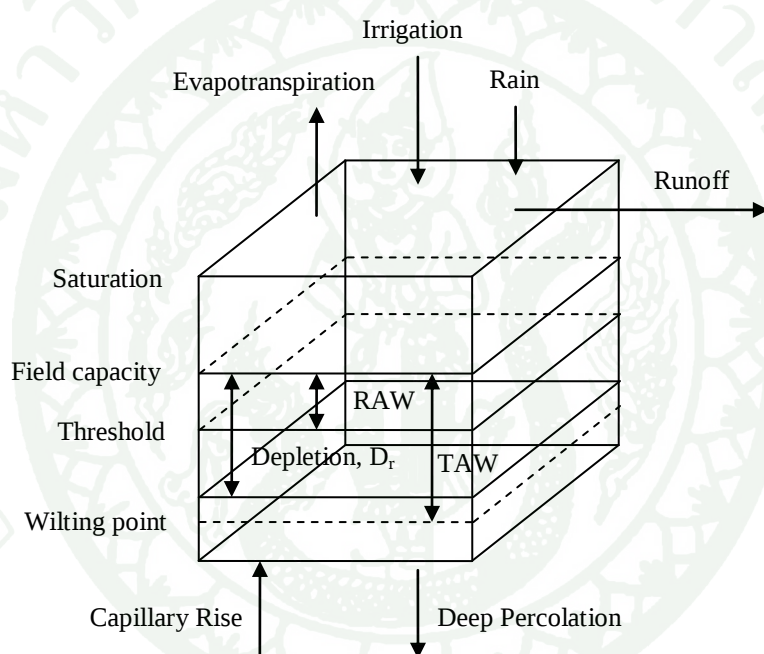
วิธีการคำนวณสมดุลน้ำในเขตรากพืช

ภาพที่ 7 แสดงแนวคิดของสมดุลน้ำในเขตรากพืช โดยที่สมมติให้ดินในเขตรากพืชได้รับน้ำจากฝน (Rain) หรือชลประทาน (Irrigation) ในปริมาณมากเกินไปความสามารถการซึมลงดิน จะมีส่วนเกินที่เป็นน้ำท่าผิวดิน (runoff) ไหลบนผิวดิน น้ำในส่วนที่ซึมลงดินจะทำให้ น้ำในเขตรากพืชอยู่ในระดับความชื้นอิ่มตัว (Saturation) ชั่วขณะ และส่วนหนึ่งของน้ำจะซึมลึกลง (Deep percolation) ทำให้เหลือน้ำในดินเท่ากับระดับความจุความชื้นสนาม (Field Capacity) ซึ่งสามารถแปลงอยู่ในรูปของระดับน้ำ เรียกว่า น้ำที่อยู่ในดินทั้งหมดในเขตรากพืชที่ใช้การได้ (Total available soil water in the root zone, TAW) ในบางครั้งหากระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงอาจมีผลกระทบของ Capillary rise ต่อระดับน้ำในเขตรากพืช น้ำในเขตรากพืชสามารถลดลงเนื่องจากการคายระเหย หากน้ำพร่องลงต่ำกว่าระดับน้ำที่มีอยู่ที่ใช้การได้ (RAW) จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ความเครียดน้ำ ดังกล่าวในหัวข้อที่ผ่านมาในสมการ (5)

การคำนวณค่าการพร่องของน้ำในเขตรากพืช ณ วันที่ i (D_{ri}) ซึ่งมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร สามารถคำนวณได้จากสมดุลน้ำในเขตรากพืช ดังสมการนี้

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P_i - RO_i) - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i \quad (9)$$

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 ในการศึกษาี้ยังไม่ได้พิจารณาการสูญเสียน้ำชลประทานจากการส่งน้ำ หากพิจารณาในส่วนนี้ บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 7 สมดุลน้ำในเขตรากพืช

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก FAO โดย (Allen ,1998)

สภาวะการเกิด water stress

water stress เป็นสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะสภาวะขาดน้ำ (water deficit) ซึ่งเป็นสภาวะที่พืชมีอัตราการคายน้ำมากกว่าอัตราการดูดน้ำ เป็นผลให้ปริมาณน้ำในพืชลดลงจนมีผลต่อสรีรวิทยาของพืช โดยพืชจะมีกระบวนการของการตอบสนองต่อ

สภาวะขาดน้ำหลายกระบวนการทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการขาดน้ำและช่วงเวลาของการขาดน้ำ ซึ่งทำให้พืชมีการปรับตัวเพื่อการอยู่รอด ซึ่งมีผลทำให้พืชมีการใช้น้ำอย่างประหยัด ขณะเดียวกันสามารถรักษาระดับการสร้างอาหารเอาไว้ด้วย หรือมีการให้ผลผลิตที่เหมาะสม ซึ่งหมายถึงการที่พืชสามารถนำน้ำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและมีการเคลื่อนย้ายอาหารที่สร้าง ไปสร้างผลผลิตได้

อัตราการแทรกซึมของน้ำเข้าไปในดิน (Infiltration rate)

ความชื้นหรือน้ำที่ดินได้รับมักจะมาจากภายนอกดิน ได้แก่ น้ำฝนและน้ำชลประทาน การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายนอกผิวดินเข้าไปในดินตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วยแรงดึงดูดของโลก เรียกว่า “การดูดซึมน้ำของดิน (Infiltration)” ส่วนอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินต่อหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า “อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Infiltration rate)” สำหรับการศึกษาไหลของน้ำตามแนวตั้ง ลึกลงไปในหน้าตัดดินหลังจากที่เข้าไปในผิวดินแล้วในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ดินที่ผ่านการบดแล้ว เรียกว่าการซาบซึ่มลง (percolation)

การซึมของน้ำผ่านผิวดินแต่ละชนิดเป็นข้อมูลสำคัญในการให้น้ำแก่พืช เพราะไม่ควรให้น้ำในอัตราที่เกินกว่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินจะทำให้เกิดการชะล้าง การไหลบ่าไปบนผิวดิน

Infiltration rate มีค่าสูงสุดเมื่อผิวดินเริ่มได้รับน้ำเพราะดินมีความชื้นน้อยและอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินจะลดลงตามเวลาเนื่องจากดินเริ่มอิ่มตัวด้วยน้ำและเกือบคงที่ตลอดไปจนกว่าจะหยุดการให้น้ำแก่ดิน ซึ่งใช้ในการกำหนดอัตราการไหลของน้ำชลประทานเข้าไปในแปลงเพาะปลูก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. กล้อง GPS
3. โปรแกรม Microsoft excel
4. โปรแกรม ETo Calculator
5. ข้อมูลอุตุ – อุทกวิทยา
6. เครื่องเขียน และอุปกรณ์สำนักงาน

วิธีการ

ข้อมูลขั้นตอนการปลูกข้าว

ในการศึกษานี้ ได้ศึกษาข้อมูลการปลูกข้าวจาก 2 พื้นที่ คือ ใช้ผลการศึกษาที่ได้ทดลองในแปลงนาจริง ของสถานีทดลองการบริหารจัดการน้ำด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ (วรุฒิ และ หนึ่งฤทัย, 2556) และจากการสำรวจข้อมูลในสนามจากเกษตรกร และเก็บข้อมูลจากพื้นที่นาจริง ซึ่งเป็นชาวนามืออาชีพ ในเขตพื้นที่ตำบลนางลือ อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท ซึ่งใช้วิธีการปลูกที่เหมือนกันคือแบบนาดำและนาเปียกสลับแห้งซึ่งมีข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลผลการศึกษาที่ได้ทดลองในแปลงนาจริง ของสถานีทดลองการบริหารจัดการน้ำด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ (วรุฒิ และ หนึ่งฤทัย, 2556)

- พื้นที่การทดลองแบ่งเป็น 2 แปลง โดยแปลงนาดำมีพื้นที่ 0.625 ไร่ นาเปียกสลับแห้งมีพื้นที่ 1 ไร่
- การเตรียมแปลงใช้ระยะเวลา 5 วัน โดยใช้น้ำในการเตรียมแปลง 156.25 มม.ทั้ง 2 แปลง

- สำหรับนาดำ ในระยะตั้งตัวให้น้ำสูง 3 เซนติเมตร ในระยะตั้งตัว – แดกกอสูงสุด (อายุ 25 – 60 วัน) ให้น้ำสูง 5 เซนติเมตรในระยะสืบพันธุ์ตั้งท้อง – สุกเหลือง

- ให้น้ำสูง 7 เซนติเมตร สำหรับนาเปียกสลับแห้ง ดำเนินการในลักษณะคล้ายกับการปลูกแบบนาดำแต่จะมีการปรับลด – เพิ่มระดับน้ำตามความต้องการน้ำของต้นข้าวในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต โดยใช้ท่อแก้ง้ำข้าวในการดูระดับน้ำในช่วงที่น้ำลดลงต่ำกว่าพื้นดิน

- การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ ใส่ปริมาณ 15 – 16 กก./ไร่ จำนวน 3 ครั้ง ทั้ง 2 แปลง ตามคำแนะนำของศูนย์ทดลองข้าวสุพรรณบุรีและสถานีพัฒนาที่ดินจังหวัดนครปฐม และผู้เชี่ยวชาญทางด้านข้าว

- ได้มีการฉีดยากำจัดวัชพืชจำนวน 2 ครั้ง ทั้ง 2 แปลง

- ได้มีการบันทึกปริมาณการส่งน้ำ ระบายน้ำ ปริมาณฝน การใช้ปุ๋ยเคมี ผลผลิต และการเจริญเติบโตของข้าว (ยกเว้นข้อมูลการเพาะกล้า เพราะไม่มีการบันทึกข้อมูลไว้)

2. ข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลจริง จากเกษตรกร ชาวนามีอาชีพ ในพื้นที่ตำบลนางลือ อำเภอมือง จังหวัดชัยนาท

- พื้นที่นาแบ่งเป็น 2 แปลง อยู่ในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกัน เป็นนาดำ 16 ไร่ และนาเปียกสลับแห้ง 8 ไร่

- การเพาะกล้า ใช้วิธีการจ้างเพาะกล้า ใช้ระยะเวลา 18 วัน

- การเตรียมแปลงใช้ระยะเวลา 7 วัน โดยใช้น้ำในการเตรียมแปลง 100 มม.ทั้ง 2 แปลง

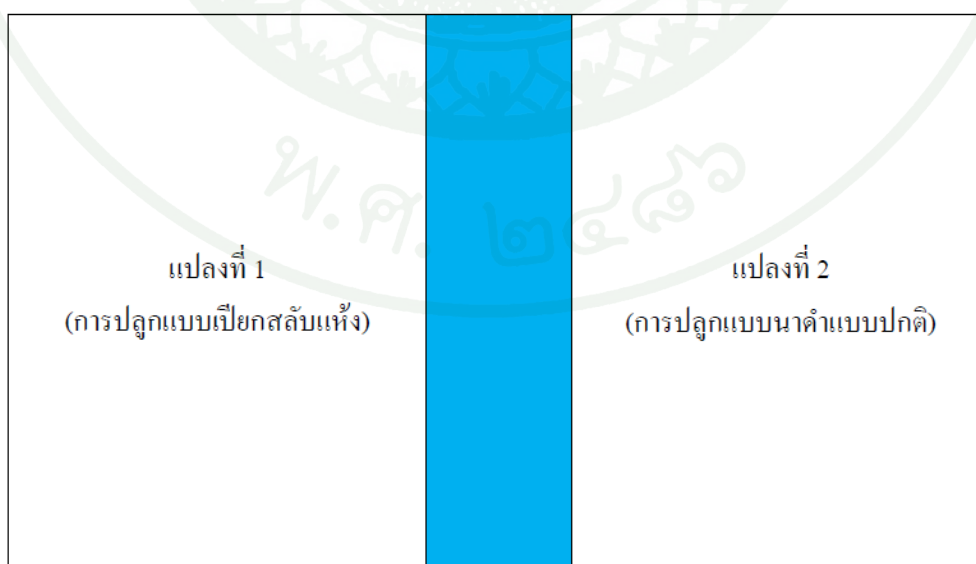
- การให้น้ำในการปลูกข้าว ให้น้ำสูง 5 เซนติเมตร สำหรับนาดำ ให้ได้ตลอดการเพาะปลูก จนถึง 90 วัน จึงปล่อยให้น้ำแห้ง รอเก็บเกี่ยว ส่วนนาเปียกสลับแห้ง ให้น้ำสูง 5 เซนติเมตร แต่จะมีการปล่อยให้น้ำแห้ง ประมาณ 15 เซนติเมตร จำนวน 2 ครั้ง โดยดูระดับจากท่อแก้งข้าว จะปล่อยให้แห้งช่วงวันที่ 45 และ 60 ของวันที่เพาะปลูก หลังจากนั้นให้น้ำปกติจนถึง 90 วัน จึงปล่อยให้น้ำแห้ง รอเก็บเกี่ยว

- การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ ใส่จำนวน 3 ครั้ง ครั้งแรกใส่ 10 กิโลกรัม/ไร่ ครั้งที่ 2 ใส่ 30 กิโลกรัม/ไร่ ครั้งที่ 3 ใส่ 10 กิโลกรัม/ไร่ เหมือนกันทั้งแปลงนาดำและนาเปียกสลับแห้ง

- ได้มีการฉีดยากำจัดวัชพืชจำนวน 2 ครั้ง ทั้ง 2 แปลง

ข้อมูลพื้นที่ปลูกข้าว

พื้นที่การศึกษาที่ทำการศึกษา 2 พื้นที่ ซึ่งพื้นที่แรกใช้พื้นที่ ที่ได้ทดลองในแปลงนาจริงของสถานีทดลองการบริหารจัดการน้ำด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ (วรวิทย์ และ หนึ่งฤทัย, 2556) ในเขตพื้นที่ ตำบลบางตลาด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ซึ่งแบ่งเป็น 2 แปลง คือแปลงนาเปียกสลับแห้งมีพื้นที่ 1 ไร่ และแปลงนาดำมีพื้นที่ 0.625 ไร่ ตามภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงแผนผังพื้นที่การทดลอง

พื้นที่ ที่สอง พื้นที่นาของเกษตรกร ตำบลนางลือ อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท ซึ่งได้ทำนา 2 แปลง คือ แปลงนาเปียกสลับแห้ง จำนวน 8 ไร่ และนาดำ จำนวน 16 ไร่ ตามภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงพิกัด และพื้นที่กรณีศึกษา

จากพื้นที่ที่ได้ทำการศึกษาได้เก็บตัวอย่างดินมาทดสอบคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ของดิน จำนวน 2 ตัวอย่าง ซึ่งดินที่เก็บตัวอย่าง ใช้ตัวอย่างละ 5 กิโลกรัม และเป็นดินที่อยู่ในช่วงความลึก 0 – 30 เซนติเมตร ดังภาพที่ 10 พร้อมทั้ง วัดความสูงของ ข้าว จำนวนต้นของข้าว และความยาวของ รากข้าว



ภาพที่ 10 แสดงตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบคุณสมบัติ

การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o)

ในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยา โดยใช้สถานีทางอุทกวิทยาที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ และข้อมูลทางกายภาพใกล้เคียงกัน คือใช้ ข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยาปทุมธานี และข้อมูล สถานีอุตุนิยมวิทยาชัยนาท โดยใช้โปรแกรม ET_o Calculator Version 3.1 (FAO, 2009) ในการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) โดยใช้ข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูล ความเร็วลม แสงแดด ความชื้น ฝน อุณหภูมิ ของช่วงวันที่ต้องการข้อมูล สมการที่ใช้คือสมการ Penman-Monteith ซึ่งเป็นสมการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

การคำนวณสมดุลน้ำในแปลงนา

การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าวของแต่ละพื้นที่ที่ศึกษานั้นได้แบ่งเป็น ส่วนของการเก็บข้อมูลจากการทำนาจากแปลงทดลองของ (วรวิทย์ และ หนึ่งฤทัย, 2556) และใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ การปลูกข้าวจริงของเกษตรกร ซึ่งปัจจัยที่นำมาคิดคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกคือ การคายระเหยของพืช (evapotranspiration) น้ำท่าผิวดิน (runoff) ปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงเขตรากพืช (percolation) และปริมาณการรั่วซึมในแนวราบหรือด้านข้าง (seepage) หากระดับน้ำในแปลงนาเท่ากับศูนย์จึงจะทำสมดุลน้ำในเขตรากพืช

การคำนวณค่าอัตราการฟุดปรินท์

คำนวณหาค่าอัตราการฟุดปรินท์ ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยการสร้างแบบจำลองการใช้น้ำ สมดุลน้ำ และการหาอัตราการฟุดปรินท์ โดยใช้ค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาใส่ในโปรแกรม Microsoft Excel โดยจะได้ค่าอัตราการฟุดปรินท์ทั้งหมดในพืช ซึ่งคำนวณจากผลรวมของอัตราการฟุดปรินท์ เป็นปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน กรีนอัตราการฟุดปรินท์ เป็นปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝน และเกรยอัตราการฟุดปรินท์ เป็นปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยแต่ละประเภทจะพิจารณาการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน

การใช้แบบจำลองที่สร้างด้วย Microsoft Excel ประเภทของดินดูจากสัดส่วนการกระจายตัวของอนุภาคดิน (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2546) สำหรับการหาความชื้นในดินทั้งหมดที่ใช้การได้ (total available soil moisture, มม./ม.) และสำหรับตัวแปรอื่นๆ ได้ใช้ข้อมูลจาก FAO. No.56 ค่าความยาวรากพืชมากที่สุด (maximum rooting depth, ซม.) เท่ากับ 50 ซม. (FAO. No.56 pp. 164) อัตราน้ำฝนที่ซึมลงสู่ดินสูงสุด (maximum rain infiltration rate, มม./วัน) เท่ากับ 2.77 มม./วัน (คู่มือปฏิบัติงาน ด้านจัดสรรน้ำ, 2554) ค่าเริ่มต้นการซึมลึกในดิน (initial soil moisture depletion, %) เท่ากับ 0%

ผลและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

การศึกษานี้ได้ทำการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าว โดยเทียบการศึกษาใน 2 พื้นที่ คือพื้นที่แปลงทดลองโดยการนำข้อมูลผลการศึกษาที่ได้ทดลองในแปลงนาจริง ของสถานีทดลอง การบริหารจัดการน้ำด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ (วรวุฒิ และ หนึ่งฤทัย, 2556) ตำบลบางตลาด อำเภอ ปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี และพื้นที่นาจริง จากการสัมภาษณ์ชาวนามืออาชีพ พื้นที่ตำบลนางสี อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งได้มีการเก็บตัวอย่างดินของพื้นที่นา มาทดสอบเพื่อนำมาวิเคราะห์ ในการหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ได้ผลดังตาราง ที่ 2 ซึ่งทำให้ทราบว่า ดินของพื้นที่นาจริงนั้น ไม่เหมือนกันคือ พื้นที่นาดำเป็นดินร่วนทราย ส่วนพื้นที่นาเปียกสลับแห้ง นั้นเป็นดินร่วนเหนียว ซึ่งผลทดสอบได้ค่าดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงคุณสมบัติของดิน

(1)

ตัวอย่าง ที่	รายละเอียด การเก็บตัวอย่าง		Particle Size			Gravel	Text.	Percolation			Mositure Retention %			Avail.	Setting
	ดิน		(Hydrometer)			> 2	Class.							Moistrue	Vol.
						mm.	Lab.	6 hr.	Near						
	ความลึก หลุม	ความลึก	Sand	Silt	Clay			Flow	Uniform	Instability	1 / 10	1 / 3	15	% to	SV.
		ซม.	%	%	% < 2 p	%	Hyd.	F (6) cm/hr.	Flow (Fu) cm/hr.	Index (IX)	Tension in bars			15 bars	ml.
1011	-	-	62.0	20.0	18.0	<5	SL ⁺	0.69	0.61	9.9	-	13.3	6.7	6.6	-
1012	-	-	36.0	32.0	32.0	<5	CL	0.25	0.22	10	-	24.6	13.1	11.5	-

ตารางที่ 2 (ต่อ)

(2)

ตัวอย่าง ที่	pH Water		Sat.	CEC	Ca (OH) ₂					Satruation Extract meq / I										SAR	
			Sat	Extract	SH ₄	ESP	Organic	Avail. P	Total	titration											
	Elect.		Cound.	Extract	NH ₄	Mater	(Bray II)	Extract. K	meq Ca /												
									100 g.												
	Paste	1 :	5			meq /			to	to											
			SP.	EC x 10 ³	100 g.	Extract	%	ppm.	ppm.	6.0	7.0	Na	Mg	Ca	K	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl		
1011	6.5	-	40.5	0.63	14	6.1	1.7	24	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
1012	6.3	-	57.8	0.85	23	6.5	2.4	17	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน (2557)

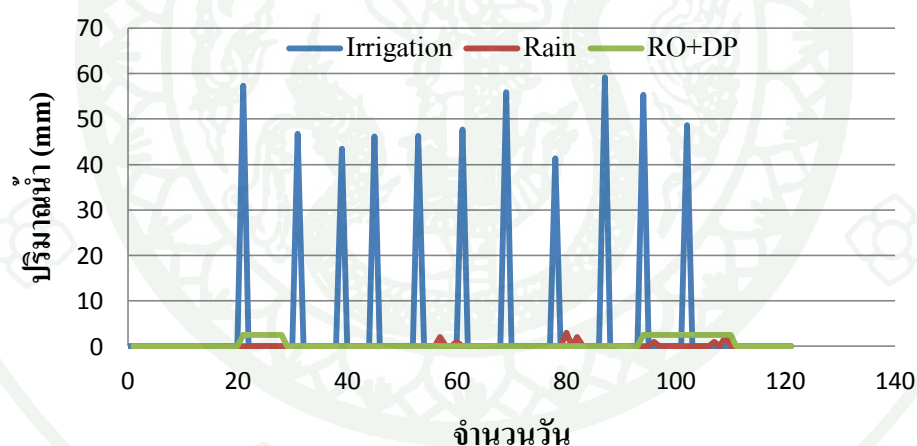
ตารางที่ 3 ตารางสรุปข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา

	แปลงทดลอง		แปลงจริง	
	นาดำ	นาเปียกสลับแห้ง	นาดำ	นาเปียกสลับแห้ง
ชนิดดิน	ดินร่วนเหนียว (CL)	ดินร่วนเหนียว (CL)	ดินร่วนทราย (SL)	ดินร่วนเหนียว (CL)
พันธุ์ข้าว	กข.31	กข.31	กข.31	กข.31
การปลูก	นาดำ	นาดำ	นาดำ	นาดำ
สูตรปุ๋ยครั้งที่ 1	16-20-00	16-20-00	46-00-00	46-00-00
สูตรปุ๋ยครั้งที่ 2	16-16-16	16-16-16	16-20-00	16-20-00
สูตรปุ๋ยครั้งที่ 3	16-16-16	16-16-16	16-20-00	16-20-00
ปริมาณปุ๋ย (กิโลกรัม/ไร่)	48	48	50	50
การเติมน้ำในแปลงนา (ครั้ง)	11	8	12	9
ระยะเวลา	124	124	119	119
ผลผลิต (ton/km ²)	433.2	482.725	593.75	687.5

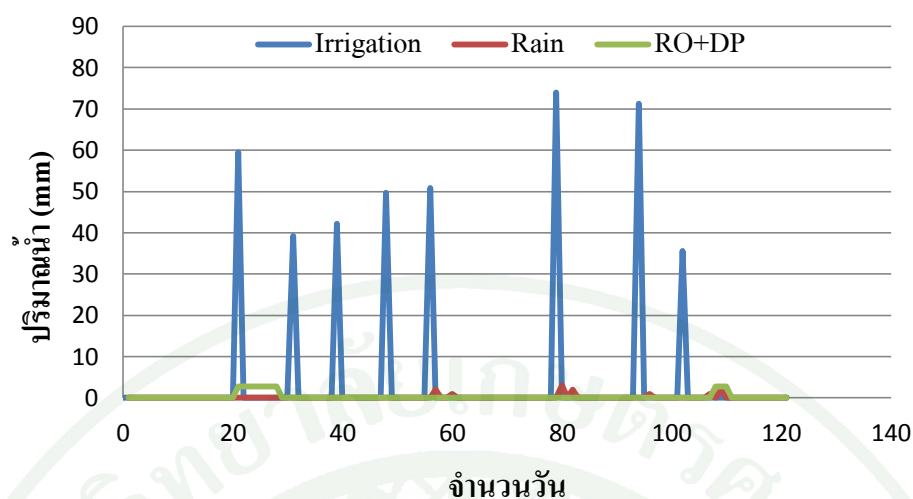
จากตารางที่ 3 แสดงตารางสรุปข้อมูลของพื้นที่ศึกษาจะเห็นได้ว่า กรณีพื้นที่นาของแปลงทดลอง ข้อมูลการปลูกข้าวนั้นเหมือนกันมาก ลักษณะของดินที่ใช้ปลูกเหมือนกัน เนื่องจากเป็นพื้นที่เดียวกัน ดินที่ใช้จึงเป็นดินชนิดเดียวกัน พันธุ์ข้าวที่ใช้เป็นพันธุ์เดียวกัน เป็นการปลูกข้าวแบบนาดำทั้ง 2 แปลง ปุ๋ยที่ใช้ก็สูตรเดียวกัน และให้ในปริมาณที่เท่ากันด้วย ระยะเวลาการปลูกก็เช่นกัน ใช้ระยะเวลา 124 วันเท่ากัน แต่การเติมน้ำในแปลงนานั้นจะต่างกัน นาดำจะเติมน้ำบ่อยกว่านาเปียกสลับแห้ง ถึง 3 ครั้ง เนื่องจากพื้นที่นาดำต้องเติมน้ำตลอดห้ามปล่อยให้แห้งในแปลงนาแห้งกว่าพื้นดิน ส่วนแปลงนาเปียกสลับแห้งจะมีการปล่อยให้แห้งในแปลงนาแห้งกว่าพื้นดินจำนวน 2 ครั้ง เพื่อแกล้งข้าว ซึ่งจากข้อมูลพื้นฐานการปลูกข้าวกรณีพื้นที่ของแปลงนาจริงก็เหมือนกัน แต่แปลงนาจริง ดินที่ใช้ปลูกทั้ง 2 แปลงนั้นต่างกัน คือพื้นที่นาดำเป็นดินทรายร่วน ส่วนพื้นที่นาเปียกสลับแห้งเป็นดินทรายเหนียวส่วนข้อมูลพื้นฐานอื่นๆก็มีลักษณะเหมือนกันคือ พันธุ์ข้าวชนิดเดียวกัน เป็นการปลูกแบบนาดำเหมือนกัน ปุ๋ยที่ใช้สูตรเดียวกันและใส่ในปริมาณที่เท่ากัน ระยะเวลาที่ใช้ในการปลูกก็เท่ากัน แต่การเติมน้ำในแปลงนาต่างกัน คือแปลงนาดำจะมีการเติมน้ำในแปลงนาบ่อยกว่านาเปียกสลับแห้ง 3 ครั้ง ซึ่งเหมือนกับพื้นที่แปลงทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลผลิตที่ได้ ไม่ว่าจะเป็นกรณีแปลงทดลอง หรือกรณีแปลงจริงนั้น นาเปียกสลับแห้งจะให้ผลผลิตที่ดีกว่าแปลงนาจริง ทั้งที่ข้อมูลพื้นฐานการปลูกนั้นคล้ายกัน แต่แปลงนาจริงนั้นให้น้ำบ่อยกว่านาเปียกสลับแห้ง

ผลการวิเคราะห์สมดุลน้ำ

จากการศึกษาเราได้แบ่งกรณีศึกษาเป็นสองกรณีได้แก่ การปลูกข้าวในแปลงทดลอง และในแปลงนาจริง ซึ่งแต่ละกรณีก็จะแยกเป็นการปลูกข้าวแบบนาดำ และการปลูกข้าวแบบนาเปียกสลับแห้งอีกด้วย ซึ่งจากการวิเคราะห์สมดุลน้ำจะพบว่าพฤติกรรมการใช้น้ำในการเพาะปลูกดังในภาพที่ 11 นั้น ใช้น้ำชลประทานสูงมาก เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณฝนตกลงมาชว่นน้อยมาก และมีการปล่อยน้ำออกน้อยมาก เนื่องจากต้องรักษาระดับน้ำในแปลงนาให้พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าว ส่วนในภาพที่ 12 แสดงสมดุลของน้ำในนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงทดลองพบว่าการใช้น้ำชลประทานสูงมากเช่นกัน ปริมาณฝนตกลงมาชว่นน้อย และการปล่อยน้ำออกจากแปลงนาก็น้อยเช่นกัน และการเติมน้ำแต่ละครั้งนั้นก็ไม่ได้เท่ากันเนื่องจากต้องรักษาระดับน้ำในแปลงนาให้พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าว และมีการแก้งข้าวให้ขาดน้ำอีก 2 ช่วงเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นข้าว

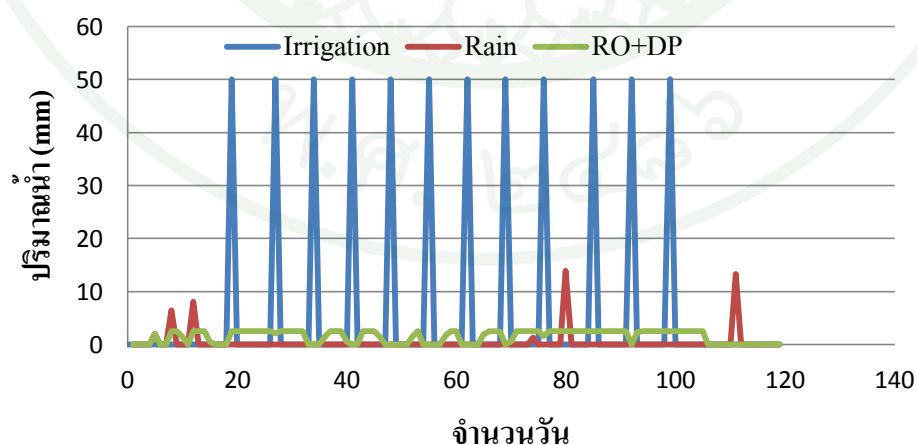


ภาพที่ 11 แสดงสมดุลน้ำในแปลงนาดำ ของแปลงทดลอง

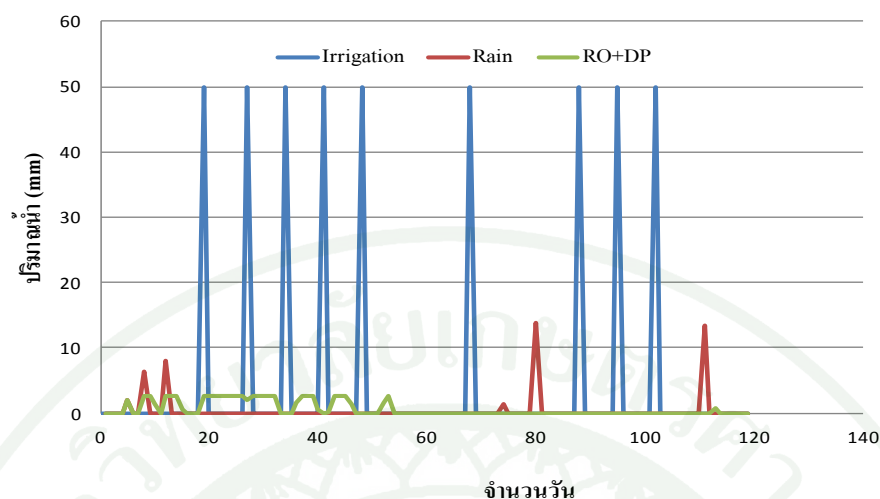


ภาพที่ 12 แสดงสมมูลน้ำในแปลงนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงทดลอง

กรณีการปลูกข้าวในแปลงนาจริง จากการวิเคราะห์สมมูลน้ำจะพบว่าพฤติกรรมการใช้น้ำในการเพาะปลูกดังในภาพที่ 13 นั้น มีการใช้น้ำชลประทานสูงมาก เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณฝนตกลงมาช่วยน้อยมาก และมีการปล่อยน้ำออกในปริมาณที่ใกล้เคียงกันตลอดการเพาะปลูก เนื่องจากต้องรักษาระดับน้ำในแปลงนาส่วนในภาพที่ 14 แสดงสมมูลของน้ำในนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงนาจริงพบว่าการใช้น้ำชลประทานสูงมากเช่นกัน ปริมาณฝนตกลงมาช่วยน้อย และการปล่อยน้ำออกจากแปลงนาก็น้อยเช่นกันแต่จะปล่อยแค่ช่วงแรกของการเพาะปลูก และเติมในปริมาณที่เท่ากัน และมีการแกล้งข้าวให้ขาดน้ำอีก 2 ช่วงเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นข้าว

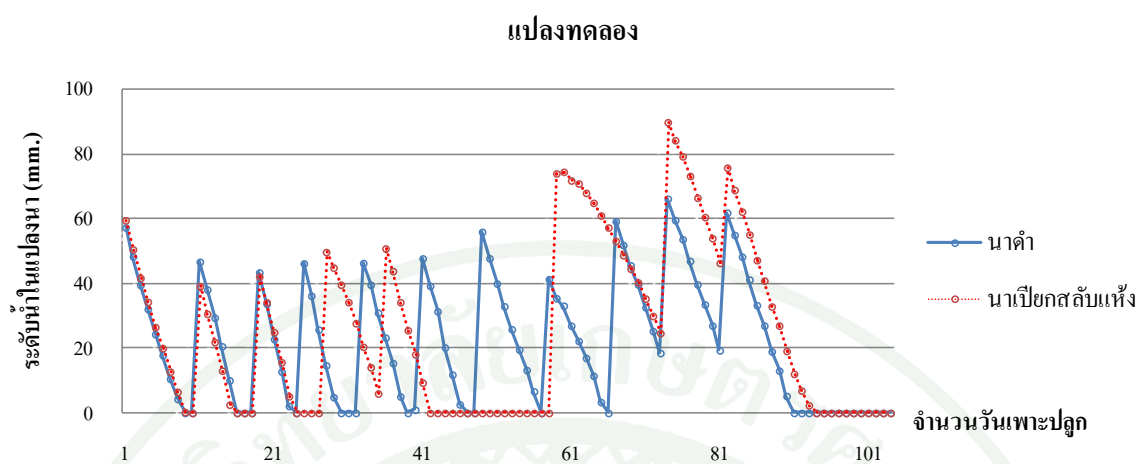


ภาพที่ 13 แสดงสมมูลน้ำในแปลงนาดำ ของแปลงนาจริง

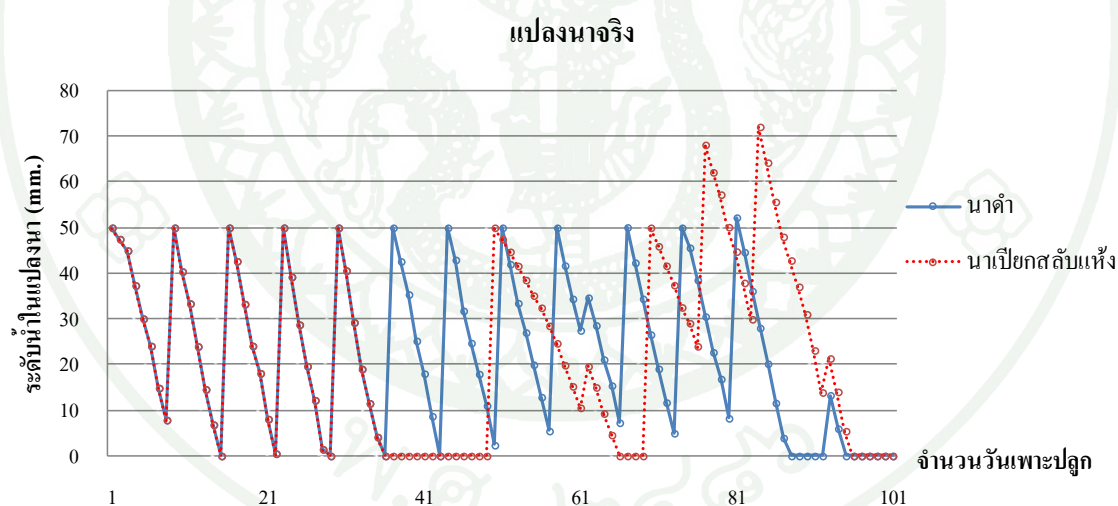


ภาพที่ 14 แสดงสมดุลของน้ำในแปลงนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงนาจริง

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้น้ำในการเพาะปลูกข้าวของพื้นที่นาทั้ง 2 พื้นที่ นั้น คล้ายคลึงกัน คือการให้น้ำของแปลงทดลอง นาได้มีการเติมน้ำ 11 ครั้ง ของนาเปียกสลับแห้ง มีการเติมน้ำ 8 ครั้ง ส่วนการให้น้ำของแปลงนาจริง นาได้มีการเติมน้ำ 12 ครั้ง ของนาเปียกสลับแห้งมีการเติมน้ำ 9 ครั้ง ดังในภาพที่ 15 และภาพที่ 16 จะเห็นได้ว่าการปลูกข้าวแบบนาดำ มีการให้น้ำน้อยกว่านาเปียกสลับแห้งทั้ง 2 กรณี นาได้มีการให้น้ำตามช่วงเวลาการเจริญเติบโตของพืช โดยการให้น้ำแต่ละครั้งก็จะต่างกันเพราะเนื่องจากมีน้ำต้นทุนเดิมอยู่ในแปลงนา และเพื่อรักษาระดับน้ำให้พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าว ส่วนในการเพาะปลูกข้าวนาเปียกสลับแห้งนั้นมีการปล่อยแปลงเพาะปลูกให้แห้งเพื่อแกล้งข้าว กระตุ้นให้ต้นข้าวแข็งแรง โดยการคิดคำนวณปริมาณน้ำชลประทาน , Runoff และ ค่า Percolation เป็นค่าทางทฤษฎี ตามเงื่อนไขความลึกของน้ำในแปลงนาที่ได้กำหนด โดยทั้งหมดได้คำนวณปริมาณน้ำเป็นรายวันตามหลักการสมดุลน้ำในแปลงนาและสมดุลน้ำในเขตรากพืชจึงได้กล่าวข้างต้น

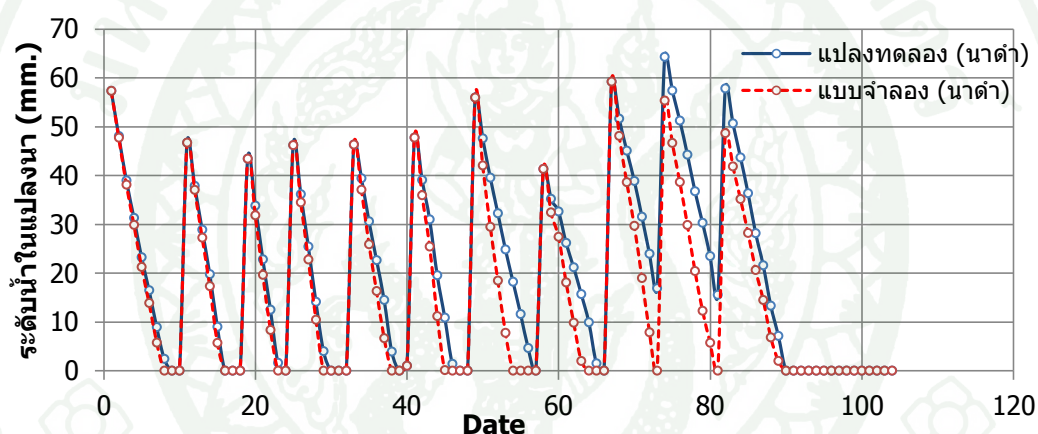


ภาพที่ 15 เปรียบเทียบระดับน้ำรายวันของแปลงทดลองกรณีนาคำเทียบกับนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงทดลอง โดยวันเริ่มจากการปักดำ

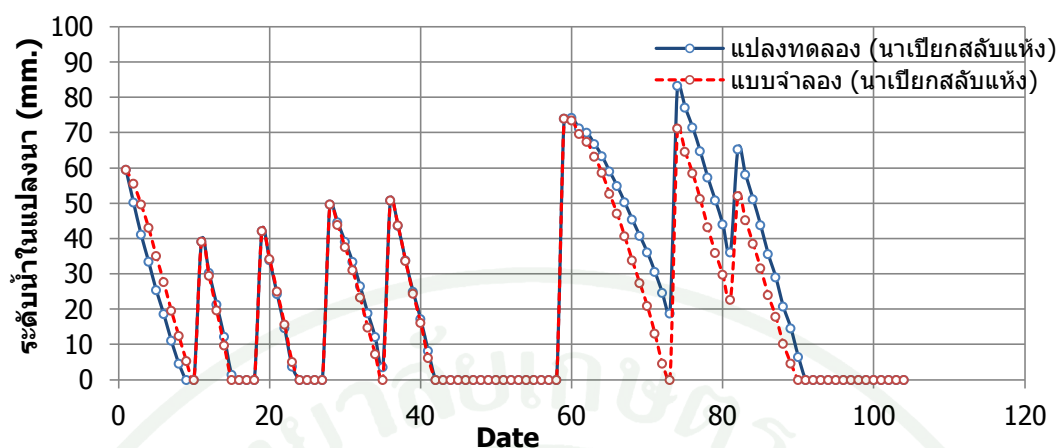


ภาพที่ 16 เปรียบเทียบระดับน้ำรายวันของแปลงทดลองกรณีนาคำเทียบกับนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงนาจริง โดยวันเริ่มจากการปักดำ

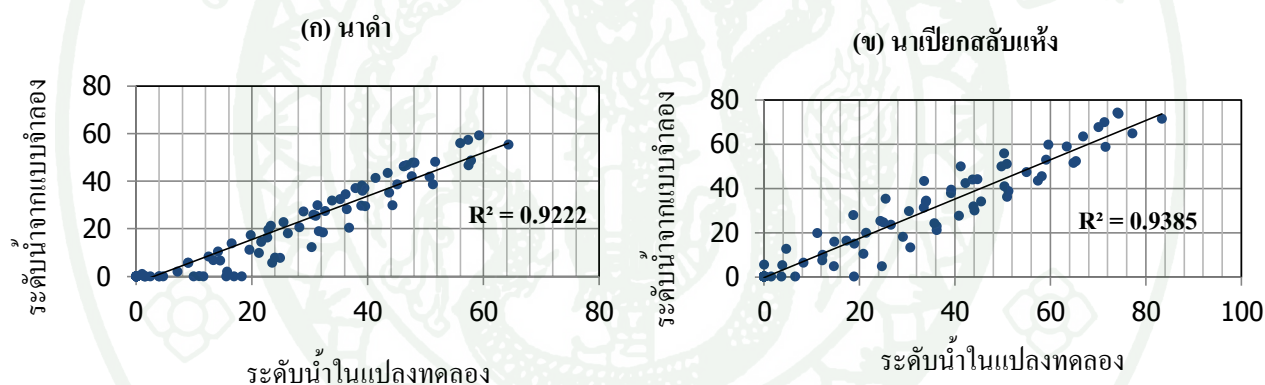
จากผลงานการประชุมวิชาการด้านชลประทานและการระบายน้ำแห่งชาติครั้งที่ 9 วันที่ 18 มิถุนายน 2557 ได้ศึกษาค่าอัตราการพุทปรินท์ของการปลูกข้าวแบบนาเปียกสลับแห้ง (ณรงค์ศักดิ์, 2557) ได้วิเคราะห์ พฤติกรรมการใช้น้ำในการปลูกข้าวไว้ โดยใช้แบบจำลองที่สร้างด้วย Microsoft Excel ในการหาค่าอัตราการพุทปรินท์โดยปรับค่า Maximum rain infiltration rate เท่ากับ 3.5 mm. ซึ่งได้ค่าที่ดีที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาปัจจุบันใช้ค่า Maximum rain infiltration rate เท่ากับ 2.77 mm. จากคู่มือปฏิบัติงาน ด้านจัดสรรน้ำ (2554) จะเห็นว่าค่า Efficiency Index (ประสิทธิภาพโดยรวมของแบบจำลอง) ของกรณีนาข้าว เท่ากับ 0.8666 ของกรณีนาเปียกสลับแห้งเท่ากับ 0.9219 และค่า R – square เท่ากับ 0.9222 และ 0.9385 ตามลำดับ ดังภาพที่ 19 ทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองเป็นค่าที่น่าเชื่อถือ



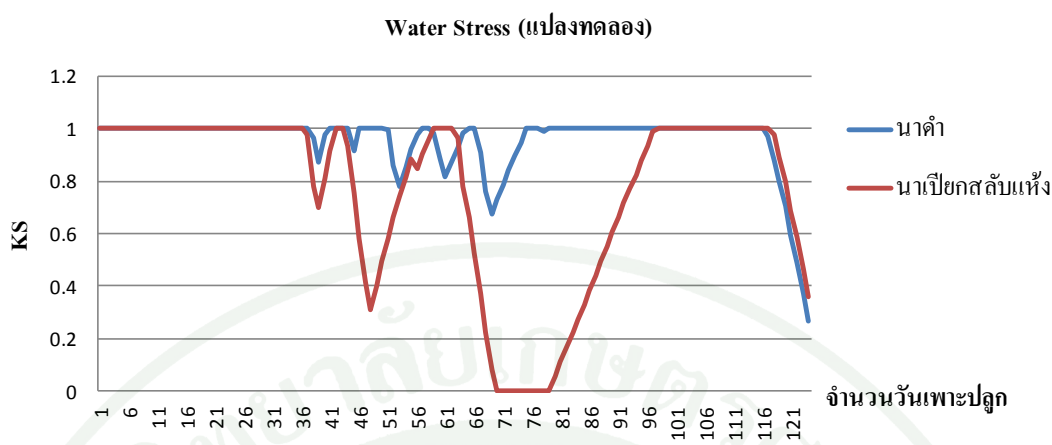
ภาพที่ 17 เปรียบเทียบระดับน้ำรายวันกรณีนาข้าวของแปลงทดลองเทียบกับผลจากแบบจำลองที่เคยได้ศึกษาไว้ (ณรงค์ศักดิ์, 2557) โดยวันเริ่มจากการปักดำ



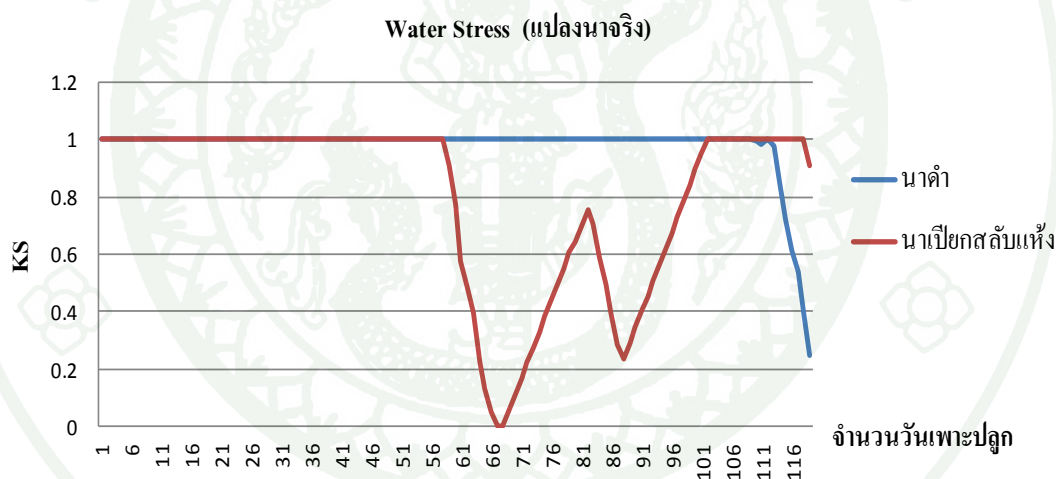
ภาพที่ 18 เปรียบเทียบระดับน้ำรายวันกรณีนาเปียกสลับแห้งของแปลงทดลองเทียบกับผลจากแบบจำลองที่เคยได้ศึกษาไว้ (ณรงค์ศักดิ์, 2557) โดยวันเริ่มจากการปักดำ



ภาพที่ 19 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำในแปลงนารายวันของแบบจำลอง โดยใช้ค่า Maximum rain infiltration rate เท่ากับ 3.5 mm. ผลจากแบบจำลอง (ณรงค์ศักดิ์, 2557) และ 2.77 mm. คู่มือปฏิบัติงาน ด้านจัดสรรน้ำ (2554) โดย (ก) กรณีนาดำ และ (ข) กรณีนาเปียกสลับแห้ง



ภาพที่ 20 เปรียบเทียบความเครียดน้ำที่เกิดขึ้นของแปลงทดลองกรณีนาดำเทียบกับนาเปียกสลับแห้ง



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบความเครียดน้ำที่เกิดขึ้นของแปลงนาจริงกรณีนาดำเทียบกับนาเปียกสลับแห้ง

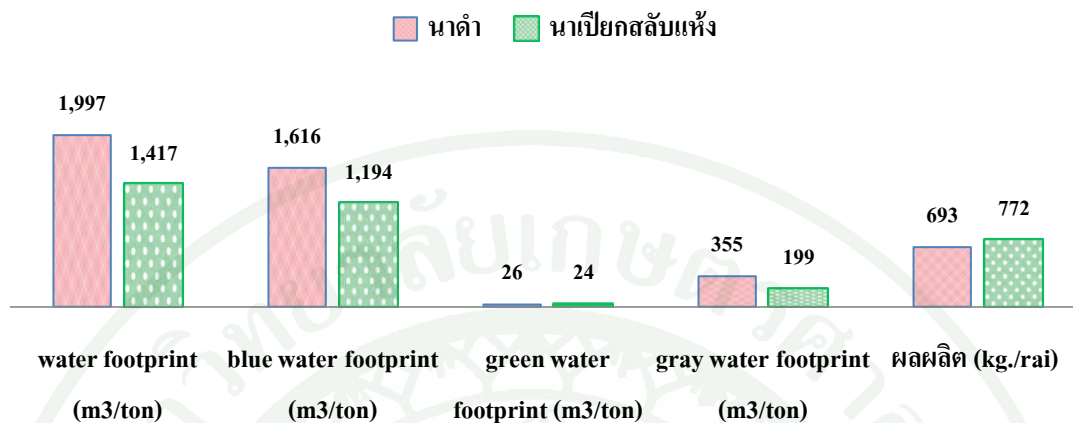
จากภาพที่ 20 และ ภาพที่ 21 จะพบการเกิด Water Stress (ความเครียดน้ำ) ในแปลงนาเนื่องจากการพืชได้รับน้ำไม่เพียงพอ ซึ่งจากทั้งสองภาพ จะเห็นได้ว่านาดำเกิดความเครียดน้อยกว่านาเปียกสลับแห้ง เนื่องจากการเติมน้ำอยู่ตลอดช่วงการเจริญเติบโตของข้าว ยกเว้นช่วงสุดท้ายของการปลูกข้าวที่จะมีการปล่อยให้น้ำแห้งเพื่อเตรียมเก็บเกี่ยวทำให้เกิดสภาวะความเครียดน้ำทำการ

เพาะปลูก ส่วนนาเปียกสลับแห้งมีการปล่อยให้น้ำในแปลงนาแห้งถึง 2 ครั้ง เพื่อแก้งข้าวในช่วงการเพาะปลูก ทำให้เกิดความเครียดน้ำสูง

ผลการวิเคราะห์ห่อเตอร์ฟูตปรินท์

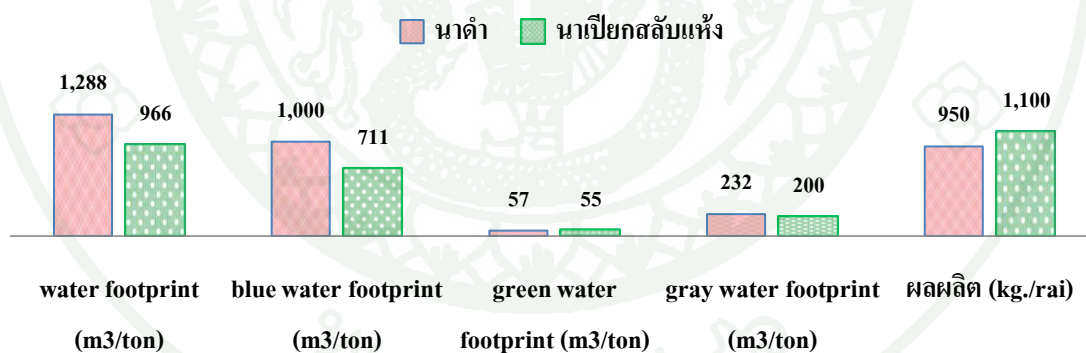
ผลการศึกษาการหาค่าห่อเตอร์ฟูตปรินท์ของการปลูกข้าว พบว่าค่าห่อเตอร์ฟูตปรินท์ของการปลูกข้าวแบบนาดำจะมีค่ามากกว่าของนาเปียกสลับแห้ง ทั้ง 2 กรณี คือ ของแปลงทดลองเท่ากับ $1,996.7 \text{ m}^3/\text{ton}$ และ $1,417.1 \text{ m}^3/\text{ton}$ ของแปลงนาจริง เท่ากับ $1,288.4 \text{ m}^3/\text{ton}$ และ $965.8 \text{ m}^3/\text{ton}$ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าข้อมูลพื้นฐานของการปลูกข้าวทั้ง 2 พื้นที่นั้นคล้ายคลึงกัน แต่ค่าห่อเตอร์ฟูตปรินท์ของ 2 พื้นที่นั้นต่างกันเยอะทีเดียวเนื่องจากผลผลิตของแปลงนาจริงนั้นดีกว่ามาก ทำให้ค่าห่อเตอร์ฟูตปรินท์ของแปลงนาจริงเยอะกว่าของแปลงนาทดลองด้วย ส่วนค่าห่อเตอร์ฟูตปรินท์การปลูกข้าวแบบนาดำจะมีค่ามากกว่าของนาเปียกสลับแห้ง ทั้ง 2 กรณีเช่นกัน คือของแปลงทดลองเท่ากับ $1,616.3 \text{ m}^3/\text{ton}$ และ $1,193.9 \text{ m}^3/\text{ton}$ ของแปลงนาจริง เท่ากับ $1,000.4 \text{ m}^3/\text{ton}$ และ $711.3 \text{ m}^3/\text{ton}$ ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าห่อเตอร์ฟูตปรินท์ของนาดำกับนาเปียกสลับแห้งจะต่างกันมาก เนื่องจากนาดำมีการให้น้ำบ่อยครั้งกว่า และไม่ปล่อยให้แปลงนาแห้ง ส่วนนาเปียกสลับแห้งมีการแก้งข้าวโดยการปล่อยแปลงนาให้แห้งถึง 2 ครั้ง ส่วนกรีนวอเตอร์ฟูตปรินท์ของแปลงทดลองของนาดำ และนาเปียกสลับแห้ง มีค่าเท่ากับ $25.8 \text{ m}^3/\text{ton}$ และ $24.4 \text{ m}^3/\text{ton}$ ของแปลงนาจริงมีค่าเท่ากับ $56.4 \text{ m}^3/\text{ton}$ และ $54.5 \text{ m}^3/\text{ton}$ ตามลำดับ จะเห็นว่าค่ากรีนวอเตอร์ฟูตปรินท์ไม่ต่างกันมาก เนื่องจากอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ปริมาณฝนในพื้นที่จึงใกล้เคียงกันด้วย ส่วนค่าเกรย์วอเตอร์ฟูตปรินท์ของแปลงทดลอง นาดำเท่ากับ $354.6 \text{ m}^3/\text{ton}$ นาเปียกสลับแห้ง เท่ากับ $198.9 \text{ m}^3/\text{ton}$ ของแปลงนาจริง นาดำเท่ากับ $231.6 \text{ m}^3/\text{ton}$ นาเปียกสลับแห้งเท่ากับ $200 \text{ m}^3/\text{ton}$ และผลผลิตต่อไร่ ของแปลงทดลอง นาดำเท่ากับ $693.12 \text{ กิโลกรัม/ไร่}$ นาเปียกสลับแห้งเท่ากับ 772 กิโลกรัม/ไร่ ของแปลงนาจริง นาดำเท่ากับ 950 กิโลกรัม/ไร่ นาเปียกสลับแห้งเท่ากับ $1,100 \text{ กิโลกรัม/ไร่}$ จะเห็นว่าค่าเกรย์วอเตอร์ฟูตปรินท์ของนาดำจะมากกว่านาเปียกสลับแห้ง ทั้งที่มีการใส่ปุ๋ยปริมาณเท่ากันและสูตรเดียวกัน ทุกรอบของการปลูก แต่เนื่องจากการใส่ปุ๋ยในแปลงนาเปียกสลับแห้งส่วนใหญ่จะใส่ช่วงที่แปลงนาแห้ง แตะกระแหว ปุ๋ยจึงสามารถซึมลงดินได้มากกว่าเมื่อเทียบกับแปลงนาดำซึ่งมีน้ำขังอยู่ ทำให้การเจือจางของปุ๋ยแตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าเกรย์วอเตอร์ฟูตปรินท์ต่างกันด้วย และเนื่องจากรากพืชดูดซึมน้ำอาหารได้ง่ายขึ้นอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ต้นข้าวแข็งแรง และมีผลผลิตที่มากขึ้นได้

แปลงทดลอง

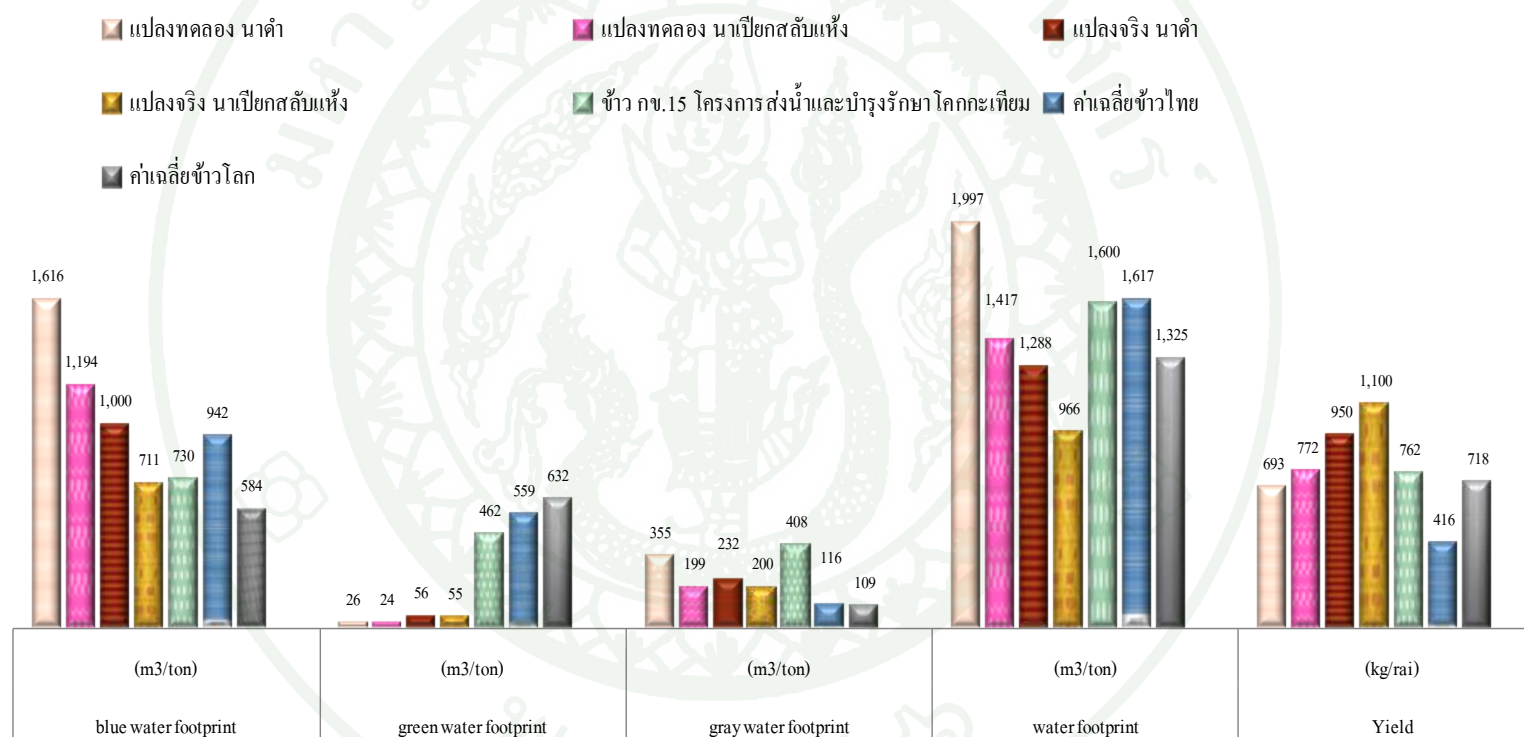


ภาพที่ 22 ผลการคำนวณเปรียบเทียบค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นน้ำดำ และนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงทดลอง

แปลงนาจริง



ภาพที่ 23 ผลการคำนวณเปรียบเทียบค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นน้ำดำ และนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงนาจริง



ภาพที่ 24 กราฟเปรียบเทียบค่าอัตรปุ๋ยปรี้นท์นาคำและนาเป็ยกสลับแห้งของแปลงทดลอง และแปลงนาจริง กับการศึกษาอื่น

จากภาพที่ 24 แสดงให้เห็นว่าค่าบวอเทอร์ฟุตปริ้นท์ กรีนวอเทอร์ฟุตปริ้นท์ และเกรย์วอเทอร์ฟุตปริ้นท์ของการศึกษาแต่ละที่นั้นต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง ไม่ว่าจะเป็นลักษณะของดิน การให้น้ำ ปริมาณฝนในพื้นที่ ปริมาณปุ๋ยและสูตรปุ๋ยที่ใช้ ซึ่งแต่ละพื้นที่นั้นใช้ไม่เหมือนกัน แต่ถ้าดูจากค่าวอเทอร์ฟุตปริ้นท์รวม ค่าวอเทอร์ฟุตปริ้นท์ของนาเปือกสลับแห้งของแปลงนาจริง จะน้อยกว่าการศึกษาอื่นตามมาด้วย นาค้าของแปลงนาจริง โลก แปลงนาเปือกสลับแห้งของแปลงทดลอง ข้าว กข.15 ของโครงการฯ โศกกะเทียม ค่าเฉลี่ยข้าวไทย และนาค้าของแปลงนาจริง ตามลำดับ แต่ถ้ามองถึงผลผลิต นาเปือกสลับแห้งของแปลงนาจริงกลับมีผลผลิตมากที่สุดทั้งที่ค่าวอเทอร์ฟุตปริ้นท์น้อยที่สุด ตามมาด้วยนาค้าของแปลงนาจริง นาเปือกสลับแห้งของแปลงทดลอง ข้าว กข.15 ของโครงการฯ โศกกะเทียม ค่าเฉลี่ยข้าวโลก แปลงนาค้าของแปลงทดลอง และค่าเฉลี่ยข้าวไทย ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การศึกษาวเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากการปลูกข้าว ซึ่งใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ชาวนาในเขตพื้นที่ตำบลนางลือ อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท มีพื้นที่นา 2 แปลงและได้ปลูกข้าวแบบนาค้าและแบบนาเปือกสลับแห้ง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้นั้นเกือบจะเท่ากันทั้งหมด จะต่างกันที่ ค่าสูบน้ำเข้านา และค่ายาคุม + ยาฆ่าแมลง นาค้าจะมีค่าใช้จ่ายมากกว่าเนื่องจากต้องสูบน้ำเข้าแปลงนาเยอะกว่าเพราะต้องรักษาระดับน้ำในแปลงนาอยู่ตลอด และต้องใช้ยาคุม + ยาฆ่าแมลงเยอะกว่า เนื่องจากมีศัตรูพืชมารบกวนมากกว่า รวมถึงผลผลิตก็น้อยกว่านาเปือกสลับแห้งด้วย ทำให้เห็นถึงต้นทุนที่ใช้ในการปลูกข้าว นาค้าใช้ต้นทุน 6,136.43 บาท/ไร่ นาเปือกสลับแห้งใช้ต้นทุน 5,932.17 บาท/ไร่ ส่วนผลผลิตนาค้าได้ 950 กิโลกรัม/ไร่ นาเปือกสลับแห้งได้ 1,100 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งราคาขายข้าวเปลือกนาค้าขายได้ 10,450 บาท/ไร่ นาเปือกสลับแห้งขายได้ 12,100 บาท/ไร่ ส่งผลให้นาค้ามีกำไร 4,313.57 บาท/ไร่ นาเปือกสลับแห้งมีกำไร 6,167.84 บาท/ไร่

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบราคาต้นทุนและกำไรของการปลูกข้าว แบบนาดำ และแบบนาเปียกสลับแห้ง ของแปลงนาจริง

ลำดับ ที่	รายละเอียด	พื้นที่ปลูกข้าวนาดำ				พื้นที่ปลูกข้าวนาเปียกสลับแห้ง			
		แรงงาน		ราคาต่อหน่วย		แรงงาน		ราคาต่อหน่วย	
		จำนวน	หน่วย	(บาท)	บาท/ไร่	จำนวน	หน่วย	(บาท)	บาท/ไร่
1	ไถดะ	1	คัน	200	200.00	1	คัน	200	200.00
2	ไถแปร+ทำเทือก	1	คัน	300	300.00	1	คัน	300	300.00
3	เมล็ดพันธุ์ (ปักดำ)	15	กก.	20	300.00	15	กก.	20	300.00
4	เพาะกล้า+ปักดำ	1	ไร่	1,200	1,200.00	1	ไร่	1,200	1,200.00
5	ค่าสูบน้ำ	17	ลิตร	29.79	506.43	13.5	ลิตร	29.79	402.17
6	ค่าชาคุม+ชาฆ่าแมลง	1	ไร่	400	400.00	1	ไร่	300	300.00
7	ค่าจ้างฉีดยา	1	ไร่	100	100.00	1	ไร่	100	100.00
8	ค่าปุ๋ยเคมี	1	ไร่	1,750	1,750.00	1	ไร่	1,750	1,750.00
9	ค่าจ้างหว่านปุ๋ย	1	ไร่	180	180.00	1	ไร่	180	180.00
10	ค่าจ้างกำจัดวัชพืช	1	ไร่	600	600.00	1	ไร่	600	600.00
11	จ้างเก็บเกี่ยว (เครื่อง)	1	ไร่	500	500.00	1	ไร่	500	500.00
12	ค่าขนข้าว	1	ตัน	100	100.00	1	ตัน	100	100.00
รวมต้นทุน (บาท/ไร่)					6,136.43				5,932.17
ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)					950.00				1,100.00
ราคาข้าวเปลือก (บาท/ตัน)					11,000.00				11,000.00

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลำดับ ที่	รายละเอียด	พื้นที่ปลูกข้าวนาดำ			พื้นที่ปลูกข้าวนาเปียกสลับแห้ง		
		แรงงาน		ราคารวมนาดำ บาท/ไร่	แรงงาน		ราคารวมนาเปียกสลับแห้ง บาท/ไร่
		จำนวน	หน่วย		จำนวน	หน่วย	
	ราคาขายข้าวเปลือก (บาท/ไร่)		(บาท)	10,450.00		(บาท)	12,100.00
	กำไร (บาท/ไร่)			4,313.57			6,167.84

หมายเหตุ : เป็นข้อมูลปี 2555 – 2556 มีการจำหน่าย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษานี้ได้ทำการคำนวณหาค่าอัตราการฟูโตปรินท์ของข้าว เปรียบเทียบการปลูกข้าวแบบนาดำ และนาเปียกสลับแห้ง ซึ่งผลผลิตที่ได้นาเปียกสลับแห้งจะดีกว่านาดำทั้งกรณีแปลงทดลอง และกรณีแปลงนาจริง กรณีแปลงทดลอง นาดำมีผลผลิต 433.2 ตัน/ไร่ นาเปียกสลับแห้งมีผลผลิต 482.725 ตัน/ไร่ กรณีแปลงนาจริง นาดำมีผลผลิต 593.75 ตัน/ไร่ นาเปียกสลับแห้งมีผลผลิต 687.5 ตัน/ไร่ จากผลผลิตที่ต่างกันมากมีผลมาจากการให้น้ำในแปลงนา แปลงนาดำจะมีการให้น้ำน้อยกว่าแปลงนาเปียกสลับแห้งถึง 3 ครั้ง ทั้ง 2 กรณี กรณีนาเปียกสลับแห้งมีการปล่อยให้แปลงนาแห้งในช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อเกลี่ยข้าว กระตุ้นให้รากออกหาอาหาร ส่งผลทำให้ต้นข้าวแข็งแรงและมีผลผลิตที่สูงขึ้น ส่วนนาดำจะปล่อยให้น้ำขังอยู่ตลอดทำให้ มีวัชพืชในแปลงนาเพิ่มมากขึ้น ต้นข้าวไม่แข็งแรง และทำให้ผลผลิตต่ำกว่านาเปียกสลับแห้ง

สรุปสมมูลน้ำ

การใช้น้ำในการปลูกข้าว พบว่าหลักๆน้ำที่ใช้ได้จากน้ำชลประทาน เนื่องจากช่วงฤดูเพาะปลูกข้าวมีฝนน้อย ทำให้ต้องใช้น้ำชลประทานมาก ซึ่งปริมาณฝนที่ใช้ทั้งแปลงทดลองและแปลงนาจริงนั้นจะต่างกัน ซึ่งอยู่คนละเขตพื้นที่ ค่าการปล่อยน้ำนั้นไม่มีการปล่อยน้ำเลย เนื่องจากปล่อยให้ปริมาณน้ำนั้นลดลงเองตามธรรมชาติ ส่วนค่าการรั่วซึมนั้นจะต่างกันมาก จะมีผลจากชนิดของดิน ซึ่งแปลงนาของนาจริงนั้น ดินที่ปลูกเป็นดินร่วนทราย ส่วนในแปลงอื่นดินที่ใช้เป็นดินร่วนเหนียว ซึ่งดินร่วนทรายจะมีค่าอัตราการซึมที่สูงกว่า ค่าการปล่อยน้ำรวมกับค่าการรั่วซึม จึงสูงกว่าแปลงอื่นๆ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าการใช้น้ำของการปลูกข้าว

พารามิเตอร์	แปลงทดลอง		แปลงจริง	
	น้ำคำ	นาเปียกสลับแห้ง	น้ำคำ	นาเปียกสลับแห้ง
Rain (mm)	12	12	45	45
Irrigation (mm)	548	422	600	450
Runoff (mm)	0	0	0	0
Deep percolation (mm)	67	31	176	77

สรุปอวอเตอร์ฟูตปรินท์

พบว่าค่าอวอเตอร์ฟูตปรินท์ของนาดีมากกว่าของนาเปือกสลับแห้งทั้ง 2 กรณี ซึ่งมีค่าดังนี้ กรณีแปลงทดลอง ค่าอวอเตอร์ฟูตปรินท์ ของนาดีเท่ากับ 1,626.6 ลบ.ม./ตัน นาเปือกสลับแห้ง เท่ากับ 1,193.7 ลบ.ม./ตันซึ่งนาดีมีค่ามากกว่าถึง 36% กรณีแปลงนาจริง ค่าอวอเตอร์ฟูตปรินท์ ของนาดีเท่ากับ 1,002 ลบ.ม./ตัน นาเปือกสลับแห้ง เท่ากับ 716.8 ลบ.ม./ตัน ซึ่งนาดีมีค่ามากกว่า 40% ส่วนผลผลิตนั้น นาดีจะมีค่าผลผลิตต่อไร่ น้อยกว่านาเปือกสลับแห้ง ทั้ง 2 กรณีคือ กรณีแปลงทดลอง ค่าผลผลิตต่อไร่ ของนาดีเท่ากับ 693.12 กก./ไร่ นาเปือกสลับแห้ง เท่ากับ 772 กก./ไร่ ซึ่งนาเปือกสลับแห้งมีค่ามากกว่า 11% กรณีแปลงนาจริง ค่าผลผลิตต่อไร่ ของนาดีเท่ากับ 950 กก./ไร่ นาเปือกสลับแห้งเท่ากับ 1,100 กก./ไร่ซึ่งนาเปือกสลับแห้งมีค่ามากกว่า 16%

จะเห็นได้ว่าค่าอวอเตอร์ฟูตปรินท์ของนาเปือกสลับแห้งนั้นน้อยกว่านาดี แต่ในทางกลับกัน ผลผลิตของนาเปือกสลับแห้งกลับมากกว่าของนาดี เช่นกันกับการศึกษาอื่น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ค่าอวอเตอร์ฟูตปรินท์มาก ไม่ได้ทำให้ผลผลิตของข้าวมากขึ้นตามไปด้วย แต่ผลผลิตที่ดีจะขึ้นอยู่กับ การให้น้ำที่เหมาะสมกับความต้องการของข้าว การกระตุ้นข้าวให้รากออกหาอาหารมากขึ้น ทำให้ รากยาวขึ้น หาอาหารได้ไกลขึ้น ลำต้นแข็งแรง การให้ปุ๋ยในลักษณะและเวลาที่เหมาะสม เช่นกันใส่ ปุ๋ยในขณะที่ดินแตกกระแหง แล้วเติมน้ำ ทำให้น้ำไปละลายปุ๋ยและทำให้ข้าวดูดซับอาหารได้ดีและ ง่ายขึ้นด้วย

สรุปการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าอัตรารุขปรินท์ของนาตำมากกว่านาเปือกสลับแห้ง ไม่
ว่าจะเป็นผลจากข้อมูลการศึกษาของแปลงทดลอง หรือข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกร ชาวนาที่
ทำนาจริง และนาเปือกสลับแห้งก็ได้ผลผลิตที่ดีกว่าด้วย เนื่องจากการให้น้ำที่เหมาะสมต่อการ
ต้องการน้ำของข้าว วิธีการใส่ปุ๋ยที่ทำให้ข้าวสามารถดูดซับได้ง่ายขึ้น และดีขึ้น นอกจากผลผลิตที่
ดีกว่าแล้วยังใช้ต้นทุนการผลิตน้อยกว่าด้วย ดังตารางที่ 6 จะเห็นว่าต้นทุนในการผลิตของนาตำ
เท่ากับ 6,136 บาท/ไร่ ของนาเปือกสลับแห้ง เท่ากับ 5,932 บาท/ไร่ ซึ่งนาตำต้นทุนสูงกว่า 3.44% แต่
กำไรของนาตำ เท่ากับ 4,314 บาท/ไร่ นาเปือกสลับแห้งเท่ากับ 6,168 บาท/ไร่ ซึ่งนาเปือกสลับแห้งมี
กำไรสูงกว่านาตำ 42.98% ทำให้เราสามารถเลือกวิธีการปลูกข้าว ที่เหมาะสมกับพื้นที่ ทั้งยังได้
ผลผลิตที่ดีกว่า การจัดการในแปลงนาง่ายกว่า ใช้ต้นทุนน้อยกว่า และยังได้กำไรมากกว่าอีกด้วย

ตารางที่ 6 แสดงราคาต้นทุนและกำไรของการผลิตข้าว

รายละเอียด	นาตำ	นาเปือกสลับแห้ง
ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)	950	1,100
รวมต้นทุน (บาท/ไร่)	6,136	5,932
ราคาขายข้าวเปลือก (บาท/ไร่)	10,450	12,100
กำไร (บาท/ไร่)	4,314	6,168

ตารางที่ 7 ตารางสรุปข้อดี – ข้อเสีย ของการปลูกข้าวแบบนาดำและแบบนาเปียกสลับแห้ง

	นาดำ	นาเปียกสลับแห้ง
ข้อดี	- ง่ายต่อการจัดการน้ำในแปลงนา - น้ำในแปลงนาช่วยคุมหญ้าได้	- ใช้น้ำน้อย - ลดปัญหานาห่ม - กำจัดวัชพืชได้ง่าย - ลดการใช้สารเคมี - ข้าวเจริญเติบโต มีคุณภาพ - ลดต้นทุนการผลิต
ข้อเสีย	- ความชื้นมาก เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยวัชพืช - ทำให้นาห่ม ยากต่อการกำจัดวัชพืช - ใช้น้ำเยอะ - ใช้สารเคมีเยอะ ทำลายระบบนิเวศน์ - ต้นทุนสูง	- การควบคุมน้ำในแปลงนาทำได้ยาก - พื้นนาแห้ง ทำให้วัชพืช เช่น หญ้า ทำลายต้นข้าวได้ง่าย - เนื่องจากเป็นเรื่องใหม่ ชาวนาจึงยังขาดความชำนาญ

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษานี้ได้เก็บข้อมูลของพื้นที่นำมาวิเคราะห์คำนวณ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้บางตัวเป็นค่ามาตรฐาน ในอนาคตควรมีการวัดค่าจริงจากพื้นที่ เพิ่มขึ้น
2. ข้อมูลพื้นที่ที่นำมาในการคำนวณวิเคราะห์นั้นน้อยเกินไป ควรมีการเก็บข้อมูลตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น
3. ค่าอัตราการซึมควรมีการวัดจริงในสนาม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คณะกรรมการโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. 2542. สารานุกรมไทย ฉบับกาญจนาภิเษก/คณะกรรมการโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว, : คำนวณการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาพืชศาสตร์. 2543. หลักการกลไกกรรม. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, สงขลา.

จินาธิปกรณ พงศ์กัญญ์ภาพ และ ชำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ศักดิ์ ชัยคงสถิตย์, อติชัย พรพรหมินทร์ และ สุรัชย์ ลิปิวัฒนาการ. 2557. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวแบบนาเปียกสลับแห้ง. การประชุมวิชาการด้านชลประทานและการระบายน้ำแห่งชาติ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ธีระพล ตั้งสมบุญ. 2549. การใช้น้ำของพืช. กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ. กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ

ธีระวัฒน์ ธรรมนิคม. 2555. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่ส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียมวิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรเทพ แก้วเชื้อ. 2556. การพัฒนารอยเท้าน้ำ (water footprint) ในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพฯ.

ลักขณา เจริญสุข. 2555. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ลักณาพร สิวีเสง. 2555. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมัน ณ โครงการปลูกปาล์มนิธิชัยพัฒนา - แม่ฟ้าหลวง จ.เพชรบุรี. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.

วรวิติ แหยมยินดี และ หนึ่งฤทัย กรองทอง. 2556. การศึกษาปริมาณการใช้น้ำในการปลูกข้าวแบบ นาเปียกสลับแห้ง. วิทยาลัยการชลประทาน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและการบริหารน้ำ กรมชลประทาน. 2551. ค่าสัมประสิทธิ์พืช 40 ชนิด (Cropcoefficient : Kc of Penman Monteith). กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

อนันตยา บุญฮวด. 2557. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง พื้นที่จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม

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

Chapagain, A.K. and A.Y.Hoekstra 2010a. **The Blue, Green and Grey Water Footprint of rice from production and consumption perspectives.** Ecological Economics. ,London.

Chapagain, A.K. and A.Y.Hoekstra 2010b. **The green, blue and grey water footprint of rice from both a production and consumption perspective: Value of water research report series no.40.** UNESCO-IHE

Hoekstra, A.Y., A.K.Chapagain, M.M. Aldaya and M.M.Mekonnen. 2009. **Water footprint manual: State of the art 2009**, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands. Available from: <http://www.waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf> [Accessed 10 March 2010]

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

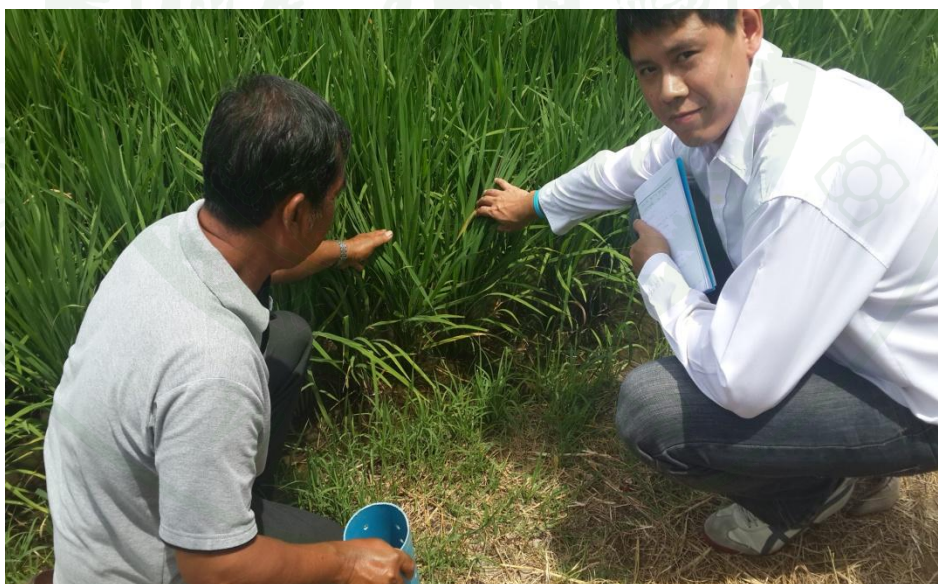
FAO. 2009b. **CROPWAT 8.0 Model**. Food and Agriculture Organization, Rome. Available from: http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html [Accessed 5 March 2010]

ETo calculator version 3.1. 2009. Available from: <http://www.fao.org/nr/water/eto.html>





ภาพผนวกที่ 1 แสดงการเก็บข้อมูล พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท



ภาพผนวกที่ 2 แสดงการเก็บข้อมูล พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท



ภาพผนวกที่ 3 การเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบ พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท



ภาพผนวกที่ 4 เก็บตัวอย่างดินข้าว พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท



ภาพผนวกที่ 5 แสดงการเก็บข้อมูล พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท



ภาพผนวกที่ 6 ตัวอย่างข้าวนาดำและนาเปียกสลับแห้ง พื้นที่นาจริง จังหวัดชัยนาท



ภาพผนวกที่ 7 พื้นที่นาจริง จังหวัดฉะเชิงเทรา



ภาพผนวกที่ 8 ขอบคุณ ลุงลำพอง ภู่วงษ์ ชาวนามืออาชีพ ผู้ให้ข้อมูล

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายณรงค์ศักดิ์ ชัยคงสถิตย์
เกิดวันที่ 12 มิถุนายน 2528
สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี
ประวัติการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน) วิทยาลัยการชลประทาน
 สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน วิศวกรชลโยธาปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน กลุ่มงานออกแบบเขื่อน 4 สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -
ทุนการศึกษาที่ได้รับ -