แบบจำลองการใช้น้ำเพื่อการจัดการน้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินร่วนเหนียว

นางสาวภัคพรรณ พานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการคณนา ภาควิชาคณิตศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WATER USAGE MODEL FOR WATER MANAGEMENT IN PLANTING SOYBEAN DURING VEGETATIVE STAGES IN CLAY LOAM SOIL TEXTURE

Miss Pakapun Panich

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Computational Science
Department of Mathematics
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองการใช้น้ำเพื่อการจัดการน้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินร่วนเหนียว
โดย	นางสาว ภัคพรรณ พานิช
สาขาวิชา	วิทยาการคณนา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ สุชาดา ศิริพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร. ชิดชนก เหลือสินทรัพย์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. คำรณ เมฆฉาย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ สุชาดา ศิริพันธุ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร. ชิดชนก เหลือสินทรัพย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. พูนพิภพ เกษมทรัพย์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภัคพรรณ พานิช : แบบจำลองการใช้น้ำเพื่อการจัดการน้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินร่วนเหนียว. (WATER USAGE MODEL FOR WATER MANAGEMENT IN PLANTING SOYBEAN DURING VEGETATIVE STAGES IN CLAY LOAM SOIL TEXTURE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. สุชาดา ศิริพันธุ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ศ. ดร. ชิดชนก เหลือสินทรัพย์, 53 หน้า.

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการเพาะปลูกพืช การลดลงของปริมาณน้ำในธรรมชาติเป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต การให้น้ำที่เหมาะสมเพื่อการเพาะปลูกพืชจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในด้านการจัดการ พืชแต่ละชนิดมีปริมาณการใช้น้ำที่ต่างกัน เราจึงต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่พืชต้องการ ซึ่งมีผลมาจากการคายน้ำ การสังเคราะห์แสง และการระเหยของน้ำจากดิน น้ำที่สูญเสียในรูปการระเหยนั้น เกิดจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม เป็นต้น วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชกับปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และพื้นที่ใบรวม โดยมีความผิดพลาดน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แบบจำลองสามารถอธิบายการให้น้ำแก่ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) และนำมาใช้ช่วยแก้ไขปัญหาการจัดการน้ำของถั่วเหลืองได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา คณิตศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต ภัคพรรณ พานิช
สาขาวิชา วิทยาการคณนา	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก สุชาดา ศิริพันธุ์
ปีการศึกษา 2552	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ช.ล.

4972430023 : MAJOR COMPUTATIONAL SCIENCE

KEYWORDS : WATER MANAGEMENT / SOYBEAN / *Glycine max* (L.) Merrill

PAKAPUN PANICH : WATER USAGE MODEL FOR WATER MANAGEMENT IN PLANTING SOYBEAN DURING VEGETATIVE STAGES IN CLAY LOAM SOIL TEXTURE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUCHADA SIRIPANT, THESIS CO-ADVISOR : PROF. CHIDCHANOK LURSINSAP, Ph.D., 53 pp.

Water is an important factor in planting. The decreasing amount of water in nature is one of the important problems in the future. Giving the appropriate amount of water for planting should be realized and managed. Watering different kind of plant are difference, we must concern about how much water plant needed according to transpiration and photosynthesis and also the evaporation of water from soils. The loss of water in evaporation and transpiration cause from many factors such as temperature, humidity, wind speed, etc. This thesis presents a mathematical model of the relationship between water usage and environmental factors which are air temperature, relative humidity, and total of soybean's leaf area under a relative error of less than 10 percent. The model can direct the amount of water given to soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and help the water management for soybean vegetation.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Mathematics	Student's Signature Pakapun Panich
Field of Study : Computational Science	Advisor's Signature S. Siripant
Academic Year : 2009	Co-Advisor's Signature C.L.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ สุชาดา ศิริพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และศาสตราจารย์ ดร. ชิดชนก เหลือสินทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย อีกทั้งยังให้ความช่วยเหลือตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนมีความสำเร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. คำรณ เมฆฉาย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์ และรองศาสตราจารย์ ดร. พูนพิภพ เกษมทรัพย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุน ทำให้การทำการทดลองเป็นไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในสาขาวิทยาการคณนา และ ในศูนย์วิจัย AVIC ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนกำลังใจ ทำให้การทำการวิจัยครั้งนี้ผ่านไปได้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบคุณพี่และญาติๆ ที่ให้กำลังใจเป็นอย่างดีมาตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..... 2

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

3 ทฤษฎีพื้นฐาน..... 5

3.1 ข้อมูลจำเพาะของถั่วเหลือง..... 5

3.2 เนื้อดิน..... 8

3.3 การคายระเหย..... 10

3.4 ปริมาณใช้น้ำของพืช..... 12

3.5 การวิเคราะห์การถดถอย..... 13

4 วิธีดำเนินการวิจัย..... 20

4.1 การออกแบบการทดลอง..... 20

4.2 การเก็บข้อมูล..... 21

4.3 การจำลองแบบ..... 22

บทที่	หน้า
5 ผลการวิจัย	29
5.1 แบบจำลองปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดิน	29
5.2 แบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้	30
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	34
6.1 สรุปผลการวิจัย	34
6.2 ข้อเสนอแนะ	35
รายการอ้างอิง	36
ภาคผนวก	38
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
ตารางที่ 3.1 ขั้นการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง..... 7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
รูปที่ 3.1	ลักษณะโครงสร้างของต้นถั่วเหลือง.....	6
รูปที่ 3.2	การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง.....	8
รูปที่ 3.3	ไดอะแกรมสามเหลี่ยมจำแนกประเภทของเนื้อดิน.....	9
รูปที่ 3.4	การคายระเหย.....	12
รูปที่ 3.5	ค่าความคลาดเคลื่อน $d(x_i)$ ที่จุด (x_i, y_i)	15
รูปที 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้.....	25
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้.....	26
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้.....	27
รูปที่ 5.1	กราฟแสดงค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 และค่าที่ได้จากแบบจำลองปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดินในแต่ละวัน.....	29
รูปที่ 5.2	กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดิน.....	30
รูปที่ 5.3	กราฟแสดงค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 และค่าที่ได้จากแบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ในแต่ละวัน.....	30
รูปที่ 5.4	กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองปริมาณน้ำที่ถั่วเหลืองใช้.....	31
รูปที่ 5.5	กราฟแสดงค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 และค่าที่ได้จากแบบจำลองการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองในแต่ละวัน.....	31
รูปที่ 5.6	กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 กับค่าที่ได้จากแบบจำลองปริมาณการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบ....	32
รูปที่ 5.7	กราฟแสดงค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 2 และค่าที่ได้จากแบบจำลองการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองในแต่ละวัน.....	33
รูปที่ 5.8	กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 2 กับค่าที่ได้จากแบบจำลองปริมาณการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบ....	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศชนิดหนึ่ง มีความต้องการของตลาดภายในประเทศสูง อีกทั้งยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ ประโยชน์ของถั่วเหลืองนอกจากใช้บริโภคแล้วยังสามารถใช้สำหรับเป็นพืชบำรุงดินได้ดี การเพาะปลูกและดูแลจัดการได้ง่าย สามารถเติบโตได้ในสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทย อีกทั้งยังเติบโตได้ในดินเกือบทุกชนิดที่มีการระบายน้ำได้ดี ทั้งดินร่วนปนทรายและดินเหนียวที่มีความอุดมสมบูรณ์พอควร น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเติบโตของถั่วเหลือง หากถั่วเหลืองได้รับน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการจะทำให้การเติบโตและการให้ผลผลิตของถั่วเหลืองลดลง [1] ดังนั้นการทราบปริมาณการใช้น้ำของถั่วเหลืองจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อการให้น้ำที่เพียงพอต่อความต้องการ ในทางกลับกัน หากให้น้ำแก่ถั่วเหลืองมากจนเกินไปจะเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรน้ำ อีกทั้งยังอาจทำให้ถั่วเหลืองเน่าตายในที่สุด การจัดการน้ำในกระบวนการปลูกถั่วเหลืองจึงเป็นทางออกที่ทำให้ปัญหาเหล่านี้ลดลงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชกับปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และพื้นที่ใบรวมของต้นถั่วเหลือง เพื่อนำไปใช้สำหรับการจัดการน้ำในพื้นที่ปลูก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พืชที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

2. ระยะเวลาในการปลูกถั่วเหลือง คือระยะเวลาตั้งแต่เริ่มปลูกจนกระทั่งสิ้นสุดระยะการเติบโตทางลำต้นและใบ

3. ปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินร่วนเหนียว

4. ปัจจัยที่นำมาศึกษาคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และพื้นที่ใบรวมของต้นถั่วเหลือง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้คือ แบบจำลองการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินร่วนเหนียว ซึ่งสามารถนำมาช่วยในด้านการจัดการน้ำของถั่วเหลืองในเขตพื้นที่ภาคกลาง

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ค้นคว้าเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลอง

2. ออกแบบการทดลองและทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลอง

3. สร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

4. ทดสอบแบบจำลองที่สร้าง

5. จัดทำเอกสารรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อพืชและการสร้างแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช ได้มีผู้วิจัยมาก่อนหน้านี้ สำหรับงานวิจัยที่จะกล่าวถึงนี้มีเอกสารและงานวิจัยทางพฤกษศาสตร์ที่ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อพืชและการใช้น้ำของพืชที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ในปี ค.ศ. 1983 Huck, Ishihara, Peterson และ Ushijima สังเกตการปรับตัวของต้นถั่วเหลือง เมื่อเกิดการขาดน้ำที่ช่วงระยะเวลาการเติบโต โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในดินทรายและได้รับน้ำจากน้ำฝนที่ตกลงมาตามธรรมชาติ กับถั่วเหลืองที่ได้รับน้ำเพิ่มจากการชลประทาน พบว่าถั่วเหลืองที่ได้รับน้ำฝนตามธรรมชาติจะมีระบบของยอดเล็ก และมีระบบของรากใหญ่กว่าถั่วเหลืองที่ได้รับการชลประทาน ปากใบของถั่วเหลืองที่ได้รับน้ำจากน้ำฝนที่ตกลงมาตามธรรมชาติเปิดเป็นช่วงเวลาสั้นกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับการชลประทาน เนื่องจากอัตราการเกาะกันของธาตุคาร์บอนน้อยลงทำให้ลดการเปิดของปากใบ ซึ่งเกิดขึ้นเวลาที่มีอุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ปริมาณแสงมีมาก และมีการขาดน้ำ [2]

ในปี ค.ศ. 2000 Saylan ได้คำนวณการคายระเหยของถั่วเหลืองในช่วงการเติบโต 3 ช่วง คือ ช่วงตั้งแต่เริ่มปลูกถึงระยะที่ต้นถั่วเหลืองมีใบที่ 2 ช่วงตั้งแต่ต้นถั่วเหลืองออกดอกถึงระยะที่ต้นถั่วเหลืองออกฝักแรก และช่วงตั้งแต่ต้นถั่วเหลืองมีฝักแก่ถึงระยะเก็บเกี่ยว ด้วยวิธี Bowen ratio energy balance สมดุลพลังงานของถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ได้ถูกนำมาใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยที่วัดได้ กับแสง อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม vapour pressure deficit (VPD) ระดับความชื้นของดินที่ความลึกต่างๆ และ leaf area index (LAI) ในช่วงการเติบโตต่างๆ พบว่าอุณหภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญในการเติบโตช่วงแรก แสงและความเร็วลมมีบทบาทสำคัญต่อการคายระเหยในช่วงการเติบโตช่วงที่ 1 และ 2 ของถั่วเหลือง LAI ส่งผลในการเติบโตทุกช่วง และระดับความชื้นของดินที่ความลึก 15 เซ็นติเมตรส่งผลต่อการคายระเหยในช่วงการเติบโตที่ 2 และ 3 [3]

ในปี ค.ศ. 2002 Chunpin และ Jingcheng ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง solar radiation และ vapor pressure deficit (VPD) กับการคายน้ำของไผ่หนาม (*Bambusa stenostachya*) และมะฮอกกานีใบใหญ่ (*Swietenia macrophylla*) บนพื้นที่หินโคลนในประเทศไต้หวัน วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือสร้างแบบจำลองโดยให้การคายน้ำคือฟังก์ชันของ solar

radiation และ VPD ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างช่วงเช้ากับช่วงบ่ายสำหรับไผ่หนาม แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับมะฮอกกานีใบใหญ่ [4]

ในปี ค.ศ. 2004 Pachepsky, Kaul, Walthall, Lydon, Kong และ Daughtry ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการเติบโตของถั่วเหลือง เพื่อนำมาสร้างภาพเสมือนจริงด้วยระบบลินเดนเมเยอร์ โดยทำการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์ Essex และ Moon cake ให้เติบโตในห้องควบคุมอุณหภูมิ 2 ระบบ ได้แก่ 26/21 องศาเซลเซียส และ 32/27 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน ถึงวันที่ 9 มิถุนายน ค.ศ. 2003 จากการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลอย่างมากต่อพัฒนาการของถั่วเหลืองทั้ง 2 พันธุ์ ถั่วเหลืองที่ปลูกในห้องที่มีระบบอุณหภูมิสูงกว่ามีพัฒนาการเร็วกว่า และมีพื้นที่ใบมากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในห้องที่มีระบบอุณหภูมิต่ำกว่า [5]

ในปี ค.ศ. 2007 Mahajan, Oliveira และ Macedo ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้น ที่มีต่ออัตราการคายน้ำของเห็ด (*Agaricus bisporus*) เพื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายในการหาความสัมพันธ์ของอัตราการคายน้ำกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จากการศึกษาพบว่าความชื้นเป็นตัวแปรสำคัญที่สุดที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการคายน้ำ โดยเมื่อเพิ่มความชื้นจาก 76 เปอร์เซ็นต์ เป็น 96 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อัตราการคายน้ำลดลง 87 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อลดอุณหภูมิจาก 16 องศาเซลเซียส เป็น 4 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 96 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้อัตราการคายน้ำลดลง 61 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นว่า ทั้งอุณหภูมิและความชื้นเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการคายน้ำ โดยความชื้นส่งผลต่ออัตราการคายน้ำมากกว่าอุณหภูมิ และอิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นนั้นมีต่ออัตราการคายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้อัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้นและการลดความชื้นส่งผลให้อัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้นเช่นกัน [6]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
ทฤษฎีพื้นฐาน

บทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลจำเพาะของถั่วเหลือง เนื้อดิน (soil texture) การคายระเหย (evapotranspiration) ปริมาณใช้น้ำ (consumptive use) ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ และวิธีทรัสท์-รีเจียน (Trust-Region method) สำหรับการถดถอยกำลังสองน้อยสุดไม่เชิงเส้น (Non-Linear Least Square Regression) เพื่อหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 ข้อมูลจำเพาะของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max* (L.) Merrill ประโยชน์ของถั่วเหลือง นอกจากจะนำมาใช้เป็นอาหารแล้ว น้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดถั่วเหลืองยังสามารถนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังให้ประโยชน์ในแง่ของการปรับปรุงบำรุง และรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินอีกด้วย

3.1.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology of soybean)

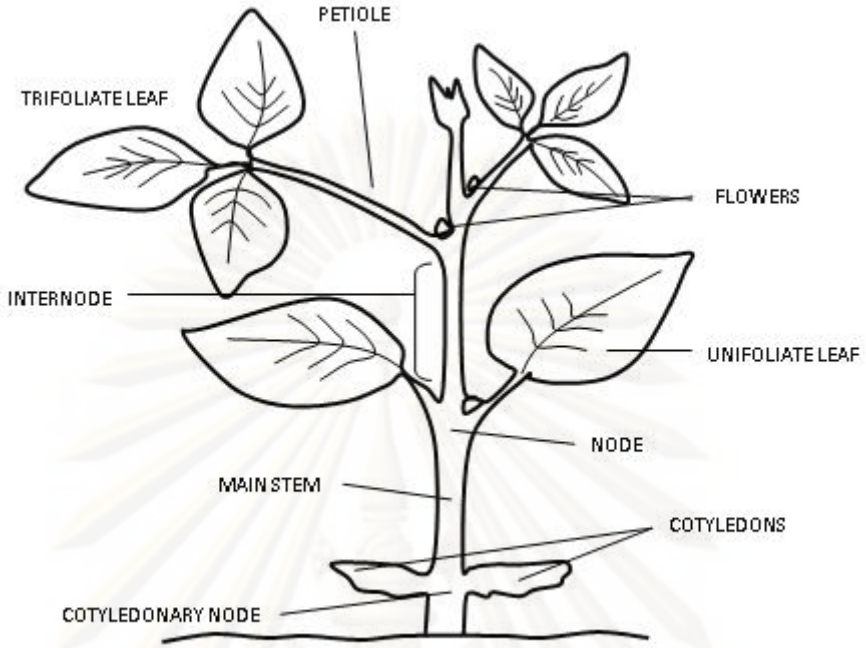
โครงสร้างของถั่วเหลืองประกอบด้วย ลำต้น ก้านใบ ใบเลี้ยง ใบ ดอก ฝัก และเมล็ด ดังรูปที่ 3.1

ลำต้น (Stem) ลำต้นของถั่วเหลืองประกอบด้วย ข้อ (Node) และ ปล้อง (Internode) มีลักษณะเป็นทรงกระบอก เชื่อมต่อกับก้านใบ ดอก และฝัก ภายในลำต้นมีท่อลำเลียงน้ำและอาหารเพื่อนำไปหล่อเลี้ยงส่วนต่างๆ ของต้น ส่วนต่างๆ ของต้นถั่วเหลืองมักมีขนปกคลุม ยกเว้นใบเลี้ยงและกลีบดอก

ก้านใบ (Petiole) มีลักษณะเป็นทรงกระบอก เชื่อมต่อระหว่างใบกับลำต้น ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากลำต้นไปสู่ใบ

ใบเลี้ยง (Cotyledons) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่หล่อเลี้ยงถั่วเหลืองในขณะที่ถั่วเหลืองยังไม่สามารถหาอาหารเองได้ เมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตขึ้น ใบเลี้ยงจะเหี่ยวและหลุดร่วงไปในที่สุด

ใบ (Leaf) ใบจริงคู่แรกมีลักษณะเป็นใบเดี่ยว (Unifoliate) อยู่ถัดขึ้นไปจากใบเลี้ยง และใบประกอบมีลักษณะเป็นใบ 3 ใบ (Trifoliate) ประกอบกันในก้านใบ 1 ก้าน อยู่ถัดขึ้นไปจากใบจริงคู่แรก



รูปที่ 3.1 ลักษณะโครงสร้างของต้นถั่วเหลือง

ดอก (Flower) ดอกของถั่วเหลืองเกิดเป็นช่อดอก แต่ละช่อดอกจะมีดอก 2 – 3 ดอก ดอกมีสีขาวหรือสีม่วง

ฝัก (Pod) เกิดเป็นกลุ่ม อาจมีลักษณะตรงหรือโค้งงอเล็กน้อย เมื่อฝักแก่จะมีสีเหลืองฟาง น้ำตาล หรือดำ

เมล็ด (Seed) ลักษณะกลมรี สีเหลืองฟาง ส่วนใหญ่ภายในฝักหนึ่งจะมีเมล็ด 3 เมล็ด

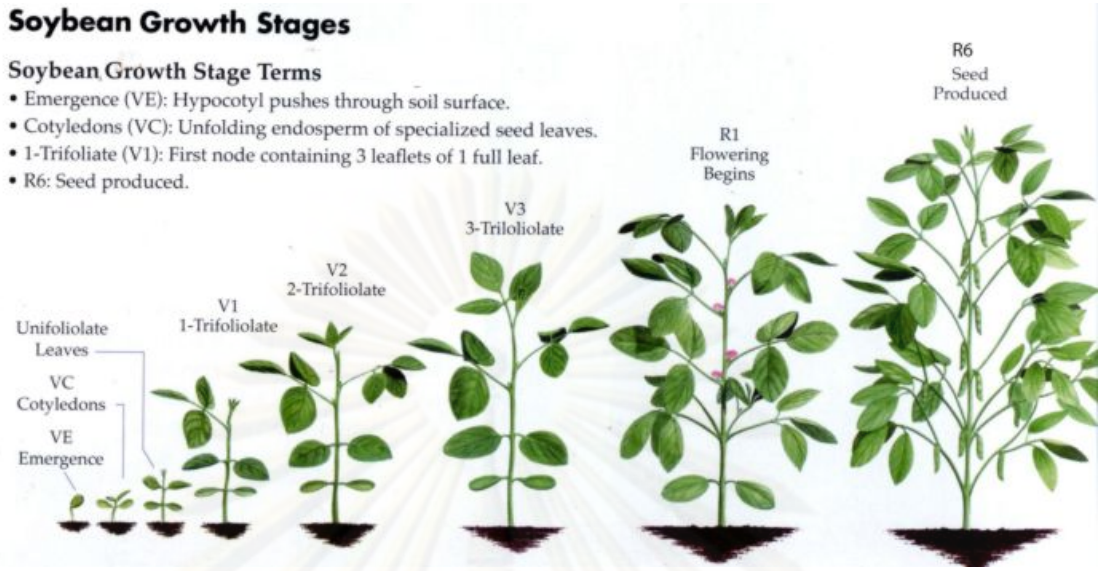
3.1.2 การเจริญเติบโตและพัฒนาของต้นถั่วเหลือง (Growth and development of soybean)

การเจริญเติบโตและการพัฒนาของต้นถั่วเหลือง ประกอบด้วยระยะใหญ่ๆ 2 ระยะ ได้แก่ ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาลำต้นและใบ (Vegetative stages) และระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาดอกและผล (Reproductive stages) ในระยะใหญ่ๆ ประกอบด้วยระยะย่อยๆ อีกหลายระยะ ขั้นการเจริญของถั่วเหลืองที่ใช้กันในปัจจุบันกำหนดโดย Fehr Caviness (1977) ซึ่งแสดงในตารางที่ 3.1

ระยะ	รายละเอียดของการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง
ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาลำต้นและใบ	
VO	เริ่มปลูก
VE	มีใบเลี้ยงโผล่พ้นผิวดิน
VC	ใบจริงคู่แรกมีขอบใบแยกจากกัน
V1	ใบประกอบที่ข้อที่อยู่ถัดจากใบจริงคู่แรกมีขอบใบแยกจากกัน
V2	ใบประกอบใบที่ 2 ที่ข้อถัดไปมีขอบใบแยกจากกัน
V3	ใบประกอบใบที่ 3 ที่ข้อถัดไปมีขอบใบแยกจากกัน
Vn	ใบประกอบใบที่ n ที่ข้อถัดไปมีขอบใบแยกจากกัน
ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาดอกและผล	
R1	มีดอกบาน 1 ดอกที่ข้อใดข้อหนึ่งบนลำต้นหลัก
R2	มีดอกบานที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 2 ข้อ นับจากข้อยอดสุดที่มีใบแผ่ขยายเต็มที่
R3	มีฝักขนาด 0.5 เซนติเมตรที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อ นับจากข้อยอดสุดที่มีใบแผ่ขยายเต็มที่
R4	มีฝักขนาด 2 เซนติเมตรที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อ นับจากข้อยอดสุดที่มีใบแผ่ขยายเต็มที่
R5	มีเมล็ดขนาด 0.3 เซนติเมตรที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อ นับจากข้อยอดสุดที่มีใบแผ่ขยายเต็มที่
R6	มีเมล็ดสีเขียวโตเต็มที่ที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อ นับจากข้อยอดสุดที่มีใบแผ่ขยายเต็มที่
R7	มีฝักใดฝักหนึ่งบนลำต้นหลักเริ่มเป็นสีเหลือง
R8	95% ของจำนวนฝักบนต้นเป็นสีน้ำตาล

ตารางที่ 3.1 ขั้นการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง [7]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

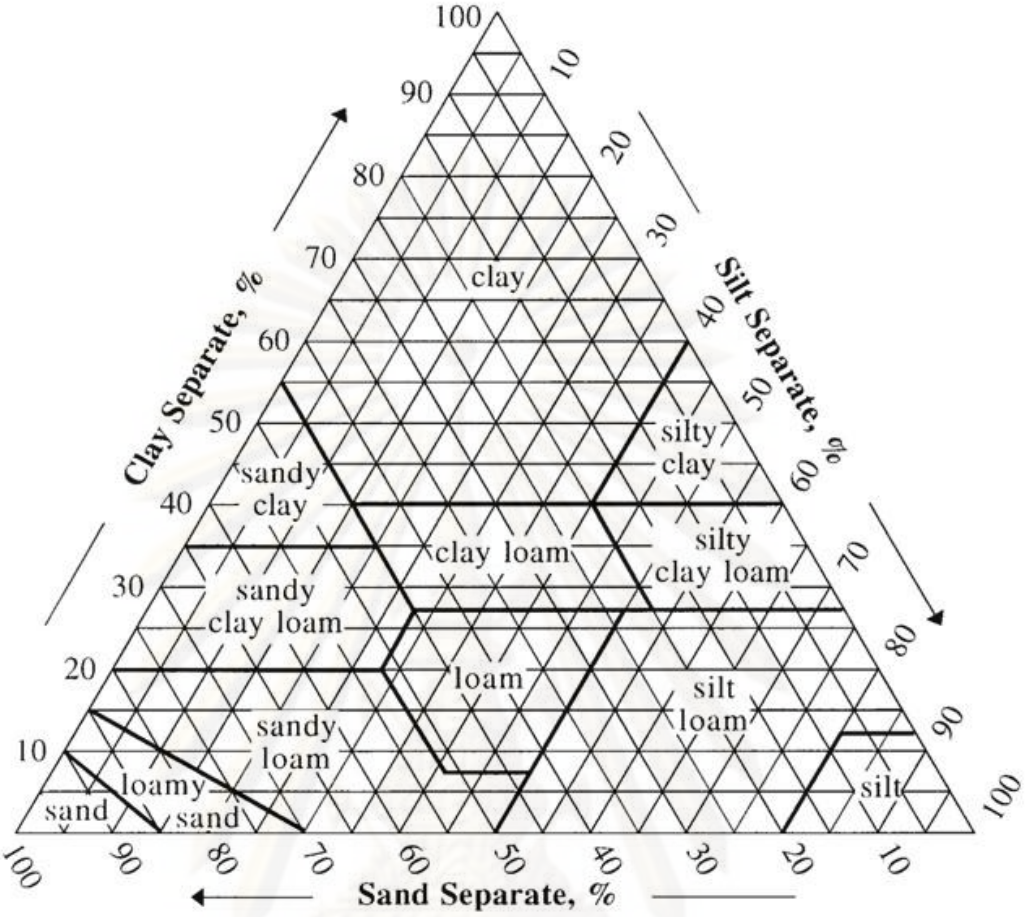


รูปที่ 3.2 การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

ที่มา : http://www.cnppid.com/Assets/Soybean_Growth_Stages.jpg

3.2 **เนื้อดิน** (Soil Texture)

เนื้อดินเป็นสมบัติทางฟิสิกส์ขั้นมูลฐาน สิ่งที่กำหนดประเภทของเนื้อดิน คือ สัดส่วนโดยมวลของอนุภาคอนินทรีย์ 3 กลุ่มขนาด (soil separates) คือ อนุภาคทราย (sand) จัดเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ที่สุด อนุภาคทรายตะกอนหรืออนุภาคทรายแป้ง (silt) จัดเป็นกลุ่มขนาดปานกลาง และอนุภาคดินเหนียว (clay) จัดเป็นกลุ่มขนาดเล็กที่สุด แต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยอนุภาคหลายขนาดซึ่งจัดไว้เป็นช่วง กำหนดโดยพิกัดของขนาด ดินทั่วไปจะประกอบด้วยอนุภาคทั้ง 3 กลุ่มขนาด ดินแต่ละเขตที่มีความแตกต่างกันทางด้านธรณีวิทยา ลักษณะภูมิประเทศ และภูมิอากาศจะมีสัดส่วนผสมของอนุภาคทั้ง 3 กลุ่มขนาดแตกต่างกัน ทำให้เกิดเนื้อดินหลายชนิด นักวิทยาศาสตร์ทางดิน จัดเนื้อดินเป็นกลุ่มประเภททั้งหมด 12 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เนื้อดินที่ถูกจัดให้อยู่ในประเภทเดียวกัน แม้จะมีความผันแปรของสัดส่วนผสมของอนุภาคแต่ก็จะมีสมบัติทางฟิสิกส์ที่คล้ายกัน [9]



รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมสามเหลี่ยมจำแนกประเภทของเนื้อดิน

ที่มา : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/SoilTextureTriangle.jpg

การประเมินประเภทของเนื้อดินทำได้เมื่อทราบเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของอนุภาคแต่ละกลุ่มขนาด เช่น ตัวอย่างดินชนิดหนึ่งมีทราย 30 เปอร์เซ็นต์ ทรายแป้ง 40 เปอร์เซ็นต์ และดินเหนียว 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาตรวจสอบกับไดอะแกรมสามเหลี่ยมจำแนกประเภทของเนื้อดินแล้ว พบว่ามีประเภทของเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam)

จากไดอะแกรมสามเหลี่ยมจะเห็นว่าประเภทเนื้อดินเหนียวกินขอบเขตพื้นที่มากที่สุด ดินที่มีสัดส่วนของดินเหนียวเกิน 40 เปอร์เซ็นต์ ถือว่ามีเนื้อดินหลักเป็นประเภทดินเหนียว ในขณะที่เนื้อดินหลักประเภทดินทรายแป้งและประเภทดินทรายจะต้องมีสัดส่วนเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ และ 90 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปตามลำดับ เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวมีอิทธิพลต่อสมบัติของดินสูงกว่าอนุภาคขนาดทรายแป้ง และขนาดทรายตามลำดับ กลุ่มเนื้อดินหลักประเภทเนื้อดินร่วน (loam) เป็นกลุ่มเนื้อดินหลักอีกประเภทหนึ่งที่ได้รับอิทธิพลของกลุ่มอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ในระดับที่ใกล้เคียงกัน

การใช้งานดินสำหรับเพาะปลูกโดยทั่วไป เกษตรกรอาจจำแนกประเภทเนื้อดินออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

3.2.1 กลุ่มดินเนื้อละเอียด (fine-textured soils) ประกอบด้วยดิน 5 ประเภท คือ ดินเหนียว (clay) ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ดินร่วนเหนียว (clay loam) และ ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam)

3.2.2 กลุ่มดินเนื้อปานกลาง (medium-textured soils) ประกอบด้วยดิน 4 ประเภท คือ ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ดินร่วน (loam) ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) และ ดินทรายแป้ง (silt)

3.2.3 กลุ่มดินเนื้อหยาบ (coarse-textured soils) ประกอบด้วยดิน 3 ประเภท คือ ดินทราย (sand) ดินทรายร่วน (loamy sand) และ ดินร่วนทราย (sandy loam)

3.3 การคายระเหย (Evapotranspiration)

การคายระเหย (Evapotranspiration) หรือปริมาณการใช้น้ำของพืช เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่สู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ เกิดจากสองกระบวนการ คือ การระเหย (Evaporation) และ การคายน้ำ (Transpiration) [8]

3.3.1 การระเหย (Evaporation)

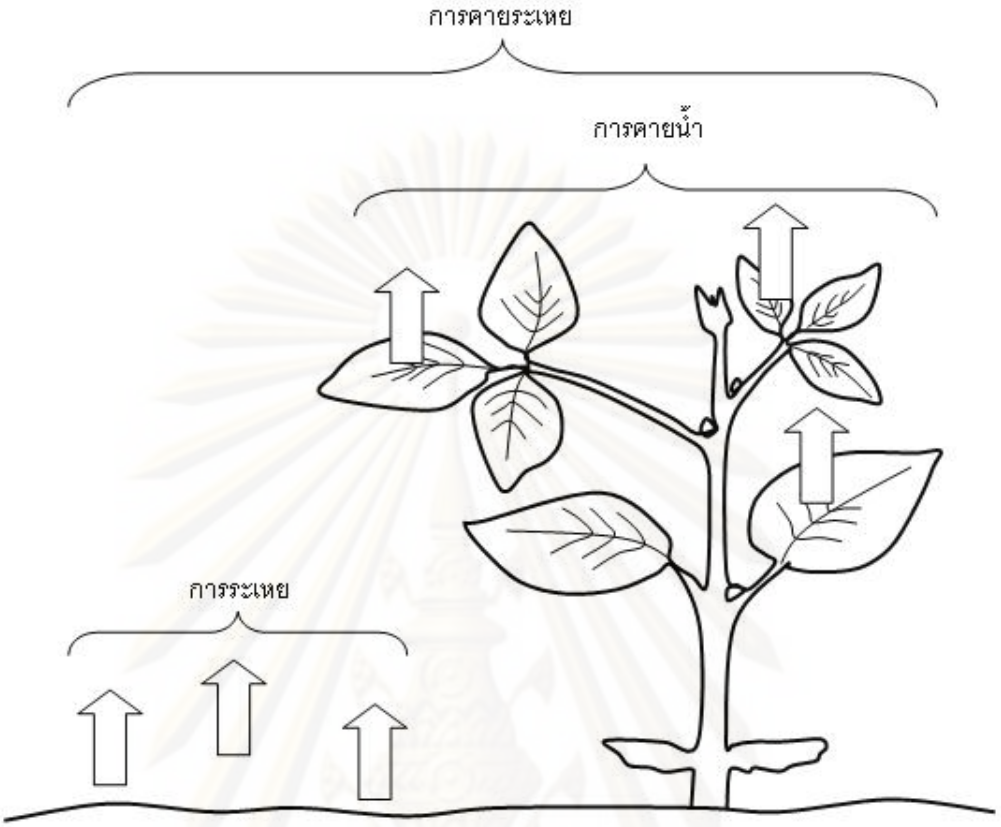
การระเหย เป็นปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินโดยตรงบริเวณรอบๆ ต้นพืช ส่วนการคายน้ำ (Transpiration) เป็นปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดิน เพื่อนำไปใช้สำหรับสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อและคายออกทางใบสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ

การระเหยจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่งในการเปลี่ยนสถานะ เรียกว่า ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat of vaporization) เมื่อปริมาณไอน้ำในอากาศถึงจุดอิ่มตัว หรือ ความดันไอน้ำในอากาศเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว (saturated vapor pressure: e_s) จะทำให้การระเหยหยุดลง และจะเกิดการระเหยต่อไป หากมีกลไกบางอย่างที่เคลื่อนย้ายไอน้ำที่ระเหยออกไป ตามธรรมชาตินั้นการเคลื่อนที่ของลมเป็นกลไกสำคัญที่เคลื่อนย้ายไอน้ำที่ระเหยจากผิวดินออกไป ทำให้เกิดกระบวนการระเหยอย่างต่อเนื่อง การระเหยจากผิวดิน (evaporation from a soil surface) ในขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะเป็นการระเหยเนื่องจากปัจจัยทางภูมิอากาศเป็นหลัก หากดินแห้งลงกระบวนการระเหยจะยิ่ง

ซับซ้อนขึ้น เพราะน้ำที่ระเหยมาจากดินที่ลึกลงไปเคลื่อนที่ขึ้นสู่บรรยากาศ อัตราการระเหยจากผิวดินแบ่งได้เป็นสองช่วง คือ ช่วงแรกขณะที่ดินค่อนข้างอิ่มตัวด้วยน้ำ การระเหยจะเกิดขึ้นตามปริมาณของพลังงานที่ได้รับ ซึ่งเป็นปัจจัยของภูมิอากาศเป็นหลัก ช่วงที่สองเกิดขึ้นเมื่อผิวดินเริ่มแห้ง น้ำที่ระเหยจะมาจากดินที่ลึกลงไป อัตราการระเหยจะถูกควบคุมโดยอัตราการแพร่ของน้ำขึ้นสู่ผิวดินซึ่งเป็นปัจจัยที่ขึ้นกับลักษณะดิน เช่น การนำน้ำของดิน (hydraulic conductivity)

3.3.2 การคายน้ำ (Transpiration)

การคายน้ำเป็นการสูญเสียน้ำจากพืชในรูปของไอน้ำซึ่งสูญเสียออกทางปากใบเป็นส่วนใหญ่ (มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์) พืชจะใช้น้ำจากดินได้สะดวกก็ต่อเมื่อน้ำในดินไหลเข้าสู่รากพืชในอัตราทัดเทียมกับอัตราการคายน้ำ ความเร็วการไหลของน้ำผ่านดินขึ้นกับแรงขับเคลื่อนน้ำ (driving force) และการนำน้ำของดิน โดยปกติทั่วไปในดินที่มีความชื้นน้ำจะไหลไปสู่รากพืชได้เร็วกว่าในดินแห้ง พืชต้นหนึ่งๆ จะใช้น้ำจำนวนมากในการเจริญเติบโต ซึ่งอัตราการเติบโตของพืชจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณน้ำที่พืชดูดใช้ในช่วงเวลานั้น หากพืชดูดน้ำจากดินและคายน้ำมาก พืชจะเติบโตได้ดี หากในดินขาดแคลนน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช พืชจะใช้น้ำได้น้อยจึงเกิดสภาวะขาดน้ำในพืช และทำให้การเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชลดลง [9] การคายน้ำนั้นมีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการคายน้ำ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และความเร็วลม เป็นต้น ความชื้นคือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอากาศ โดยทั่วไปจะแสดงปริมาณน้ำในอากาศเป็นความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, RH) ความชื้นสัมพัทธ์เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอากาศกับปริมาณน้ำที่มากที่สุดที่อากาศสามารถรับไว้ได้ ณ อุณหภูมิขณะนั้น ส่วนใหญ่นิยมแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (percent relative humidity) หรือ มีค่าเป็น RH × 100 [10] ถ้าในอากาศมีความชื้นลดลง จะทำให้ปริมาณน้ำในอากาศกับปริมาณน้ำในใบมีความแตกต่างกันมากขึ้น ไอน้ำจะแพร่ออกทางปากใบมากขึ้น การคายน้ำจึงเพิ่มมากขึ้น ส่วนอุณหภูมิอากาศส่งผลต่อการคายน้ำโดยถ้าอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น อากาศจะแห้ง ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำในอากาศกับปริมาณน้ำในใบมากขึ้น ทำให้เกิดการคายน้ำมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีลมที่ส่งผลต่อการคายน้ำ โดยลมจะพัดพาความชื้นไปทำให้ความชื้นลดลงและเกิดการคายน้ำมากขึ้น



รูปที่ 3.4 การคายระเหย

3.4 **ปริมาณใช้น้ำของพืช** (Consumptive Water Use)

ปริมาณใช้น้ำของพืช หมายถึง ปริมาณน้ำทั้งหมดที่พืชใช้ในกระบวนการคายน้ำ การระเหย และปริมาณน้ำที่ใช้เกี่ยวข้องกับกายวิภาคและสรีรวิทยาของต้นพืช ปัจจัยที่ควบคุมปริมาณใช้น้ำของพืช คือ ดิน พืช และบรรยากาศ [9]

3.4.1 ปัจจัยทางดิน

ปัจจัยทางดินที่มีผลต่อปริมาณใช้น้ำคือ ระดับความชื้นของดิน โดยปกติถ้าดินมีระดับความชื้นสูงก็จะมีปริมาณน้ำให้พืชใช้ได้มาก นอกจากนี้ความลึกของดินก็มีผลต่อปริมาณใช้น้ำ เนื่องจากปริมาณน้ำทั้งหมดในหน้าตัดดินมีค่าเท่ากับระดับความชื้นโดยปริมาตรคูณกับระดับความลึกของดิน ดังนั้นถ้าดินมีระดับความลึกมากย่อมมีปริมาณน้ำมากด้วย ปัจจัยที่มีผลอีกปัจจัยหนึ่งคือ สภาพนำน้ำของหน้าตัดดิน เพราะความเร็วในการไหลของน้ำจากมวลดินที่อยู่ห่างไกล

มายังบริเวณใกล้รากมีความจำเป็นต่อการดูดน้ำของพืชมาก ดินซึ่งมีสภาพนำน้ำสูงกว่าจะปลดปล่อยน้ำให้พืชเร็วกว่า

3.4.2 ปัจจัยทางพืช

ปัจจัยทางพืชที่มีความสำคัญต่อการใช้น้ำคือ ชนิดของพืช โดยชนิดของพืชจะเป็นตัวกำหนดความต้องการใช้น้ำและสภาพทนแล้งโดยธรรมชาติ สรีระของพืช เช่น ขนาดทรงพุ่ม ความลึกของการกระจายระบบราก อวัยวะกักตุนน้ำ รวมถึงลักษณะใบพืชที่แตกต่างกัน ทำให้พืชใช้น้ำไม่เท่ากัน อีกปัจจัยหนึ่งคืออายุและขั้นการเติบโตของพืช นอกจากนี้พืชซึ่งเคยขาดน้ำมาก่อนจะสามารถทนต่อสภาวะขาดน้ำได้สูงกว่าพืชที่ไม่เคยได้รับสภาวะขาดน้ำ

3.4.3 ปัจจัยทางบรรยากาศ

การระเหยน้ำจากผิวระเหยน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณรังสีอาทิตย์ (solar radiation) ที่พื้นผิวและบริเวณโดยรอบ พลังงานรังสีทำให้เกิดความร้อนขึ้นในวัตถุ ความร้อนจำนวนหนึ่งจะถูกระบายออกโดยใช้ในรูปความร้อนแฝงของการระเหยน้ำออกสู่บรรยากาศ พลังงานรังสียังมีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศโดยรอบ รวมถึงการเคลื่อนที่ของมวลอากาศและกระแสลม

3.5 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป และเป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 กลุ่ม คือ กลุ่มตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (independent variable) กับ ตัวแปรตาม (dependent variable) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในบางครั้งอาจอยู่ในรูปอย่างง่าย ซึ่งสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้โดยอาศัยเพียงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แต่ส่วนมากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 กลุ่มมักอยู่ในลักษณะที่ค่อนข้างซับซ้อน จึงต้องมีการตั้งสมมติฐานหรือการประมาณว่าลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรอยู่ในรูปแบบสมการใด แล้วสมการนั้นกับข้อมูลมีความเหมาะสมสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด

3.5.1 การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เชิงเส้น โดยมากพบในงานด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ และพฤกษศาสตร์ ความสัมพันธ์ในรูปแบบไม่เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น กับตัวแปรตาม สามารถนำมาเขียนในรูปแบบสมการการถดถอยได้ดังนี้

$$y = y(x; a) \tag{3.1}$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตามของสมการถดถอย

x คือ ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นของสมการถดถอย

a คือ พารามิเตอร์ของสมการถดถอย

ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เชิงเส้น

1. วาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามเพื่อตรวจสอบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองอยู่ในรูปแบบเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้น หากความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น ให้ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น หากความสัมพันธ์อยู่ในรูปไม่เชิงเส้น ให้ทำขั้นตอนที่ 2 ต่อไป
2. ตรวจสอบว่าความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นอยู่ในฟังก์ชันรูปแบบใด
3. หาค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันที่คาดไว้จากขั้นตอนที่ 2

3.5.2 การหาค่าพารามิเตอร์ของสมการการถดถอย

นอกจากจะต้องทราบว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระ และตัวแปรใดเป็นตัวแปรตามในการวิเคราะห์การถดถอยแล้ว ผู้วิเคราะห์จะต้องกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามให้ถูกต้องและเหมาะสมกับความเป็นจริง เมื่อกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรแล้ว ผู้วิเคราะห์ต้องประมาณค่าคงที่ความสัมพันธ์ของตัวแปร ซึ่งเราเรียกค่าคงที่ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามว่า ค่าพารามิเตอร์การถดถอยหรือสัมประสิทธิ์การถดถอย

วิธีกำลังสองน้อยสุด (Least – Square Method) เป็นเทคนิควิธีในการหาค่าพารามิเตอร์ของสมการการถดถอยที่นิยมใช้กัน แต่ในการหาค่าพารามิเตอร์ของสมการการ

ถดถอยไม่เชิงเส้น ต้องใช้วิธีกำลังสองน้อยสุดไม่เชิงเส้น ซึ่งมีการพัฒนาออกมาแล้วหลายวิธี สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีทรัสท์-รีเจียน (Trust-Region Method) ดังจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

3.5.3 วิธีกำลังสองน้อยสุดไม่เชิงเส้น (Non-Linear Least Square Method)

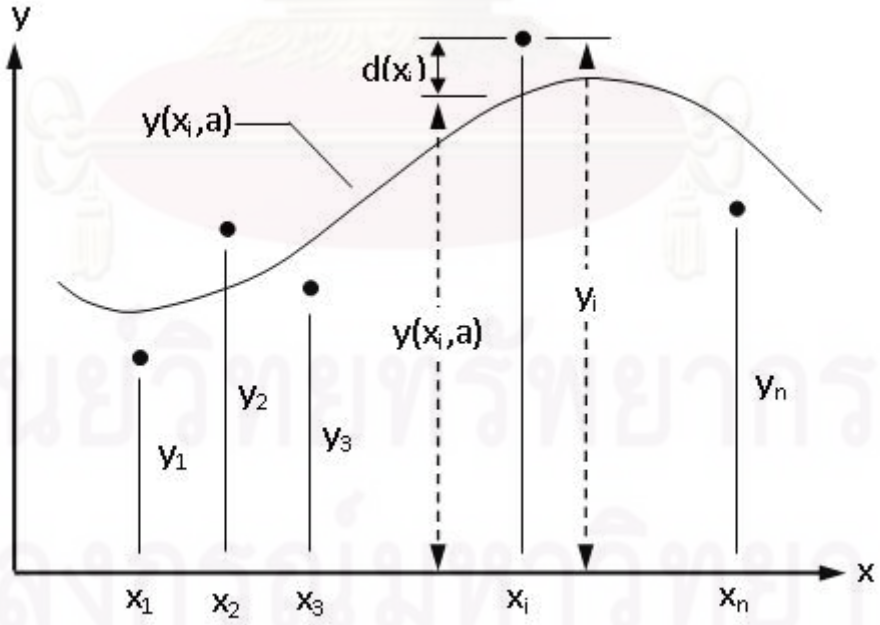
วิธีกำลังสองน้อยสุดสามารถนำมาใช้หาค่าพารามิเตอร์หรือสัมประสิทธิ์การถดถอย โดยพิจารณาจากค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยสุดในการหาค่าพารามิเตอร์ ซึ่งทำได้ดังนี้

ในการหาสมการที่แทนข้อมูลจำนวน n จุด (x_i, y_i) โดยที่ $i = 1, 2, ..., n$ และมีพารามิเตอร์ที่ต้องการหา m ตัว คือ a_j โดยที่ $j = 1, 2, ..., m$ เพื่อหาสมการการถดถอยที่แทนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ x กับตัวแปรตาม y จากสมการที่ (3.1)

$$y(x) = y(x; a)$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ a ลงในสมการที่ (3.1) แล้วนำสมการมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มี พบว่ามีความคลาดเคลื่อน $d(x_i)$ ที่จุด x_i ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดย $d(x_i)$ มีค่าเป็น

$$d(x_i) = y_i - y(x_i; a) \tag{3.2}$$



รูปที่ 3.5 ค่าความคลาดเคลื่อน $d(x_i)$ ที่จุด (x_i, y_i)

สมการการถดถอยที่หาได้ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยสุดเมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมดที่มี สำหรับขั้นตอนในการหาสมการการถดถอยไม่เชิงเส้น เริ่มจากการหาค่าความผิดพลาด E ที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลจำนวน n ข้อมูลกับสมการที่หาได้ในรูปแบบสมการที่ (3.3) และสามารถเขียนให้ประกอบด้วยฟังก์ชันไม่เชิงเส้นได้ดังสมการที่ (3.4)

$$E = \sum_{i=1}^{n} \left(d(x_i) \right)^2 \tag{3.3}$$

$$E(a) = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - y(x_i; a) \right)^2 \tag{3.4}$$

โดยที่ y_i คือ ตัวแปรตามที่ได้จากข้อมูลตัวที่ i

x_i คือ ตัวแปรอิสระที่ได้จากข้อมูลตัวที่ i

y คือ ตัวแปรตามที่ได้จากสมการการถดถอย

a คือ พารามิเตอร์ของสมการการถดถอย

ในการหาค่าพารามิเตอร์ $a_1, a_2, ..., a_m$ ทั้งหมด m ค่านั้น สามารถใช้วิธีกำลังสองน้อยสุดสร้างระบบสมการที่มีสมการย่อย m สมการ คือ

$$\begin{aligned}
\frac{\partial E}{\partial a_1} &= \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - y(x_i; a) \right) \cdot \frac{\partial y(x_i; a)}{\partial a_1} = 0 \\
\frac{\partial E}{\partial a_2} &= \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - y(x_i; a) \right) \cdot \frac{\partial y(x_i; a)}{\partial a_2} = 0 \\
\frac{\partial E}{\partial a_3} &= \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - y(x_i; a) \right) \cdot \frac{\partial y(x_i; a)}{\partial a_3} = 0 \\
&\vdots \qquad\qquad\qquad\qquad \vdots \\
\frac{\partial E}{\partial a_m} &= \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - y(x_i; a) \right) \cdot \frac{\partial y(x_i; a)}{\partial a_m} = 0
\end{aligned} \tag{3.5}$$

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีทรัสท์-รีเจียนในการแก้ระบบสมการไม่เชิงเส้น เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ $a_1, a_2, ..., a_m$

3.5.4 วิธีทรัสท์-รีเจียน (Trust-Region Method)

วิธีทรัสท์-รีเจียนเป็นวิธีที่สามารถแก้สมการไม่เชิงเส้นเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าวิธีอื่นๆ วิธีทรัสท์-รีเจียนมีวิธีการดังนี้

กำหนดให้ฟังก์ชันความผิดพลาดคือ $E(b)$ เขียนอยู่ในรูปอนุกรมเทย์เลอร์ได้ดังนี้

$$E(b_{k+1}) \approx E(b_k) + \nabla E(b_k)^T \cdot (b_{k+1} - b_k) + \frac{1}{2}(b_{k+1} - b_k)^T \cdot \nabla^2 E(b_k) \cdot (b_{k+1} - b_k) + \ldots \quad (3.6)$$

โดยที่ $b = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix}$, $\nabla E(b_k) = \begin{bmatrix} \frac{\partial E(b_k)}{\partial a_1} \\ \frac{\partial E(b_k)}{\partial a_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial E(b_k)}{\partial a_m} \end{bmatrix}$

$$\nabla^2 E(b_k) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 E(b_k)}{\partial a_1 \partial a_1} & \frac{\partial^2 E(b_k)}{\partial a_1 \partial a_2} & \cdots & \frac{\partial^2 E(b_k)}{\partial a_1 \partial a_m} \\ \frac{\partial^2 E(b_k)}{\partial a_2 \partial a_1} & \frac{\partial^2 E(b_k)}{\partial a_2 \partial a_2} & \cdots & \frac{\partial^2 E(b_k)}{\partial a_2 \partial a_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 E(b_k)}{\partial a_m \partial a_1} & \frac{\partial^2 E(b_k)}{\partial a_m \partial a_2} & \cdots & \frac{\partial^2 E(b_k)}{\partial a_m \partial a_m} \end{bmatrix}$$

จากอนุกรมเทย์เลอร์ตามสมการที่ (3.6) เมื่อพิจารณาถึงเพียงอนุพันธ์อันดับที่สอง จะได้ดังนี้

$$E(b_{k+1}) = E(b_k) + \nabla E(b_k)^T \cdot (b_{k+1} - b_k) + \frac{1}{2}(b_{k+1} - b_k)^T \cdot \nabla^2 E(b_k) \cdot (b_{k+1} - b_k) \quad (3.7)$$

สมการที่ (3.7) เขียนให้อยู่ในรูปเกรเดียนต์เวกเตอร์ (Gradient vector) g และเฮสเซียนเมตริกซ์ (Hessian matrix) H ได้ดังนี้

$$E(b_{k+1}) = E(b_k) + g^T \cdot (b_{k+1} - b_k) + \frac{1}{2}(b_{k+1} - b_k)^T \cdot H \cdot (b_{k+1} - b_k) \quad (3.8)$$

โดยที่ g คือ เวกเตอร์อนุพันธ์ย่อยอันดับที่หนึ่งของ $E(b_k)$

H คือ เมตริกซ์อนุพันธ์ย่อยอันดับที่สองของ $E(b_k)$

ประมาณฟังก์ชันความผิดพลาด E ด้วยฟังก์ชันอย่างง่าย $L(h)$ ซึ่งนำไปสู่พฤติกรรมของฟังก์ชันความผิดพลาด E ในพื้นที่รอบๆ b โดยที่ h คือค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของค่า b ในการทำซ้ำแต่ละรอบ หรือ $h = b_{k+1} - b_k$ ดังนั้น จากสมการที่ (3.8) จะได้

$$L(h) = g^T \cdot h + \frac{1}{2} h^T \cdot H \cdot h \tag{3.9}$$

วิธีทรัสท์-รีเจียนเป็นวิธีหาค่าความผิดพลาด $E(b)$ ที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะได้

$$\min_b \{E(b)\} \tag{3.10}$$

ฟังก์ชัน $L(h)$ เป็นฟังก์ชันที่ใช้ประมาณค่าความผิดพลาด $E(b)$ เพื่อปรับค่าความผิดพลาด $E(b)$ ให้มีค่าน้อยที่สุด โดยการประมาณเลขที่มีค่าบวก Δ ซึ่งทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องเพียงพอ ภายในพื้นที่วงกลมที่มีรัศมี Δ และมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ b ซึ่งเป็นการจำกัดความยาวของ step จาก b_k เป็น b_{k+1} กำหนด step (h) เป็น

$$h \equiv \text{argmin}_{\|h\| \le \Delta} \{L(h)\} \tag{3.11}$$

จากสมการที่ (3.9) ประมาณค่าต่ำสุดของ $L_k(h)$ ในรอบที่ k ได้ดังนี้

$$\min_h \left\{ L_k(h) \overset{def}{=} g_k^T \cdot h + \frac{1}{2} h^T \cdot H_k \cdot h \text{ such that } \|h\| \le \Delta_k \right\} \tag{3.12}$$

โดยที่ Δ_k มีค่าเป็นบวก ที่แสดงขนาดของทรัสท์-รีเจียน

$\| \ \|$ เป็นยูคลิเดียนนอร์ม (euclidean norm)

การประมาณค่าต่ำสุดของ $L_k(h)$ ทำได้โดยการหาอนุพันธ์เทียบกับ h จากสมการที่ (3.12) จะได้

$$\frac{\partial L_k(h_k)}{\partial h_k} = \frac{\partial (g_k^T \cdot h_k)}{\partial h_k} + \frac{\partial \left(\frac{1}{2} h_k^T \cdot H_k \cdot h_k \right)}{\partial h_k} = 0$$

$$g_k + H_k \cdot h_k = 0$$

$$h_k = -H_k^{-1} g_k$$

วิธีทรัสท์-รีเจียนจำเป็นต้องมีการหาอัตราส่วนระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย เพื่อเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณว่ามีค่าใกล้เคียงมากเพียงใด และทำให้เกิดค่าความผิดพลาดมากน้อยเพียงใด แล้วจึงนำอัตราส่วนที่หาได้มาปรับขนาดของทรัสท์-รีเจียน [11]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราส่วนระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\rho_k = \frac{E(b_k + h_k) - E(b_k)}{L_k(h_k)} \tag{3.13}$$

ขั้นตอนวิธีทรัสท์-รีเจียน

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น b_0, ความยาวของ step ที่มากที่สุด $\Delta_{\max}$, ขนาดของทรัสท์-รีเจียน Δ_0 และค่าคงที่ $\eta \in [0, \frac{1}{4})$
2. คำนวณค่าความผิดพลาด $E(b_k)$ ตามสมการที่ (3.4) และค่าประมาณ $L(h_k)$ ตามสมการที่ (3.9)
3. คำนวณค่า h_k ตามสมการที่ (3.12)
4. คำนวณค่า ρ_k ตามสมการที่ (3.13)
5. ปรับค่า b_{k+1} โดยมีเงื่อนไขดังนี้

   ถ้า $\rho_k > \eta$ แล้ว $b_{k+1} = b_k + h_k$

   ถ้า $\rho_k \leq \eta$ แล้ว $b_{k+1} = b_k$
6. ปรับค่า Δ_{k+1} โดยมีเงื่อนไขดังนี้

   ถ้า $\rho_k < \frac{1}{4}$ แล้ว $\Delta_{k+1} = \frac{1}{2}\Delta_k$

   ถ้า $\rho_k > \frac{3}{4}$ แล้ว $\Delta_{k+1} = \max\{\Delta_k, 3 \cdot \|h_k\|\}$
7. ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 6 $k = k+1$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทดลอง การเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง และการนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลองการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินร่วนเหนียว

4.1 การออกแบบการทดลอง

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และพื้นที่ใบ กับปริมาณการให้น้ำแก่ถั่วเหลือง ใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ชม.60) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่สามารถนำไปปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย อีกทั้งยังให้ผลผลิตสูง และดินร่วนเหนียวที่ใช้ในการทดลองคือชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen Series, Ks) ซึ่งมีลักษณะเป็นดินร่วนเหนียวที่มีการระบายน้ำที่ดี และมีสารอาหารอุดมสมบูรณ์พอควร สถานที่ที่ใช้ในการทำการทดลองคือบริเวณคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

4.1.1 การทดลองเพื่อหาความจุสนาม (Field Capacity, FC)

เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำที่ดินสามารถจุไว้ได้มากที่สุด โดยการนำดินแห้งปริมาตรเท่ากับดิน 1 กระถาง ใส่ในภาชนะทรงกระบอกที่เจาะรูที่ก้นภาชนะ ชั่งน้ำหนักภาชนะบรรจุดิน จากนั้นค่อยๆ ใส่น้ำลงในภาชนะบรรจุดินให้ทั่วถึงกัน เมื่อสังเกตเห็นน้ำไหลออกจากก้นภาชนะจึงหยุดให้น้ำ ทิ้งไว้สักระยะหนึ่งเพื่อให้น้ำที่ขังในช่องขนาดใหญ่ในดินไหลออกจากภาชนะ เมื่อสังเกตเห็นว่าไม่มีน้ำไหลออกมาอีกแล้ว ให้ชั่งน้ำหนักภาชนะบรรจุดิน [9] ความแตกต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งจะเป็นน้ำหนักน้ำหรือปริมาณน้ำที่ดินสามารถจุไว้ได้มากที่สุด ซึ่งข้อมูลจากการดำเนินการนี้จะใช้เป็นข้อมูลปริมาณน้ำเริ่มต้นก่อนการทดลอง เพื่อใช้หาปริมาณการใช้น้ำของพืช

4.1.2 การทดลองเพื่อหาปริมาณการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลือง

เพาะถั่วเหลือง 4 – 5 เมล็ดลงในกระถางพลาสติก 3 กระถาง จากจำนวนกระถางทั้งหมด 6 กระถางที่รดน้ำจนกระทั่งน้ำเริ่มไหลออกจากก้นกระถาง เมื่อถั่วเหลืองมีอายุ 4 วัน เลือกต้นที่สมบูรณ์ที่สุดให้เหลือเพียงต้นเดียวในกระถาง กระถางที่ปลูกถั่วเหลืองจำนวน 3 กระถางเป็น

การทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการปลูกถั่วเหลือง ส่วนกระถางที่ไม่มีการปลูกถั่วเหลืองอีกจำนวน 3 กระถางเป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดิน ในแต่ละวันรดน้ำลงในกระถางทดลองทุกกระถางจนกระทั่งสังเกตเห็นว่าน้ำเริ่มจะไหลออกจากก้นกระถาง เก็บข้อมูลน้ำหนักก่อนและหลังการรดน้ำลงในกระถางทุกกระถาง ความกว้างที่สุด – ความยาวที่สุดของใบแต่ละใบของต้นถั่วเหลือง อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ จนกระทั่งสิ้นสุดระยะการเติบโตทางลำต้นและใบ

4.2 การเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมเพื่อใช้ในการหาแบบจำลองการใช้น้ำ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกว้างที่สุด – ความยาวที่สุดของใบ และปริมาณน้ำที่รดลงในกระถางทดลองจนกระทั่งดินจุน้ำไว้ได้เต็มที่ การทดลองกระทำเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรกตั้งแต่วันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2551 ถึง วันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2551 และช่วงที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2551 ถึง วันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2552 ทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละการทดลอง การวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ ใช้ Temperature/Humidity Datalogger Kit กำหนดเก็บข้อมูลทุก 15 นาที นำข้อมูลที่เก็บมาหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละวัน การวัดความกว้างที่สุด – ความยาวที่สุดของใบแต่ละใบใช้ไม้บรรทัดในการวัด ส่วนปริมาณน้ำที่รดลงในกระถางทดลองเก็บข้อมูลโดยการหาความแตกต่างระหว่างน้ำหนักของกระถางทดลองก่อนรดน้ำกับน้ำหนักของกระถางทดลองหลังรดน้ำ ความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการรดน้ำนั้นเป็นน้ำหนักของน้ำที่รดลงในกระถางนั่นเอง ซึ่งในการเก็บข้อมูลน้ำหนักก่อนและหลังรดน้ำจะใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีหน่วยที่เล็กที่สุดคือหน่วยกรัมในการชั่งน้ำหนักของกระถางทดลอง โดยความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังรดน้ำในกระถางที่มีต้นถั่วเหลืองคือน้ำหนักของน้ำที่ใช้ทั้งหมดในการปลูกถั่วเหลือง ความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังรดน้ำในกระถางที่ไม่มีต้นถั่วเหลืองคือน้ำหนักน้ำที่ระเหยออกจากผิวดิน

การคำนวณเพื่อหาปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ ทำได้โดยนำน้ำหนักของน้ำที่ใช้ทั้งหมดในการปลูกถั่วเหลืองลบด้วยน้ำหนักของน้ำที่ระเหยจากผิวดินจะได้เป็นน้ำหนักของน้ำที่ถั่วเหลืองดูดเข้าสู่ต้นและคายน้ำออกไปผ่านต้นและใบ

ความกว้างที่สุด – ความยาวที่สุดของใบ นำมาคำนวณเพื่อหาพื้นที่ใบของแต่ละใบ จากนั้นนำพื้นที่ใบของแต่ละใบในต้นมารวมกันทั้งหมด จะได้พื้นที่ใบรวมของ 1 ต้น สูตรในการหาพื้นที่ใบแต่ละใบของถั่วเหลืองมาจากวิธีการของ Chris (2005) ซึ่งเป็นการคำนวณพื้นที่ใบจาก

สัดส่วนพื้นที่ใบเฉลี่ยเมื่อเทียบกับพื้นที่ของความกว้างที่สุดคูณกับความยาวที่สุดของใบ ดังสมการที่ (4.1)

$$A_L = 0.74 \cdot L \cdot W \tag{4.1}$$

โดยที่ A_L คือ พื้นที่ใบ 1 ใบ

L คือ ความยาวที่สุดของใบ

W คือ ความกว้างที่สุดของใบ

0.74 เป็นสัดส่วนพื้นที่ใบเฉลี่ยเทียบกับพื้นที่ของความกว้างที่สุดคูณกับความยาวที่สุดของใบถั่วเหลือง [12]

4.3 การจำลองแบบ

การจำลองแบบเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการแก้ไขปัญหาในด้านต่างๆ คำจำกัดความของการจำลองแบบคือกระบวนการออกแบบแบบจำลองของปัญหา แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของปัญหาภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้

ในงานวิจัยนี้มีแบบจำลองการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลือง ซึ่งจะแยกย่อยออกเป็น แบบจำลองปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดิน และแบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้

การใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลือง เป็นปริมาณน้ำที่จะพิจารณาจากการระเหยของน้ำจากผิวดิน และปริมาณที่ต้นถั่วเหลืองใช้เพื่อเข้าสู่กระบวนการต่างๆ ภายในต้น ดังสมการที่ (4.2)

$$w(t) = E(t) + Tr(t) \tag{4.2}$$

โดยที่ t คือ วัน

$w(t)$ คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมด

$E(t)$ คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดิน

$Tr(t)$ คือ ปริมาณน้ำที่ถั่วเหลืองใช้

4.3.1 แบบจำลองปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดิน

ปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดิน เกิดจากปัจจัยต่างๆ หลายปัจจัย ในงานวิจัยนี้จะหาปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดิน จากปัจจัย 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ โดยที่อุณหภูมิสูงกว่าจะส่งผลให้น้ำระเหยจากผิวดินมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า และที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะส่งผลให้น้ำระเหยจากผิวดินมากกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง ปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดินจะอยู่ในรูปฟังก์ชันของอุณหภูมิ (T) และความชื้น (H) ดังสมการที่ (4.3)

$$E = f(T, H) \tag{4.3}$$

โดยที่ T คือ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่อวัน

H คือ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวัน

ปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดินกับ อุณหภูมิอากาศและความชื้น มีความสัมพันธ์กัน โดยปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดินจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิอากาศ และแปรผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ ดังนี้

$$E \propto \frac{T}{H}$$

ดังนั้นแบบจำลองปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดินเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$E = k\frac{T}{H} \tag{4.4}$$

โดยที่ k คือ ค่าคงที่

ค่าพารามิเตอร์ k หาได้จากการนำข้อมูลส่วนหนึ่งที่ได้จากการทดลองปลูกถั่วเหลืองในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบช่วงที่ 1 คือ ตั้งแต่วันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2551 ถึงวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2551 โดยจากสมการที่ (4.4) จะได้

$$k = E \cdot \frac{H}{T} \tag{4.5}$$

นำความสัมพันธ์ที่ได้ไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีของทรัสท์-รีเจียน (Trust-Region Method) ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (4.6)

$$E = 761.466\frac{T}{H} \tag{4.6}$$

4.3.2 แบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้

ปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ การเจริญเติบโตและกระบวนการทางชีวเคมีของพืชจะใช้น้ำปริมาณน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่พืชนำไปใช้ ปริมาณน้ำที่เหลือเป็นจำนวนมากสูญเสียไปในรูปของการคายน้ำ (Transpiration) เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิภายในต้น โดยน้ำจะเปลี่ยนเป็นไอและระเหยออกไปสู่บรรยากาศ การคายน้ำของพืชเกิดขึ้นบริเวณปากใบ (Stomata) [10] ดังนั้นพื้นที่ใบจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ถั่วเหลืองใช้ นอกจากนี้ปัจจัยสำคัญอีก 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคายน้ำคืออุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ โดยถ้าอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น อุณหภูมิของน้ำในใบจะสูงขึ้น ทำให้น้ำระเหยเป็นไอได้ง่ายและมากขึ้น ส่วนความชื้นสัมพัทธ์นั้นส่งผลต่อการคายน้ำของพืชโดยถ้าความชื้นลดลงจะทำให้ปริมาณน้ำในใบกับในบรรยากาศมีความแตกต่างกันมากขึ้น น้ำจึงระเหยออกสู่บรรยากาศมากขึ้น ปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้จะมีความสัมพันธ์กับ 3 ปัจจัยในรูปฟังก์ชันของอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และพื้นที่ใบ ดังสมการที่ (4.7)

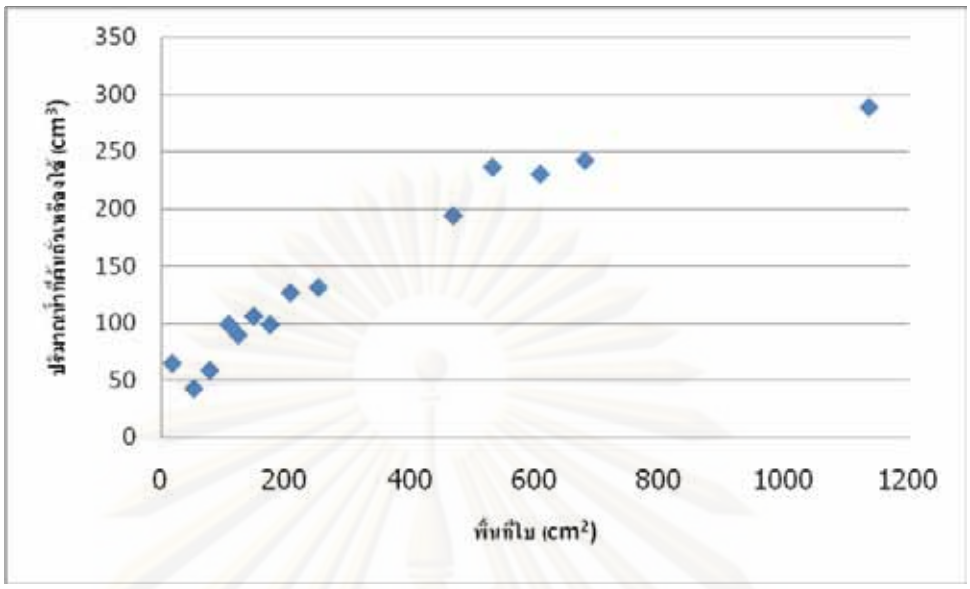
$$Tr = g(T, H, LA) \tag{4.7}$$

โดยที่ LA คือ พื้นที่ใบรวมใน 1 ต้น

แบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ ได้มาจากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองปลูกถั่วเหลืองในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบในช่วงที่ 1 คือ อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ และข้อมูลที่คำนวณได้จากข้อมูลการทดลอง คือ พื้นที่ใบรวม และปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ มาหาความสัมพันธ์ โดยพื้นที่ใบของต้นพืช บริเวณปากใบเป็นบริเวณที่ต้นพืชสูญเสียน้ำจากการคายน้ำมากที่สุด หากต้นพืชมีพื้นที่ใบมากขึ้น พืชจะมีการคายน้ำมากขึ้น ปริมาณน้ำที่พืชใช้จึงมากขึ้น ดังนั้นปริมาณน้ำที่พืชใช้จึงแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ใบของต้นพืช

$$Tr \propto LA$$

เมื่อนำข้อมูลการทดลองพื้นที่ใบรวมของต้นถั่วเหลืองมาวาดกราฟเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบรวมของต้นถั่วเหลืองกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ เป็นไปในลักษณะคล้ายเส้นตรง ดังรูปที่ 4.1



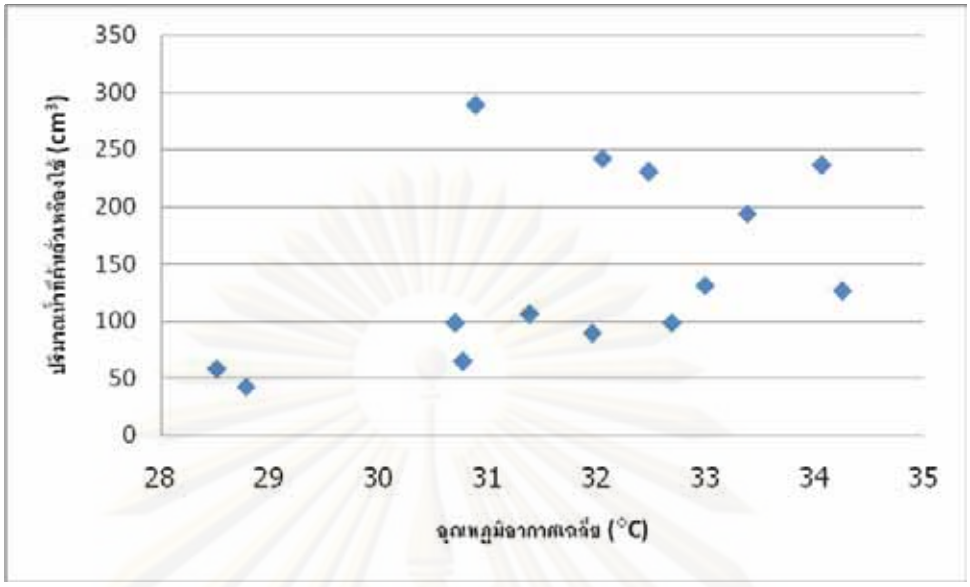
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้

ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้อีกปัจจัยหนึ่งที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้คืออุณหภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำที่พืชได้รับ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นจะทำให้พืชคายน้ำมากขึ้นทำให้พืชดูดน้ำมากขึ้นเพื่อทดแทนน้ำที่ต้นพืชสูญเสียไป จะได้ว่าปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้แปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิอากาศ

$$Tr \propto T$$

เมื่อนำข้อมูลการทดลองอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมาวาดกราฟเทียบกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ เป็นดังรูปที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



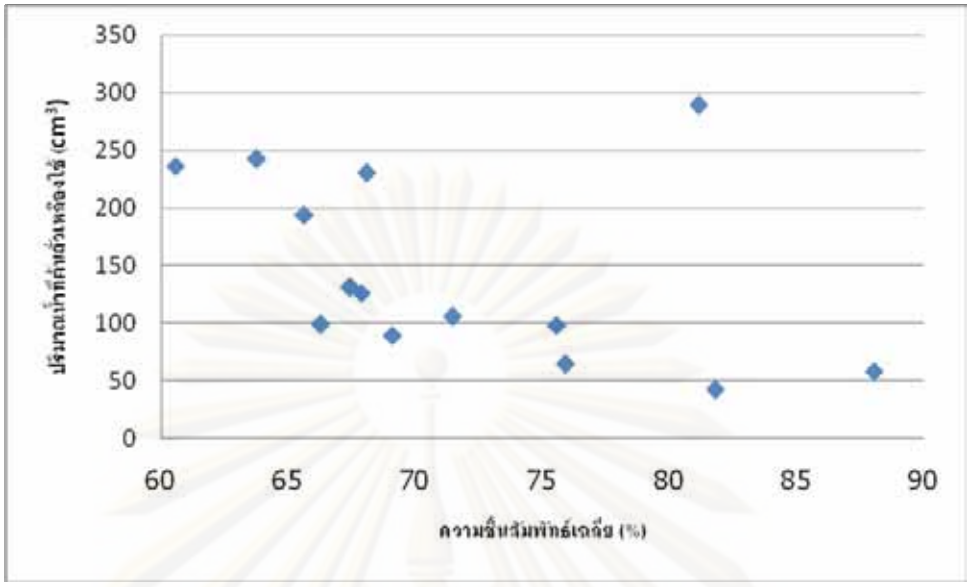
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้

ความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ส่งผลต่อการคายน้ำของพืช เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะทำให้ปริมาณน้ำในใบกับกับบรรยากาศมีความแตกต่างกันมาก น้ำจะระเหยออกมาก ดังนั้นปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้กับความชื้นสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$Tr \propto \frac{1}{H}$$

เมื่อนำข้อมูลการทดลองความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมาวาดกราฟเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ เป็นดังรูปที่ 4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยกับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ จะเห็นว่าแนวโน้มของข้อมูลเป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีลักษณะคล้ายเส้นตรง มีเพียงข้อมูลบางตัวที่ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากมีปัจจัยพื้นที่ใบของถั่วเหลืองเข้ามาเกี่ยวข้องและส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้

ปัจจัยทั้งสาม คือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และพื้นที่ใบ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยความชื้นจะแปรผกผันกับอุณหภูมิ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความชื้นอากาศลดลง ในขณะเดียวกันพื้นที่ใบจะแปรผันตามอุณหภูมิ อุณหภูมิจะส่งผลกระทบต่อจำนวนใบและพื้นที่ใบของถั่วเหลือง โดยต้นถั่วเหลืองที่เติบโตในสภาวะที่มีอุณหภูมิอากาศสูงกว่าจะมีจำนวนใบและพื้นที่ใบมากกว่าต้นถั่วเหลืองที่เติบโตในสภาวะที่มีอุณหภูมิอากาศต่ำกว่า [5] จากความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงสร้างแบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ มีรูปแบบตามสมการที่ (4.8)

$$Tr = \frac{(k_1 T + k_2)(k_3 LA + k_4)}{(k_5 H + k_6)} \tag{4.8}$$

โดยที่ k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 และ k_6 คือ พารามิเตอร์ของสมการ

รูปแบบของแบบจำลองที่สร้างนั้นมาจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัว คือ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และพื้นที่ใบรวมของถั่วเหลือง กับปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ ต่างมีแนวโน้มของข้อมูลเป็นไปในลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงนำรูปแบบของสมการเส้นตรงมาประยุกต์ใช้ในแบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้

นำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปวิเคราะห์เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีของทรัสท์-รีเจียน จะได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (4.9)

$$Tr = \frac{(32.127T - 431.806)(0.357LA + 91.311)}{(8.196H + 294.491)} \tag{4.9}$$

ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลือง จึงเป็นดังสมการที่ (4.10) ซึ่งได้มาจากการหาผลรวมของปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินกับปริมาณน้ำที่ถั่วเหลืองใช้

$$w = 761.466\frac{T}{H} + \frac{(32.127T - 431.806)(0.357LA + 91.311)}{(8.196H + 294.491)} \tag{4.10}$$

ในการหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean Relative Error, MRE) ระหว่างข้อมูลกับแบบจำลอง สามารถคำนวณได้จาก

$$MRE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right| \times 100 \tag{4.11}$$

โดยที่ y_i คือ ค่าของข้อมูล

$\hat{y}_i$ คือ ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

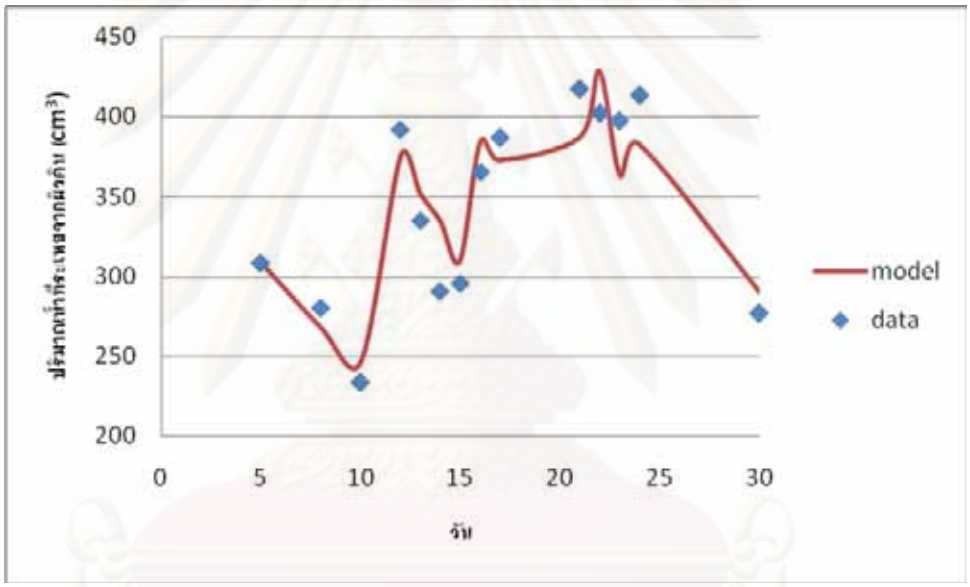
บทที่ 5

ผลการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงผลของแบบจำลองปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดิน แบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ และแบบจำลองการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลือง

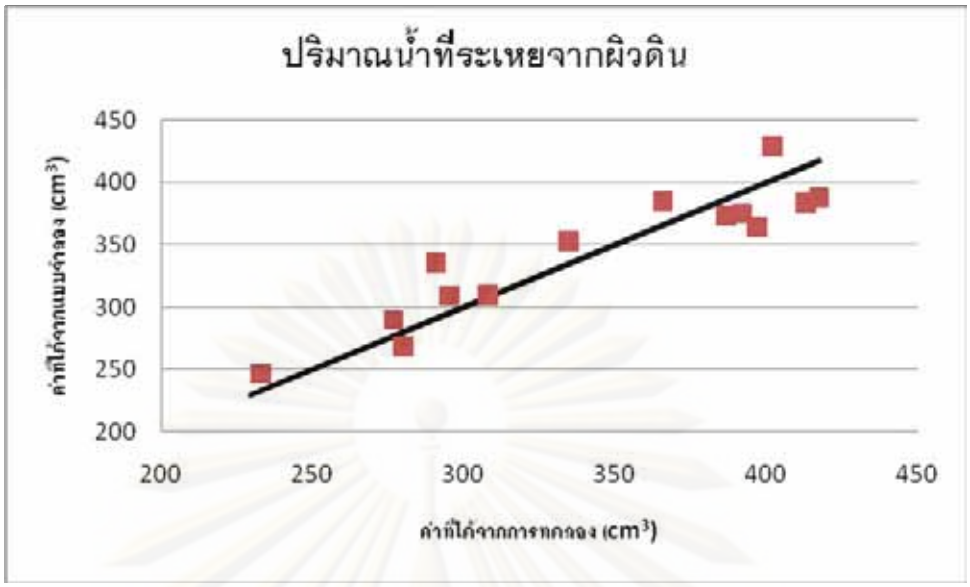
5.1 แบบจำลองปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดิน

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 และค่าที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดินในแต่ละวัน ได้ผลดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 และค่าที่ได้จาก
แบบจำลองปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดินในแต่ละวัน

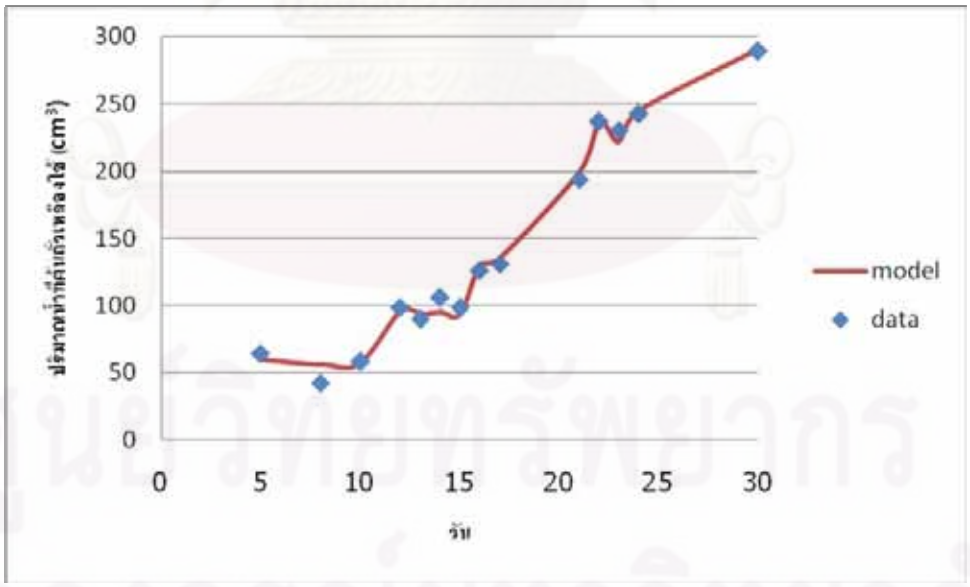
และเมื่อนำผลที่ได้จากแบบจำลองปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดินมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 ผลของการจำลองแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (MRE) 5.890%



รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง
กับค่าที่ได้จากแบบจำลองปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดิน

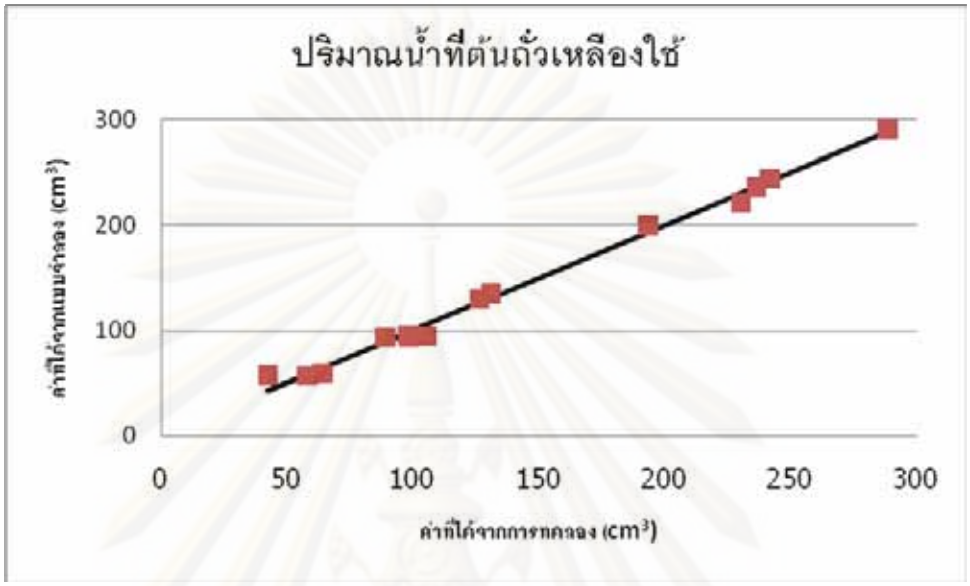
5.2 แบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 และค่าที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ในแต่ละวัน ได้ผลดังรูปที่ 5.3



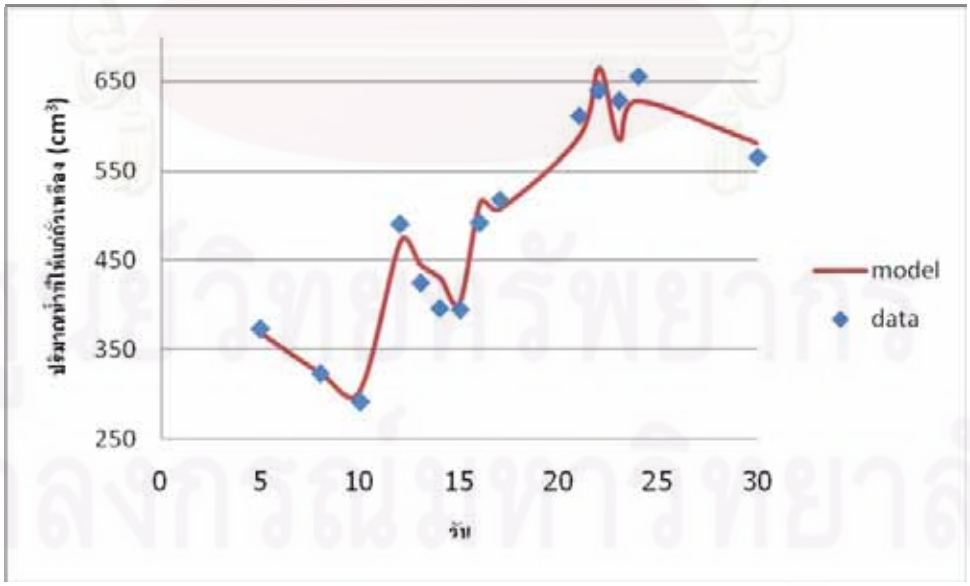
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 และค่าที่ได้จาก
แบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ในแต่ละวัน

เมื่อนำแบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 เป็นดังรูปที่ 5.4 ผลที่ได้จากแบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 5.688%



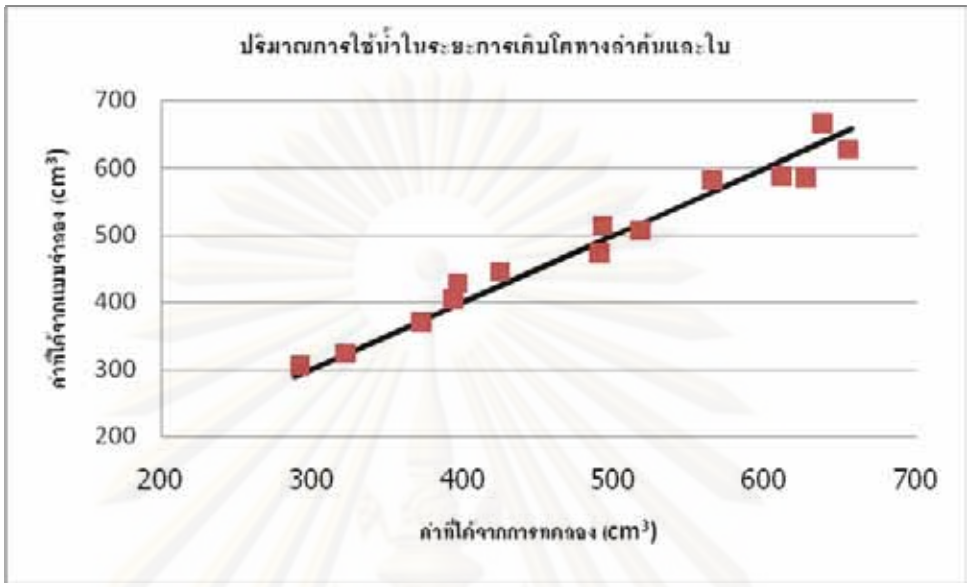
รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง
กับค่าที่ได้จากแบบจำลองปริมาณน้ำที่ถั่วเหลืองใช้

และเมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 และค่าที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองในแต่ละวัน ได้ผลดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 และค่าที่ได้จากแบบจำลอง
การใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองในแต่ละวัน

แบบจำลองการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลือง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง จะแสดงดังรูปที่ 5.6

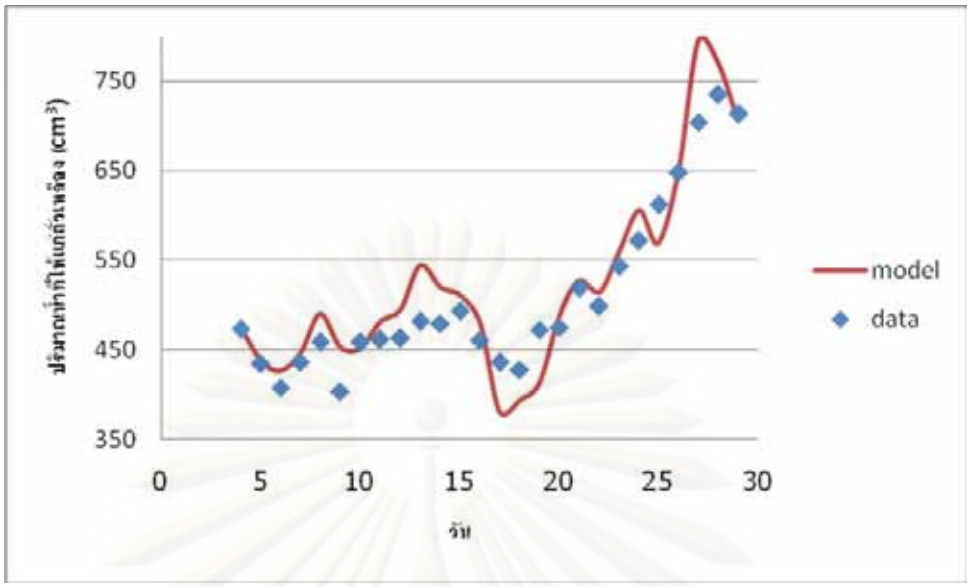


รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 กับค่าที่ได้จากแบบจำลองปริมาณการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบ

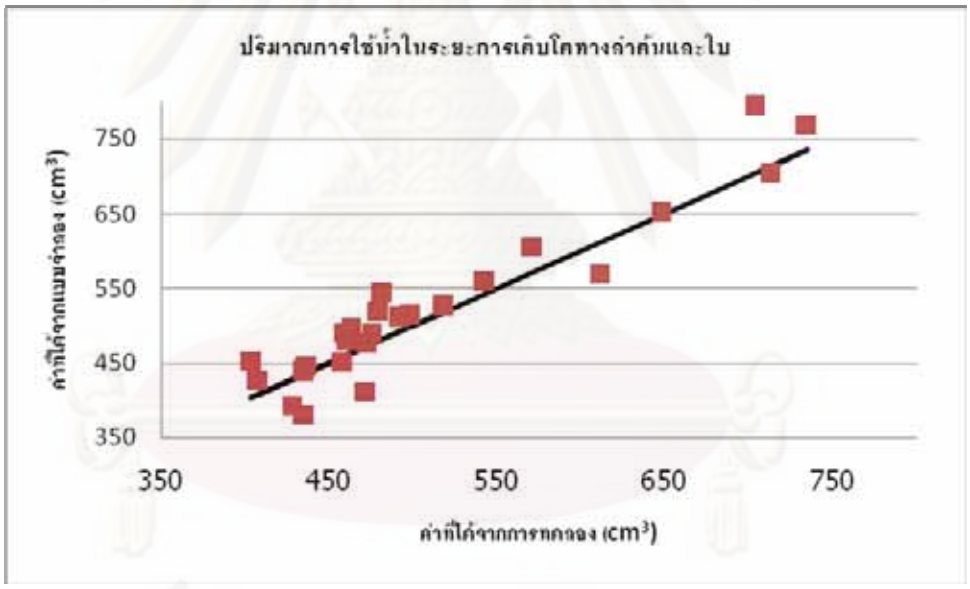
ผลที่ได้จากแบบจำลองปริมาณการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 3.820%

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองปลูกถั่วเหลืองช่วงที่ 2 คือ ตั้งแต่วันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2551 – วันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2552 มาทดสอบกับแบบจำลองการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลือง และนำมาวาดกราฟเปรียบเทียบในแต่ละวัน จะแสดงในรูปที่ 5.7 ผลของการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง แสดงดังรูปที่ 5.8 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 5.585%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 2 และค่าที่ได้จากแบบจำลองการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองในแต่ละวัน



รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 2 กับค่าที่ได้จากแบบจำลองปริมาณการใช้น้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบ

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการหาแบบจำลองการใช้น้ำเพื่อการจัดการน้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินร่วนเหนียว สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการทดลองปลูกถั่วเหลืองเพื่อเก็บข้อมูลนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการปลูกถั่วเหลืองในชุดดินกำแพงแสน และเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่ให้แก่ถั่วเหลือง อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความกว้างที่สุด – ความยาวที่สุดของใบถั่วเหลือง พบว่า อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และพื้นที่ใบ ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำที่ให้แก่ถั่วเหลือง โดยถั่วเหลืองจะต้องการน้ำมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง และพื้นที่ใบมากขึ้น

2. แบบจำลองการใช้น้ำเพื่อการจัดการน้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินร่วนเหนียว ประกอบด้วยแบบจำลองย่อย 2 แบบคือ แบบจำลองปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดิน และแบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ ซึ่งมีผลดังนี้

แบบจำลองปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดิน มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 5.890 เปอร์เซ็นต์ แบบจำลองปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 5.688 เปอร์เซ็นต์ และแบบจำลองการใช้น้ำของถั่วเหลือง มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 3.820 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองช่วงที่ 1 และเมื่อนำแบบจำลองการใช้น้ำของถั่วเหลืองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองช่วงที่ 2 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 5.585 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้มีประสิทธิภาพเพียงพอจะนำไปใช้ในการทำนายการใช้น้ำของถั่วเหลืองได้

3. แบบจำลองการใช้น้ำเพื่อการจัดการน้ำในระยะการเติบโตทางลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินร่วนเหนียว สามารถนำมาใช้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการปลูกถั่วเหลืองในเขตพื้นที่ที่มีสภาพดินเป็นดินร่วนเหนียว โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ภาคกลางซึ่งมีลักษณะดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนเหนียว

4. ข้อจำกัดของแบบจำลองคือ ใช้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้น้ำของถั่วเหลืองเพียงสามปัจจัย คือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และพื้นที่ใบของถั่วเหลือง ซึ่งอาจนำมาทำนายผลไม่ดีพอ

หากในสิ่งแวดล้อมนั้นมีความแตกต่างมากในเรื่องความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน การไหลของน้ำในดิน เป็นต้น

6.2 **ข้อเสนอแนะ**

ในการปรับปรุงแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้ที่ทำงานวิจัยภายหลังควรเพิ่มปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำของถั่วเหลือง เช่น ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน การไหลของน้ำในดิน เป็นต้น เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถทำนายผลได้ในสิ่งแวดล้อมที่ต่างกันมากขึ้น และในการทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลนั้น ต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำของถั่วเหลืองอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำ และจะทำให้แบบจำลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อการจัดการน้ำของถั่วเหลืองได้ดียิ่งขึ้นต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] สุดชล วุ้นประเสริฐ และ วันชัย ถนอมทรัพย์. การจัดการน้ำสำหรับถั่วเหลือง [Online]. กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: http://as.doa.go.th/fieldcrops/soy/oth/003.HTM

[2] Huck, M.G., Ishihara, K., Peterson, C.M., and Ushijima, T.. Soybean adaptation to water stress at selected stages of growth. Plant Physiol 73 (1983) : 422-427.

[3] Saylan, L.. The effects of the environmental factors on the evapotranspiration in different growth phases of soybean. Die Bodenkultur 51 (2000) : 127-134.

[4] Chunpin, C., and Jingcheng, C.. Study on simple transpiration model and fitted measurement time for dominant plant at mudstone area in Taiwan. 12th ISCO conference (2002) : 244-250.

[5] Pachepsky, L., Kaul, M., Walthall, C., Lydon, J., Kong, H., and Daughtry, C.. Soybean growth snd development visualized with L-systems simulations: effect of temperature. International Journal of Biotronics 33 (2005) : 31-47.

[6] Mahajan, P.V., Oliveira, F.A.R., Macedo, I.. Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms. Journal of Food Engineering 84 (2008) : 281-288.

[7] ทรงเชาว์ อินสมพันธ์. เอกสารคำสอน วิชา พืชไร่สำคัญของประเทศไทย (ก.พร. 313) เรื่อง ถั่วเหลือง (soybean)[Online]. แหล่งที่มา: http://agronomy.agri.cmu.ac.th/elearning/agron313/soybean.doc

[8] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M.. Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56 (1998) : 1-300.

[9] คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.

[10] Hopkins, W.G.. Introduction to plant physiology. New York,1999.

[11] Madsen, K., Nielsen, H.B., and Tingleff, O.. 2004. Methods for non-linear least squares problems[Online]. Available from: http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc_download.php/3215/pdf/imm3215.pdf

[12] Christ, M.M.. Temporal and spatial patterns of growth and photosynthesis in leaves of dicotyledonous plants under long-term CO2- and O3- exposure.

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2005.

[13] วิระศักดิ์ เทพจันทร์ และ สิทธิ์ แดงประดับ. พันธุ์ถั่วเหลือง[Online]. กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: http://as.doa.go.th/fieldcrops/soy/var/001.pdf

[14] พัฒนาที่ดิน, กรม. ชุดดินจัดตั้งของประเทศไทย[Online]. แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/thaisoils_museum/pf_desc/central/Ks.htm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ภาคผนวกนี้ แสดงลักษณะของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ลักษณะของดินกำแพงแสน และแสดงข้อมูลที่ได้จากการทำการทดลองครั้งที่ 1 ปลูกถั่วเหลืองตั้งแต่วันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2551 ถึง วันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2551 โดยข้อมูลของการทดลองที่ 1 แสดงอยู่ในลักษณะตาราง บอกข้อมูลเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ พื้นที่ใบรวม ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดิน ปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ และปริมาณน้ำที่ให้แก่ถั่วเหลือง ตามอายุ (วัน) ของต้นถั่วเหลือง และข้อมูลของการทดลองครั้งที่ 2 ปลูกถั่วเหลืองตั้งแต่วันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2551 ถึงวันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2552 โดยข้อมูลของการทดลองที่ 2 แสดงอยู่ในลักษณะตาราง บอกข้อมูลเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ พื้นที่ใบรวม และปริมาณน้ำที่ให้แก่ถั่วเหลือง ตามอายุ (วัน) ของต้นถั่วเหลือง ดังนี้

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ชม.60)

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ได้จากการคัดเลือกจากคู่ผสมระหว่างพันธุ์ Williams × สจ.4 เมื่อปี 2518 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ จำนวน 22 คู่ผสม คัดเลือกรุ่นลูกโดยวิธีสืบประวัติเพื่อหาสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงทนทานต่อโรคที่สำคัญ กรมวิชาการเกษตรพิจารณาเป็นพันธุ์รับรองวันที่ 30 กันยายน 2530 ลักษณะเด่น คือ ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 280 – 350 กิโลกรัมต่อไร่ มีความทนทานต่อโรคราสนิม โรคใบจุดนูน และโรคราน้ำค้างดีกว่าพันธุ์ สจ.4 และสจ.5 สามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้กว้าง เหมาะสำหรับใช้เป็นพันธุ์ปลูกทุกสภาพท้องถิ่น มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ คือ โคนต้นอ่อนสีเขียวอ่อน ดอกสีขาว ขนสีน้ำตาล เปลือกหุ้มเมล็ดแห้งสีเหลือง ตาเมล็ดแก่สีน้ำตาล เมล็ดแก่รูปร่างค่อนข้างกลม ใบสีเขียวเข้ม ลักษณะลำต้นไม่ทอดยอด แตกกิ่งน้อย ขึ้นอยู่กับระยะปลูกและจำนวนต้นต่อไร่ มีลักษณะทางการเกษตร คือ ผลผลิตเฉลี่ย 260 – 360 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวนฝักต่อต้น 50 ฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝัก 2 เมล็ด น้ำหนัก 100 เมล็ด 15 กรัม ความสูง 40 – 64 เซนติเมตร จำนวนข้อ 12 ข้อ จำนวนกิ่งน้อย อายุออกดอก 35 วัน อายุเก็บเกี่ยว 90 – 100 วัน สามารถปลูกได้ทุกแหล่งปลูกถั่วเหลือง

ชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen Series: Ks)

ชุดดินกำแพงแสน เป็นกลุ่มชุดดินที่ 33 กำเนิดจากตะกอนน้ำพามาทับถมอยู่บนเนินตะกอนรูปพัด สันดินริมน้ำ การระบายน้ำดี การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลางถึงช้า สภาพซึมผ่านได้ของน้ำปานกลาง การใช้ประโยชน์สามารถใช้ปลูกไม้ผล หรือปลูกพืชไร่ เช่น อ้อย ข้าวโพด กล้วย ถั่ว ฝ้าย และยาสูบ สามารถพบดินกำแพงแสนบริเวณด้านตะวันตกของที่ราบลุ่มภาคกลางของแม่น้ำต่างๆ ลักษณะและสมบัติของดิน เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วนสีน้ำตาลหรือน้ำตาลเข้ม ปฏิกิริยาดินเป็นด่างอ่อน (pH 8.0) ดินบนตอนล่างเป็นดินร่วนปนทราย

แป้งหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งหรือดินร่วน สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงด่างอ่อน (pH 7.0 – 8.0) ดินล่างตอนล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม ปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงด่างอ่อน (pH 7.0 – 8.0)

ข้อมูลจากการทดลองครั้งที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2551 ถึง วันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2551

อายุ (วัน)	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	พื้นที่ใบรวม (cm^2)	ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดิน (cm^3)	ปริมาณน้ำที่ต้นถั่วเหลืองใช้ (cm^3)	ปริมาณน้ำที่ให้แก่ถั่วเหลือง (cm^3)
5	30.776	75.889	18.576	308.333	64.333	372.667
8	28.779	81.807	53.093	280.333	42.333	322.667
10	28.511	88.061	78.716	233.333	58.333	291.667
12	32.691	66.288	109.313	392	98.667	490.667
13	31.954	69.117	124.278	335	89.333	424.333
14	31.389	71.449	149.011	290.667	105.667	396.333
15	30.7	75.561	175.55	295.667	98.333	394
16	34.25	67.867	207.79	365.667	126.333	492
17	33	67.44	252.749	387	131	518
21	33.382	65.631	468.891	417.333	194	611.333
22	34.072	60.554	532.27	402.333	236.333	638.667
23	32.482	68.073	608.598	397.333	230.333	627.667
24	32.059	63.748	680.395	413.333	242.333	655.667
30	30.892	81.14	1135.572	276.667	289	565.667

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลจากการทดลองครั้งที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2551 ถึง วันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2552

อายุ (วัน)	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	พื้นที่ใบรวม (cm^2)	ปริมาณน้ำที่ให้แก่ถั่วเหลือง (cm^3)
4	30.502	56.843	5.811	472.667
5	29.521	59.892	14.561	435
6	29.048	60.822	25.352	407.667
7	28.767	57.777	37.829	436.667
8	28.927	52.925	48.374	458.667
9	27.436	54.254	56.807	403.667
10	28.355	56.902	63.790	458.333
11	29.552	56.169	75.591	461.667
12	30.305	56.720	90.472	463
13	30.935	53.115	107.917	481.667
14	30.746	55.845	125.975	479.333
15	30.520	57.113	148.666	492.667
16	29.733	59.920	172.832	461
17	28.082	72.436	198.165	435.333
18	28.840	73.957	234.647	428
19	29.325	73.855	285.031	472
20	30.830	67.532	343.133	475.333
21	31.016	64.858	408.838	518.333
22	28.089	59.563	467.374	498.667
23	28.2	56.338	534.764	543
24	28.843	54.873	609.289	571.333
25	28.985	61.668	692.813	611.333
26	30.595	59.517	779.033	648
27	31.047	50.255	876.759	704
28	30.416	52.544	967.481	734.667

29	29.754	57.124	1003.288	713

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภัคพรรณ พานิช เกิดวันจันทร์ที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2526 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปี 2548 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคณนา ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2544

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย