การประมาณการขาดธาตุไนโตรเจนของถั่วเหลืองจากสีใบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

นายสุรศักดิ์ ทรัพยากร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการคณนา ภาควิชาคณิตศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-17-5109-5
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LEAF COLOR BASED APPROXIMATION OF NITROGEN DEFICIENCY IN SOYBEAN USING NEURAL NETWORKS

Mr.Surasak Subpayakorn

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2005
ISBN 974-17-5109-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณการขาดธาตุไนโตรเจนของถั่วเหลืองจากสีใบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
โดย	นาย สรุศักดิ์ ทรัพยากร
สาขาวิชา	วิทยาการคณนา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สุชาดา ศิริพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร. ชิดชนก เหลือสินทรัพย์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุสรณ์ ชนวีระยุทธ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ สุชาดา ศิริพันธุ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร. ชิดชนก เหลือสินทรัพย์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. รัชลิดา ลิปิกรณ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุรศักดิ์ ทรัพยากร : การประมาณการขาดธาตุไนโตรเจนของถั่วเหลืองจากสีใบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (LEAF COLOR BASED APPROXIMATION OF NITROGEN DEFICIENCY IN SOYBEAN USING NEURAL NETWORKS) อ.ที่ปรึกษา :รศ.สุชาดา ศิริพันธุ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ.ดร.ชิดชนก เหลือสินทรัพย์ ; 70 หน้า. ISBN 974-17-5109-5.

ปริมาณไนโตรเจนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีใบถั่วเหลืองและปริมาณของผลผลิต วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ต้องการของถั่วเหลือง โดยใช้ความแตกต่างของค่าสีใบจริงที่ความเข้มข้นของไนโตรเจน 3 มิลลิโมลาร์ กับค่าสีใบจริงที่ได้จากการพิจารณา ในระบบสี RGB และอายุถั่วเหลืองเป็นข้อมูลนำเข้า และมีข้อมูลนำออกเป็นความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ต้องการ ผลของข้อมูลนี้สามารถนำมาสร้างตารางสีเพื่อใช้ตรวจสอบหาความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ถั่วเหลืองต้องการได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา...คณิตศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา...วิทยาการคณนา..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา...2548..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4672469223 : MAJOR COMPUTATIONAL SCIENCE

KEY WORD: LEAF COLOR / NITROGEN DEFICIENCY / NEURAL NETWORKS

SURASAK SUPPAYAKORN :LEAF COLOR BASED APPROXIMATION OF NITROGEN DEFICIENCY IN SOYBEAN USING NEURAL NETWORKS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUCHADA SIRIPANT, THESIS COADVISOR : PROF. CHIDCHANOK LURSINSAP,Ph.D., 70 pp. ISBN 974-17-5109-5.

The nitrogen amount affects the change of the soybean leaf color and the yield amount. This thesis proposes a simulation of neural networks for predicting the needed nitrogen concentration of soybean. Input data are the difference between the unifoliate leaf color in 3 milimolar concentrated nitrogen and the unifoliate leaf color for examine in RGB color system and the age of soybean. Output data are the needed nitrogen concentration. The experimental result can be demonstrated in the color chart for examining the needed nitrogen concentration.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department...Mathematics..... Student's signature.....

Field of study...Computational Science..... Advisor's signature.....

Academic year...2005..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาช่วยเหลือจาก รองศาสตร์จารย์ สุชาดา ศิริพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.ชิดชนก เหลือ สินทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาคำแนะนำตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุสรณ์ ชนวีระยุทธ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชลิดา ลิปิกรณ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ หาญสืบสาย และ อ.ดร. พิชญดา เกตุเมฆ ที่ให้ความกรุณายืมใช้เครื่องมือวัดสี ตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้คำแนะนำการทดลอง และการใช้เครื่องมือผสมสารละลายธาตุอาหาร

ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมรุ่นคณนาทุกคน และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ศูนย์วิจัย AVIC ทุกคน สำหรับคำปรึกษา คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ และความช่วยเหลือในทุกๆเรื่อง ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่ได้สนับสนุนทุนสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 2

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 2

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยสีใบพืช 4

2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองแบบและการสร้างภาพนามธรรมของการเจริญเติบโตของพืช 5

3 ทฤษฎีพื้นฐาน 6

3.1 โครงข่ายประสาทเทียม 6

3.2 ระบบไฮโดรโปนิกส์ 14

3.3 ระบบสี 17

4 การออกแบบการทดลอง การจำลองแบบและการสร้างภาพนามธรรม 21

4.1 การออกแบบการทดลอง 21

4.2 การจำลองแบบปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับจากสีใบถั่วเหลือง 25

4.3 การสร้างภาพนามธรรมของสีใบถั่วเหลือง 26

5 ผลงานวิจัย 27

5.1 ผลการทดลองและภาพนามธรรม 27

5.2 ผลแบบจำลอง 31

หน้า

6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 33
6.1 สรุปผลการทดลอง 33
6.2 ข้อเสนอแนะ 34
รายการอ้างอิง 35
ภาคผนวก 37
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 3.1 วิธีการเตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) 15

ตารางที่ 3.2 ตารางสารละลายธาตุอาหารสมบูรณ์สูตร Hoagland ต่อน้ำ 2 ลิตร 16

ตารางที่ 4.1 ตารางสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น 0% 4% 8% 12% 16% และ 20% ของไนโตรเจนสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland 23

ตารางที่ 5.1 แสดงผลของแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลของข้อมูลทดสอบ 32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเซลล์ประสาท 7
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเซลล์ประสาทเทียม 7
รูปที่ 3.3 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว 8
รูปที่ 3.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น 11
รูปที่ 3.5 การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร 14
รูปที่ 3.6 แสดงการมองเห็นสีของมนุษย์ 17
รูปที่ 3.7 แสงระบบสี RGB 19
รูปที่ 3.8 ระบบสี RGB ระบบพิกัด 3 แกนรูปทรงลูกบาศก์ 19
รูปที่ 4.1 เครื่องวัดสี X-Rite spectrophotometer 24
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการวัดสีใบทั้งหมด 6 ตำแหน่ง 24
รูปที่ 4.3 ภาพนามธรรมโครงสร้างใบถั่วเหลืองและสีใบถั่วเหลือง 26
รูปที่ 4.4 ภาพนามธรรมสีใบถั่วเหลืองในช่วงเวลาต่างๆ 26
รูปที่ 5.1 ภาพนามธรรมสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นไนโตรเจนที่เวลาต่างๆ 28
รูปที่ 5.2 ภาพนามธรรมสีใบลำดับชั้นต่างๆถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้น
ไนโตรเจนที่เวลาสิ้นสุดการทดลอง 29
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นไนโตรเจนที่ได้รับกับน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 30
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นไนโตรเจนที่ได้รับกับความสูงเฉลี่ย 30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ธาตุอาหารเป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีพ การเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช หากพืชได้รับธาตุอาหารธาตุใดธาตุหนึ่งที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช พืชจะแสดงลักษณะอาการผิดปกติออกมาซึ่งสามารถมองเห็นได้ ซึ่งอาการเหล่านี้จะช่วยให้ทราบว่าพืชที่ปลูกนั้นมีความต้องการธาตุอาหารชนิดใด ทำให้สามารถให้ปุ๋ยชนิดนั้นแก่พืชได้อย่างทันท่วงที

ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก และมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก หากพืชได้รับธาตุไนโตรเจนไม่เพียงพอพืชจะแสดงลักษณะอาการผิดปกติออกมาซึ่งสามารถมองเห็นได้ คือ ลักษณะสีใบล่างจะเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเหลือง ใบที่มีสีเหลืองจะหลุดร่วงจากต้นและค่อยๆลุกลามไปยังใบที่อยู่ถัดไปด้านบน ส่วนใบอ่อนจะมีสีเขียวซีดเหลือง ส่วนลักษณะต้นจะเตี้ยแคระแกรน

การศึกษาลักษณะสีใบที่มีผลกระทบจากปริมาณไนโตรเจนเป็นปัญหาน่าสนใจที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองปลูกถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้น 0% 20% 40% 60% 80% และ100% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-35 วัน (ภาคผนวก) ผลการทดลองที่ได้ทำให้ทราบว่าผลกระทบจากความเข้มข้น 20%-100% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland (ความเข้มข้นของไนโตรเจน 3-15 มิลลิโมลาร์)ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและค่าสีใบในระบบสี RGB ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการทดลองปลูกถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้น 0% 4% 8% 12% 16% และ20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-33 วัน เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับหาความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับจากการพิจารณาสีใบถั่วเหลือง และสร้างภาพนามธรรมสีใบถั่วเหลือง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1) พัฒนาแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้เป็นตัวแบบสำหรับการประมาณค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ต้นถั่วเหลืองได้รับ

2) สร้างภาพนามธรรมสีใบถั่วเหลืองสำหรับใช้เป็นตารางสีใบในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ต้นถั่วเหลืองได้รับ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พืชที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ชม.60)

2. ในการเพาะปลูกจะทำการเพาะปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหารโดยใช้สารละลายอาหารสูตร Hoagland

3. ระยะเวลาการทดลองปลูกถั่วเหลืองในสารละลายใช้เวลา 33 วัน ตั้งแต่วันที่ 18 ต.ค. 47-19 พ.ย. 47 และการเพาะปลูกถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้น 0%, 4%, 8%, 12%, 16% และ 20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland อยู่ในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-33 วัน มี 4 ซ้ำ

4. ใบถั่วเหลืองที่ทำการทดลองใช้วัดค่าสีใบ คือ ใบจริงและใบประกอบรวมทั้งหมด และเริ่มวัดสีใบเมื่อใบกางใบออก

5. ค่าสีใบของถั่วเหลืองเป็นระบบสี RGB

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ คือ ได้ตัวแบบของการประมาณค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ต้นถั่วเหลืองได้รับจากการพิจารณาค่าสีใบจริงของถั่วเหลือง ซึ่งผลจากตัวแบบสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ถั่วเหลืองต้องการได้ และได้ตารางสีใบถั่วเหลืองสำหรับใช้ประมาณค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนของต้นถั่วเหลือง

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไนโตรเจนด้วยสีใบของพืช การจำลองและการสร้างภาพนามธรรมการเจริญเติบโตของพืช

2.ทำการทดลองปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหาร พร้อมกับวัดค่าสีใบด้วยเครื่องมือ X-Rite Spectrophotometer ในแต่ละวัน

3.นำข้อมูลสีใบที่ได้จากเครื่องวัดสี ระบบสี XYZ แปลงค่าเป็นระบบสี RGB โดยใช้สมการ standard RGB

4.พัฒนาแบบโครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัวแบบสำหรับการประมาณค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับด้วยสีใบในระบบสี RGB ของถั่วเหลือง

5.สร้างภาพนามธรรมการเปลี่ยนแปลงสีใบถั่วเหลืองสำหรับใช้เป็นตารางสีใบในการบอกความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ต้นถั่วเหลืองได้รับ

6.จัดทำเอกสารรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้แบ่งออกเป็น 6 บท โดยบทที่ 2 จะกล่าวถึงเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย บทที่ 4 จะกล่าวถึงการทดลอง การจำลองแบบและการสร้างภาพนามธรรม บทที่ 5 จะกล่าวถึงผลการวิจัย และส่วนสุดท้าย บทที่ 6 จะกล่าวถึง สรุปผลและข้อเสนอแนะของงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไนโตรเจนด้วยสีใบพืชนั้น ได้มีงานวิจัยมากมายที่เสนอวิธีต่างๆเพื่อบ่งบอกว่าพืชมีภาวะขาดธาตุไนโตรเจนหรือไม่โดยใช้สีใบพืชเป็นบ่งบอกลักษณะอาการซึ่งอาศัยเครื่องมือวัดค่าสีใบหรือตารางสีใบพืช ส่วนงานวิจัยทางด้านการจำลองแบบและการสร้างภาพนามธรรมการเติบโตของพืช เป็นงานวิจัยที่หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และนำไปสร้างภาพนามธรรม โดยมุ่งเน้นที่สร้างภาพกราฟิกของพืชที่เสมือนจริง

2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยสีใบพืช

ในปี ค.ศ. 1999 Mahmoud M. Shaahar , A.A. El-Sayed และ E.A.A. Abou El-Nour ได้เสนอการใช้เครื่องวัดคลอโรฟิลล์ (Hydro N-Tester ของ Minolta) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ ความเข้มข้นของไนโตรเจน ความเข้มข้นของแมกนีเซียม และความเข้มข้นของเหล็กในใบพืชยืนต้น ได้แก่ มะม่วง ส้ม ฝรั่ง และองุ่น โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ ความเข้มข้นของไนโตรเจน ความเข้มข้นของแมกนีเซียม และความเข้มข้นของเหล็กในใบพืชยืนต้นกับค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดคลอโรฟิลล์[1]

ในปี ค.ศ. 2003 Simone Graeff และ Wilhelm Claupein ได้เสนอวิธีการถ่ายภาพสีใบของข้าวโพดด้วยกล้องดิจิตอล LEICA S1 Pro และเลนส์ Filter Ira E55 แบบต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขของแสงที่กำหนดสำหรับการนำค่าสีใบที่ถ่ายภาพไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าสีใบในระบบสี L*a*b* สำหรับเลนส์ Filter Ira E55 แบบต่างๆ กับความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบข้าวโพด[2]

ในปี ค.ศ.2003 Woon-Ho Yang , Shaobing Peng , Jianliang Huang , Arnel L. Sanico , Roland J. Buresh และ Christian Witt ได้เสนอวิธีการใช้ตารางสีใบสำหรับการประมาณค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบข้าวเพื่อตรวจสอบภาวะการขาดธาตุไนโตรเจน และหาความสัมพันธ์ระหว่างตารางสีใบชนิดต่างๆ กับเครื่องวัดคลอโรฟิลล์(SPAD-502)[3]

2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองแบบและการสร้างภาพนามธรรมของการเจริญเติบโตของพืช

ในปี ค.ศ. 1968 Aristid Lindenmayer ได้เสนอ L-system ซึ่งเป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Formalism) ที่สามารถนำมาจำลองการเติบโตของพืชได้[4] ในปี ค.ศ. 1984 Alvy Ray Smith นักวิจัยด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกได้แสดงว่า L-system สามารถนำไปใช้สร้างภาพนามธรรมของต้นไม้ที่เสมือนจริง[5]

Somporn Chuai-Aree Suchada Siripant และ Chidchanok Lursinsap ได้ใช้ Parametric Bracketed L-system และแบบจำลองการเติบโตซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาจำลองและสร้างภาพนามธรรมการเติบโตของพืชตลอดช่วงเวลาการเติบโต โดยใช้ข้อมูลที่เก็บได้จากการทดลองมาสร้างแบบจำลอง[6,7]

Anuchit Jitpattanakul Suchada Siripant และ Chidchanok Lursinsap ได้เสนอตัวแบบ Multi-logistic เป็นแบบจำลองการเจริญเติบโตในภาวะการขาดน้ำของถั่วเหลือง และสร้างภาพนามธรรมของการเจริญเติบโตในภาวะการขาดน้ำของถั่วเหลืองโดยใช้ข้อมูลการเจริญเติบโตจากแบบจำลองที่ได้[8]

Apichat Suratanee Suchada Siripant และ Chidchanok Lursinsap ได้เสนอตัวแบบ Neural Network เป็นแบบจำลองของการเจริญเติบโตในปริมาณธาตุอาหาร N-P-K ที่ระดับต่างๆในสารละลายธาตุอาหารของถั่วเหลือง และสร้างภาพนามธรรมของการเจริญเติบโตในปริมาณธาตุอาหาร N-P-K ที่ระดับต่างๆ โดยใช้ข้อมูลการเจริญเติบโตจากแบบจำลองที่ได้[9]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

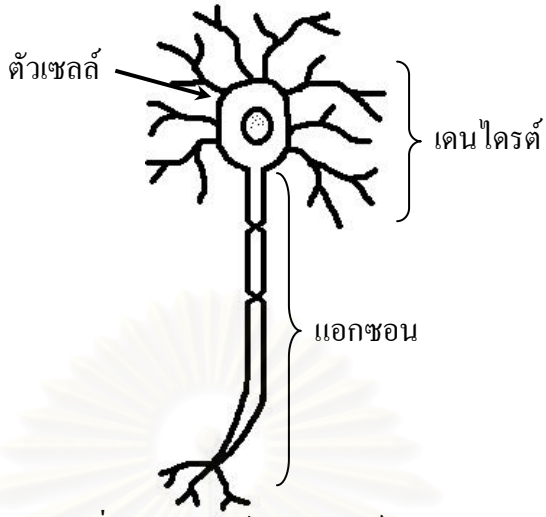
ทฤษฎีพื้นฐาน

3.1 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)

3.1.1 ระบบประสาททางชีววิทยา (Biological Neural)

เซลล์ประสาทเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของระบบประสาทมีลักษณะแตกต่างจากเซลล์อื่นๆในร่างกายและมีขนาดรูปร่างต่างกัน แต่ละเซลล์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ตัวเซลล์ (cell body) และใยประสาท (nerve fiber) รูปที่ 3.1 ลักษณะตัวเซลล์มีรูปร่างหลายแบบ เช่น วงกลม วงรี หรือสี่เหลี่ยม ภายในตัวเซลล์ประกอบด้วยนิวเคลียส และไซโทพลาซึม รวมทั้งออริแกนแนลชนิดต่างๆเหมือนเซลล์ทั่วไป ลักษณะใยประสาทเป็นส่วนของไซโทพลาสซึมของเซลล์ที่ยื่นออกจากตัวเซลล์เป็นแขนงเล็กๆแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เดนไดรต์และแอกซอน เป็นเซลล์ที่ยื่นออกจากตัวเซลล์เป็นใยสั้นๆหลายใย ทำหน้าที่นำกระแสประสาทเข้าสู่ตัวเซลล์ แอกซอนเป็นส่วนที่ยื่นออกจากตัวเซลล์เพียงใยเดียว ทำหน้าที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์ บริเวณช่องว่างระหว่างปลายเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทเซลล์หนึ่งกับปลายแอกซอนของเซลล์ประสาทอีกเซลล์หนึ่ง เรียกว่า ไซแนปส์

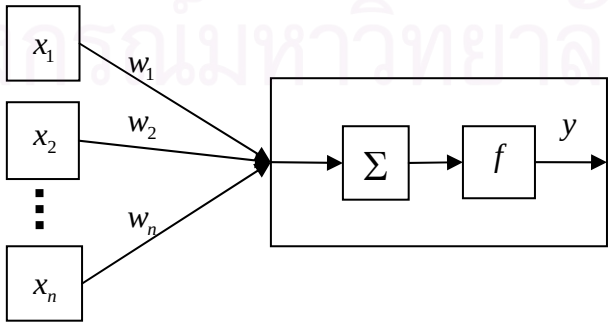
การทำงานของเซลล์ประสาทเป็นการนำกระแสประสาทหรือเป็นการส่งสัญญาณประสาทที่มีการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical reaction) เมื่อเซลล์ประสาทได้รับสิ่งกระตุ้นตรงบริเวณอวัยวะที่ได้รับสิ่งกระตุ้นหรือสมองหรือไขสันหลัง จะเกิดกระแสประสาทตรงปลายเดนไดรต์ กระแสประสาทจากปลายเดนไดรต์จะเข้าสู่ตัวเซลล์เพื่อทำการประมวลกระแสประสาทและทำการส่งกระแสประสาทไปยังปลายแอกซอน จากนั้นจะเกิดการถ่ายโอนกระแสประสาทจากปลายแอกซอนไปยังปลายเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทอื่นๆตรงบริเวณไซแนปซ์ กระแสประสาทจะไหลส่งผ่านไปทั่วเซลล์ประสาทอื่นๆที่อยู่ติดกันจนถึงอวัยวะที่ตอบสนอง



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเซลล์ประสาท

3.1.2 ระบบประสาทเทียม (Artificial Neural)

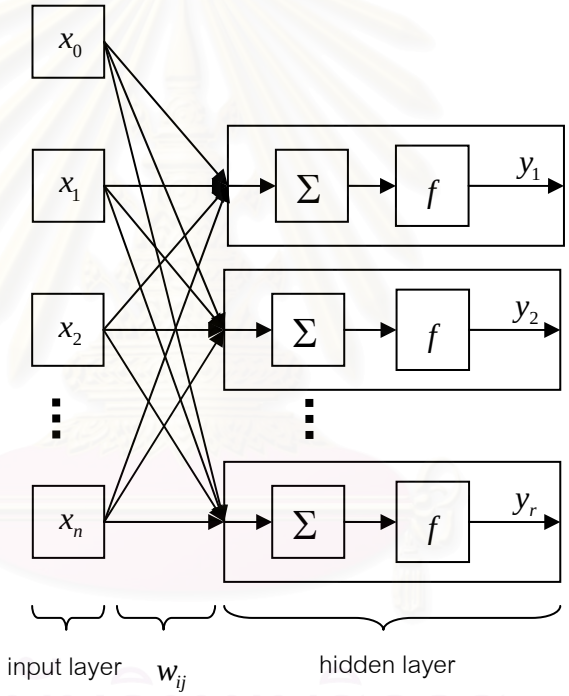
เซลล์ประสาทเทียมถูกจำลองให้มีลักษณะโครงสร้างและการทำงานเช่นเดียวกับเซลล์ประสาท ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เซลล์ประสาทเทียมมีข้อมูลนำเข้า $x_1, x_2, ..., x_n$ เปรียบได้กับสัญญาณกระแสประสาทที่ส่งเข้ามาตรงแต่ละปลายเดนไดรต์ แต่ละข้อมูลนำเข้าถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักที่สัมพันธ์กัน ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1, w_2, ..., w_n$ เปรียบได้กับค่าความแข็งแรงของไซแนปส์ ผลรวมของผลคูณข้อมูลนำเข้ากับค่าถ่วงน้ำหนักจะถูกรวมด้วยกัน $(x_1w_1 + x_2w_2 + ... + x_nw_n)$ เพื่อกำหนดระดับการกระตุ้นของเซลล์ประสาท เปรียบได้กับกระแสประสาทผ่านตัวเซลล์ จากนั้นผลรวมที่ได้จะถูกผ่าน Activate function ได้แก่ ฟังก์ชันลอจิสติค (Logistic function) หรือฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) เป็นต้น จะได้ข้อมูลนำออกมีค่าเป็น y เปรียบเทียบได้กับสัญญาณกระแสประสาทออกจากปลายแอกซอน



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเซลล์ประสาทเทียม

3.1.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Percepton)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวมีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย input layer และ output layer ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ใน input layer ประกอบด้วย bias node มีค่าเป็น $x_0 = 1$ และ input node มีค่าเป็น $x_1, x_2, ..., x_n$ ใน output layer ประกอบด้วย output node มีค่าเป็น $y_1, y_2, ..., y_r$ ในแต่ละ input node จะเชื่อมกับ output node ทั้งหมดโดยมีค่าถ่วงน้ำหนัก w_{ij} อยู่ประจำในแต่ละเส้นเชื่อม



รูปที่ 3.3 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวเริ่มต้นด้วยข้อมูลนำเข้า $x_0, x_1, x_2, ..., x_n$ เข้ามาจะถูกคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก w_{ij} ระหว่าง input layer กับ output layer แล้วส่งค่าเข้าไปแต่ละ output node เพื่อรวมค่าผลคูณที่ได้แล้วส่งค่าผลรวมผ่าน activate function $f(a)$ จะได้ข้อมูลนำออกมีค่าเป็น $y_1, y_2, ..., y_r$ ซึ่งสามารถเขียนในรูปสมการดังนี้

$$y_j = f(\sum_{i=0}^{n} w_{ij} x_i) \text{ สำหรับทุกๆ j=1,2,…,r}$$

การที่จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวให้มีประสิทธิภาพการทำงานได้อย่างถูกต้องสูงสุดได้นั้นต้องให้โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวมีการเรียนรู้กับชุดข้อมูลนำเข้าและชุดข้อมูลนำออก วิธีการเรียนรู้ที่นิยมกันคือ วิธีการเดลต้า ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะเป็นค่าถ่วงน้ำหนัก w_{ij}

ขั้นตอนการเรียนรู้

1.ทำการสุ่มค่าถ่วงน้ำหนัก w_{ij}

2.กำหนดค่าสูงสุดของการเรียนรู้(MaxEpoce) กำหนดค่าผิดพลาดรวมสูงสุด (E) และกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ (η)

3.ใส่ค่าข้อมูลนำเข้า $x_0 = 1, x_1, x_2, ..., x_n$ และข้อมูลนำออก $d_1, d_2, ..., d_r$

4.คำนวณค่า net_j ในรูปสมการดังนี้

$$net_j = \sum_{i=0}^{n} w_{ij} x_i \qquad \text{สำหรับทุกๆ j=1,2,…,r}$$

5.คำนวณค่า y_j ในรูปสมการดังนี้

$$y_j = f(net_j) \qquad \text{สำหรับทุกๆ j=1,2,…,r}$$

6.คำนวณค่าผิดพลาด ในรูปสมการดังนี้

$$\delta_j = (d_j - y_j) \qquad \text{สำหรับทุกๆ j=1,2,…,r}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.ปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก w_{ij} ในรูปสมการดังนี้

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta\delta_j x_i \qquad \text{สำหรับทุกๆ i=0,1,2,…,n และ j=1,2,…,r}$$

8.ทำการเรียนรู้จนครบชุดข้อมูลนำเข้าให้นับจำนวนรอบของการเรียนรู้เพิ่มที่ละหนึ่ง (Epoce) และถ้ายังไม่ครบให้กลับไปทำข้อ 3

9.คำนวณค่าผิดพลาดรวม ในรูปสมการดังนี้

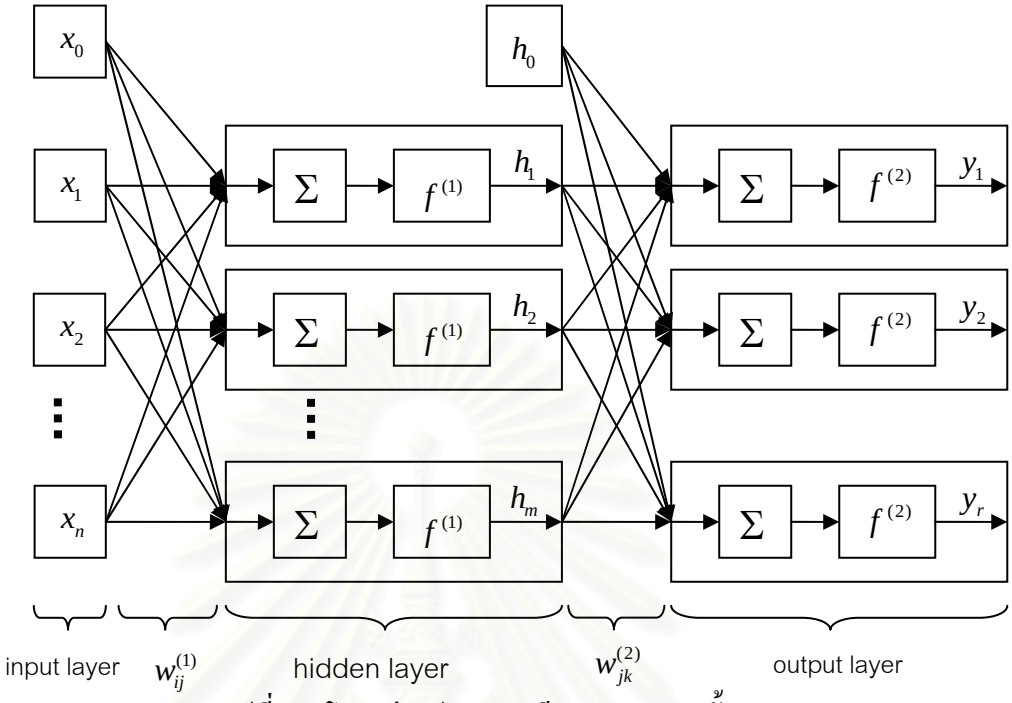
$$e = \frac{1}{2P}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{r}(d_j - y_j)^2$$ โดยที่ P คือจำนวนชุดข้อมูลนำเข้า

10.ตรวจสอบค่าผิดพลาดรวมที่คำนวณได้จากข้อ 9 ถ้าค่า e<E หรือ Epoce>MaxEpoce แล้วการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมเสร็จสมบูรณ์ ถ้ามากกว่าให้กลับไปทำข้อ3 ใหม่โดยเริ่มต้นที่ชุดข้อมูลนำเข้าชุดแรก

เมื่อขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเสร็จสมบูรณ์จะได้โครงข่ายประสาทเทียมที่เรียนรู้ได้ดีเมื่อ e<E และการเรียนรู้ได้ไม่ดีเมื่อ Epoce>MaxEpoce ดังนั้นถ้าโครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ไม่ดีวิธีแก้ปัญหานี้คือ ทำการเพิ่มจำนวน hidden node และให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ใหม่อีกครั้ง เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ได้ดีแล้วขั้นต่อไปคือ นำโครงข่ายประสาทเทียมมาทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพความถูกต้องของการทำนาย

3.1.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer Percepton)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นเกิดจากเซลล์ประสาทเทียมหลายเซลล์เชื่อมติดต่อกัน โดยมีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย input layer hidden layer และ output layer ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ใน input layer ประกอบด้วย bias node มีค่าเป็น $x_0 = 1$ และinput node มีค่าเป็น $x_1, x_2, ..., x_n$ ใน hidden layer ประกอบด้วย bias node มีค่าเป็น $h_0 = 1$ และ hidden node มีค่าเป็น $h_1, h_2, ..., h_m$ และใน output layer ประกอบด้วย output node มีค่าเป็น $y_1, y_2, ..., y_r$ ในแต่ละ input node จะเชื่อมกับ hidden node ทั้งหมด โดยมีค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{ij}^{(1)}$ อยู่ประจำในแต่ละเส้นเชื่อม และในแต่ละ hidden node จะเชื่อมกับ output node ทั้งหมด โดยมีค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{jk}^{(2)}$ อยู่ประจำในแต่ละเส้นเชื่อม



รูปที่ 3.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นเริ่มต้นด้วยข้อมูลนำเข้า $x_0, x_1, x_2, ..., x_n$ เข้ามาจะถูกคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{ij}^{(1)}$ ระหว่าง input layer กับ hidden layer แล้วส่งค่าเข้าไปแต่ละ hidden node ในแต่ละ hidden node จะรวมค่าผลคูณแล้วส่งค่าผลรวมผ่าน activate function $f^{(1)}(a)$ จะได้ค่าเป็น $h_1, h_2, ..., h_m$ ซึ่งสามารถเขียนในรูปสมการดังนี้

$$h_j = f^{(1)}(\sum_{i=0}^{n} w_{ij}^{(1)} x_i) \text{ สำหรับทุกๆ j=1,2,…,m}$$

จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้แต่ละ hidden node จะถูกคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{jk}^{(2)}$ ระหว่าง hidden layer กับ output layer แล้วส่งค่าเข้าไปในแต่ละ output node เพื่อรวมค่าผลคูณที่ได้แล้วส่งค่าผลรวมผ่าน activate fuction $f^{(2)}(a)$ จะได้ค่าเป็น $y_1, y_2, ..., y_r$ ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$y_k = f^{(2)}(\sum_{j=0}^{m} w_{jk}^{(2)} h_j) \quad \text{สำหรับทุกๆ k=1,2,…,r}$$

การจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นให้มีประสิทธิภาพการทำงานได้อย่างถูกต้องสูงสุดได้นั้นต้องให้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นมีการเรียนรู้กับชุดข้อมูลนำเข้าและชุดข้อมูลนำออก วิธีการเรียนรู้ที่นิยมกันคือวิธีการ Backpropagation ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะเป็นค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{ij}^{(1)}$ และค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{ij}^{(2)}$

ขั้นตอนการเรียนรู้แบบแบคพรอพพาเกชัน

1.ทำการสุ่มค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{ij}^{(1)}, w_{ij}^{(2)}$

2.กำหนดค่าสูงสุดของการเรียนรู้(MaxEpoce) ค่าผิดพลาดรวมสูงสุด (E) และกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้(η)

3.ใส่ค่าข้อมูลนำเข้า $x_0 = 1, x_1, x_2, ..., x_n$ และข้อมูลนำออก $d_1, d_2, ..., d_r$

4.คำนวณค่า $net_j^{(1)}, h_j$ ในรูปสมการดังนี้

$$net_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n} w_{ij}^{(1)} x_i \qquad \text{สำหรับทุกๆ j=1,2,…,n}$$

$$h_j = f^{(1)}(net_j^{(1)}) \qquad \text{สำหรับทุกๆ j=1,2,…,n}$$

5.คำนวณค่า $net_k^{(2)}, y_k$ ในรูปสมการดังนี้

$$net_k^{(2)} = \sum_{j=0}^{m} w_{jk}^{(2)} h_j \qquad \text{สำหรับทุกๆ k=1,2,…,r}$$

$$y_k = f^{(2)}(net_k^{(2)}) \qquad \text{สำหรับทุกๆ k=1,2,…,r}$$

6.คำนวณค่าผิดพลาดของ output layer ในรูปสมการดังนี้

$$\delta_k^{(2)} = (d_k - y_k) f'^{(2)}(net_k^{(2)}) \qquad \text{สำหรับทุกๆ k=1,2,…,r}$$

7.คำนวณค่าผิดพลาดของ hidden layer ในรูปสมการดังนี้

$$\delta_j^{(1)} = f'^{(1)}(net_j^{(1)}) \sum_{k=1}^{r} \delta_k^{(2)} w_{jk}^{(2)} \qquad \text{สำหรับทุกๆ j=1,2,…,m}$$

8.ปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{jk}^{(2)}$ ในแต่ละรอบ t ครั้ง ของการปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักในรูปสมการดังนี้

$$w_{jk}^{(2)}(t+1) = w_{jk}^{(2)}(t) + \eta\delta_k^{(2)}h_j$$ สำหรับทุกๆ j=0,1,2,…,m และสำหรับทุกๆ k=1,2,…,r

9.ปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{ij}^{(1)}$ ในรูปสมการดังนี้

$$w_{ij}^{(1)}(t+1) = w_{ij}^{(1)}(t) + \eta\delta_j^{(1)}x_i$$ สำหรับทุกๆ i=0,1,2,…,n และสำหรับทุกๆ j=1,2,…,m

10.ทำการเรียนรู้จนครบชุดข้อมูลนำเข้าให้นับจำนวนรอบของการเรียนรู้เพิ่มที่ละหนึ่ง (Epoce) และถ้ายังไม่ครบให้กลับไปข้อ3

11.คำนวณค่าผิดพลาดรวม ในรูปสมการดังนี้

$$e = \frac{1}{2P}\sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{r}(d_{pk} - y_{pk})^2$$ โดยที่ P คือจำนวนชุดข้อมูลนำเข้า

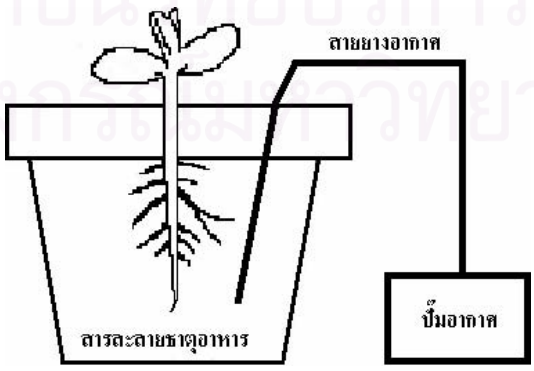
12.ตรวจสอบค่าผิดพลาดรวมที่คำนวณได้ ถ้าค่า e<E หรือ Epoce>MaxEpoce แล้วการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเสร็จสมบูรณ์ ถ้าไม่ใช่ให้กลับไปทำข้อ3ใหม่โดยเริ่มต้นที่ชุดข้อมูลนำเข้าชุดแรก

ในขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเสร็จสมบูรณ์จะได้โครงข่ายประสาทเทียมที่เรียนรู้ได้ดีเมื่อ e<E และการเรียนรู้ได้ไม่ดีเมื่อ Epoce>MaxEpoce ดังนั้นถ้าโครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ไม่ดีวิธีแก้ปัญหานี้คือ ทำการเพิ่มจำนวน hidden node และให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ใหม่อีกครั้ง เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้ได้ดีแล้วขั้นต่อไปคือ การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพความถูกต้องของการทำนาย

3.2 ระบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponic Systems)

การปลูกพืชในสารละลายหรือน้ำยาไฮโดรโปนิกส์ [11] เพื่อศึกษาว่าธาตุใดบ้างที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช นักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการปรับปรุงสูตรของน้ำยาไฮโดรพอนิกส์ให้เหมาะสมกับพืช ในปัจจุบันสูตรสารละลายธาตุอาหารที่นิยมใช้เป็นสูตรของ Hoagland ซึ่งค้นพบโดยนักสรีรวิทยาของพืชชาวอเมริกัน ชื่อ Hoagland และ Arron ในปี ค.ศ.1950 พืชชั้นสูงต้องการธาตุอาหารที่จำเป็นทั้งหมด 16 ธาตุ ประกอบด้วยธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก (macronutrient elements) 9 ธาตุ คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ส่วนธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย (micronutrient elements) 7 ธาตุ คือ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) และ คลอรีน (Cl)

ในการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ภาชนะที่ใช้เป็นกระถางพลาสติกทึบแสงแบบมีฝาปิดกระถาง เพื่อไม่ให้สารละลายธาตุอาหารได้รับแสงเพราะจะเป็นสาเหตุทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้ดีซึ่งจะไปแย่งธาตุอาหารของพืชทำให้พืชได้รับธาตุอาหารน้อยลงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ อากาศถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับรากพืชเช่นกัน ดังนั้นควรให้อากาศแก่รากพืชเพื่อให้รากได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอโดยใช้เครื่องปั๊มอากาศให้อากาศพ่นเพียงเบาๆในสารละลายธาตุอาหาร และในทุกๆวันควรตรวจดูปริมาตรของสารละลายเมื่อปริมาตรของสารละลายลดลงควรเติมน้ำกลั่น เมื่อครบทุกๆสัปดาห์ควรทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารอยู่เป็นประจำ สถานที่เพาะปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารควรเป็นเรือนกระจกหรือสถานที่มีหลังคากันฝนและได้รับแสงอย่างเพียงพอ



รูปที่ 3.5 การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร

วัสดุและอุปกรณ์

1.ต้นอ่อนของพืช

2.กระถางพลาสติกทึบแสง

3.ฝาปิดกระถางเจาะรูช่องใหญ่ตรงกลางและช่องเล็ก(แผ่นโฟม)

4.เครื่องปั๊มอากาศ สายอากาศ และตัวปรับระดับอากาศ

5.ฟองน้ำ

6.สารละลายเข้มข้น(stock solution) [11] เพื่อใช้เป็นส่วนผสมสำหรับเป็นธาตุอาหารสูตร Hoagland มีส่วนผสมของสารสะลายเข้มข้นแสดงในตารางที่ 3.1

Stock solution	**สารเคมีที่ใช้**	**ปริมาณ**	**ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตร**
1M calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	236.1 กรัม	1 ลิตร
1M magnesium sulfate	$MgSO_4.7H_2O$	246.5 กรัม	1 ลิตร
1M potassium dihydrogen phosphate	KH_2PO_4	136.09 กรัม	1 ลิตร
1M potassium nitrate	KNO_3	101.1 กรัม	1 ลิตร
Fe-EDTA (2.5 mg/ml Fe)	EDTA disodium salt ($C_{10}H_{14}O_8Na_2.2H_2O$)	22.4 กรัม	372 มิลลิลิตร
	FeCl3.6H2O	13.5 กรัม	628 มิลลิลิตร
			เทสารละลายทั้งสองผสมกันทีละน้อยจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียว
Micronutrient	H_3BO_3	2.86 กรัม	1 ลิตร
	$CuCl_2.2H_2O$	0.05 กรัม	
	$MnCl_2.4H_2O$	1.81 กรัม	
	$ZnCl_2$	0.11 กรัม	
	$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.025 กรัม	

ตารางที่ 3.1 วิธีการเตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) สำหรับสูตร Hoagland

วิธีการเพาะปลูกพืชในสารละลาย

1.เตรียมสารละลายที่มีธาตุอาหารสมบูรณ์จาก stock solution ใช้สูตรของ Hoagland ดังแสดงในตารางที่ 3.2

2.นำสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากข้อ 1 ใส่ลงกระถางพลาสติก

3.นำต้นอ่อนพืชที่เตรียมไว้มาปลูก โดยใส่รากให้ผ่านรูช่องใหญ่ตรงกลางของฝากระถาง พร้อมกับยึดลำต้นพืชด้วยฟองน้ำ อย่าให้แน่นหรือหลวมเกินไป แล้วนำฝากระถางที่มีต้นพืชใส่ลงในกระถางพลาสติกที่มีสารละลายธาตุอาหาร นำกระถางไปตั้งในเรือนกระจกหรือสถานที่มีหลังคากันฝนและมีแสงอย่างเพียงพอ

4.ใส่สายอากาศลงในสารละลายตรงช่องเล็กของฝากระถาง พร้อมปรับอากาศให้พ่นเพียงเบาๆ

5.ทุกวันคอยตรวจดูปริมาตรสารละลาย หากพบว่าปริมาตรของสารละลายลดลงควรเติมน้ำกลั่น

6.เมื่อครบ 1 สัปดาห์ควรทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารใหม่

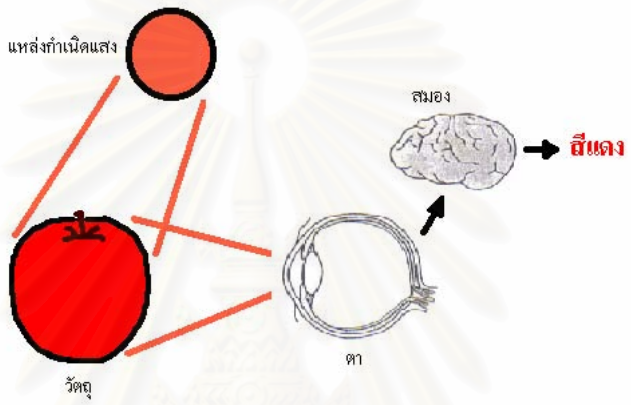
Stock Solution	**ปริมาตร (มิลลิลิตร)**
1M $Ca(NO_3)_2$	10
1M KNO_3	10
1M $MgSO_4$	4
1M KH_2PO_4	2
Fe-EDTA	4
Micronutrients	2

ตารางที่ 3.2 ตารางสารละลายธาตุอาหารสมบูรณ์สูตร Hoagland ต่อน้ำ 2 ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ระบบสี (Color Systems)

ในธรรมชาติทั่วไป มนุษย์จะสามารถมองเห็นสีได้เนื่องมาจากปัจจัย 3 อย่าง คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มีสี และตาของมนุษย์ [14] หลักการมองเห็นสีเป็นผลจากแสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงส่องมากระทบกับวัตถุที่มีสี แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนจากวัตถุที่มีสีและแสงบางส่วนจะสะท้อนกลับออกจากวัตถุที่มีสีสะท้อนเข้าตา ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นวัตถุเป็นสีต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการมองเห็นสีของมนุษย์

3.3.1 ระบบสี CIE (CIE Tristimulus Color Systems)

ระบบสี CIE ได้พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1931 เมื่อ Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) ได้เห็นความจำเป็นที่จะต้องมีระบบการวัดสีในรูปของ Objective ที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์หรือความคิดของมนุษย์ในการวัดสีโดยจะวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ในระบบสี CIE มีแนวคิดจากปัจจัยในการมองเห็นสีของมนุษย์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสีและสายตาของมนุษย์ แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน (Illuminants) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมีอยู่หลายชนิด ซึ่งIlluminant D55 D65 D75 เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีการกระจายพลังงานแต่ละความยาวคลื่นใกล้เคียงกับแสงแดดตอนกลางวัน วัตถุที่มีสีจะมีการสะท้อนแสงของวัตถุได้เป็นเส้นโค้งการสะท้อนแสง (Reflectance curve) วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมีเส้นโค้งการสะท้อนแสงแตกต่างกัน เช่น วัตถุสีขาว มีแสงสะท้อนที่มีความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร วัตถุสีน้ำเงิน มีแสงสะท้อนที่มีความยาวคลื่น 430-460 นาโนเมตร เป็นต้น ส่วนผู้สังเกตการณ์มาตรฐานจะมีการมองวัตถุด้วยมุม 2° และ 10° ซึ่งจะได้ปริมาณการตอบสนองของตามนุษย์ต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

การหาปริมาณการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง การสะท้อนแสงของวัตถุ และการตอบสนองของตามนุษย์สามารถคำนวณเป็นตัวเลขได้จึงทำให้สามารถคำนวณสีหรือระบุค่าสีของวัตถุออกมาเป็นตัวเลขโดยนำค่าทั้งสามที่แต่ละความยาวคลื่นเดียวกันคูณกัน จากนั้นนำมารวมกันตลอดความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ได้เป็นตัวเลข 3 ค่า คือ X Y และZ ในรูปสมการดังนี้

$$X = \sum_{\lambda=400}^{700} S(\lambda)R(\lambda)\bar{x}(\lambda)$$

$$Y = \sum_{\lambda=400}^{700} S(\lambda)R(\lambda)\bar{y}(\lambda)$$

$$Z = \sum_{\lambda=400}^{700} S(\lambda)R(\lambda)\bar{z}(\lambda)$$

โดยที่ $S(\lambda)$ คือ ฟังก์ชันสเปกทรัลสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดแสง

$R(\lambda)$ คือ ฟังก์ชันแสงสะท้อนสเปกทรัมของวัตถุที่มีสี

$\bar{x}(\lambda)$ คือ ฟังก์ชันการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง

$\bar{y}(\lambda)$ คือ ฟังก์ชันการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีเขียว

$\bar{z}(\lambda)$ คือ ฟังก์ชันการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีน้ำเงิน

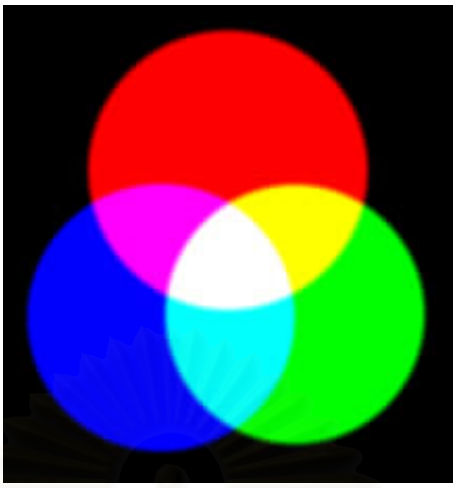
3.3.2 ระบบสี RGB (RGB Color Systems)

เป็นระบบสีที่เกิดมาจากทฤษฎีการหักเหของแสงของนิวตัน เป็นการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วปริซึมจะเกิดแถบสีที่เรียกว่า สีรุ้ง ซึ่งแยกสีที่ตามองเห็นได้ 7 สี คือ สีแดง สีแสด สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน สีคราม และสีม่วง เมื่อศึกษาดูแล้วแสงสีทั้งหมดเกิดจากแสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ซึ่งเป็นแม่สีของแสง แสงทั้งสามสีเมื่อนำมาฉายส่องรวมกันจะทำให้เกิดสีต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 คือ

แสงสีแดง + แสงสีเขียว = แสงสีเหลือง (Yellow)

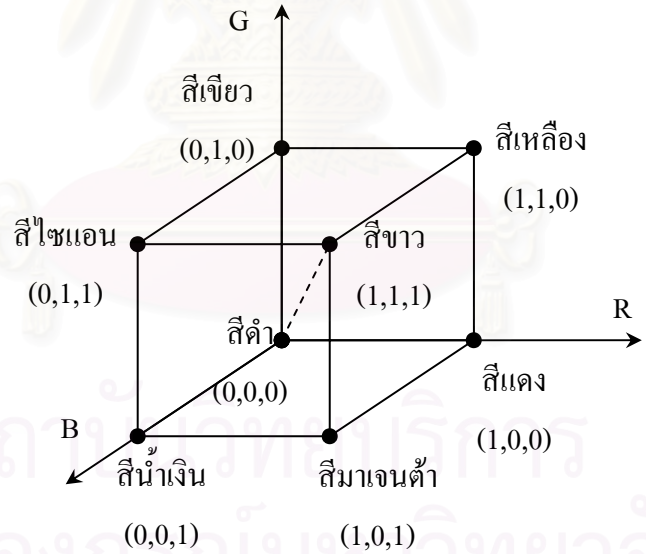
แสงสีแดง + แสงสีน้ำเงิน = แสงสีมาเจนต้า (Magenta)

แสงสีน้ำเงิน + แสงสีเขียว = แสงสีไซแอน (Cyan)



รูปที่ 3.7 แสงระบบสี RGB

โดยในที่นี้ R,G,B แต่ละค่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 ถ้านำค่า R,G,B มาเขียนในระบบพิกัด 3 แกน จะได้ค่าสีต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ค่าสีดำมีพิกัดที่จุด (0,0,0) และสีขาวมีพิกัดที่จุด (1,1,1)



รูปที่ 3.8 ระบบสี RGB ระบบพิกัด 3 แกนรูปทรงลูกบาศก์

3.3.3 สมการ sRGB (standard RGB equation)

ระบบสี sRGB เป็นพื้นฐานของสีในจอภาพโทรทัศน์ ที่ถูกคิดค้นโดย Internation and Electrotechnical Commission (IEC) มีลักษณะรูปแบบการแปลงค่าสี XYZ เป็น sRGB มีสมการดังนี้

$R' = 3.2406\ X - 1.5372\ Y - 0.4986\ Z$

$G' = -0.9689\ X + 1.8758\ Y + 0.0415\ Z$

$B' = 0.0557\ X - 0.2040\ Y + 1.0570\ Z$

ถ้า $R', G', B' <= 0.0031308$ แล้ว

$R = 12.92 \times R'$

$G = 12.92 \times G'$

$B = 12.92 \times B'$

และถ้า $R', G', B' > 0.0031308$ แล้ว

$R = 1.055 \times R'^{(1/2.4)} - 0.055$

$G = 1.055 \times G'^{(1/2.4)} - 0.055$

$B = 1.055 \times B'^{(1/2.4)} - 0.055$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การออกแบบการทดลอง การจำลองแบบและการสร้างภาพนามธรรม

4.1 การออกแบบการทดลอง

การศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหาร เริ่มต้นทำการทดลองปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหารสมบูรณ์โดยมีความเข้มข้น 20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland (ภาคผนวก) ในช่วงอายุ 11-17 วัน เพื่อให้ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ จากนั้นในช่วงอายุ 18-33 วัน ทำการเปลี่ยนแปลงสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น 0%, 4%, 8%, 12%, 16% และ 20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland และทำการบันทึกค่าสีใบถั่วเหลืองทุกลำดับชั้นใบตั้งแต่ใบจริงและชั้นใบอื่นๆที่มีอยู่ถัดไปในแต่ละวัน ถั่วเหลืองในการทดลองนี้เป็นพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ชม.60) สถานที่ในการทดลองบริเวณชั้น 7 อาคารสถาบันวิจัยและตรวจสอบอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระยะเวลาในการทดลอง 33 วัน ตั้งแต่วันที่ 18 ต.ค. 47-19 พ.ย. 47 มีการทดลอง 4 ซ้ำ

4.1.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารจำเป็นต้องเตรียมสารละลายเข้มข้น (Stock solution)ของสารละลายเข้มข้นแต่ละชนิด แล้วจึงนำสารละลายเข้มข้น (Stock solution) แต่ละชนิดทำการผสมกันในน้ำกลั่น ซึ่งใช้ปริมาตรสารละลายเข้มข้นตามที่กำหนดของสูตรสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ที่มีความเข้มข้น 0%, 4%, 8%, 12%, 16% และ 20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหาร จะได้สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนตามที่กำหนดใช้สำหรับในการทดลอง

4.1.1.1 การเตรียมสารละลายเข้มข้น (Stock solution)

การเตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) [11] ที่ใช้สำหรับการทดลองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland จะต้องเตรียมสารเคมีที่ใช้ได้แก่

1) $Ca(NO_3)_2.4H_2O$	ปริมาณ 236.1 กรัม
2) KNO_3	ปริมาณ 101.1 กรัม

3) $MgSO_4.7H_2O$	ปริมาณ 246.5 กรัม
4)KH_2PO_4	ปริมาณ 136.09 กรัม
5)EDTA disodium salt($C_{10}H_{14}O_8Na_2.2H_2O$)	ปริมาณ 22.4 กรัม
6)$FeCl_3.6H_2O$	ปริมาณ 13.5 กรัม
7)H_3BO_3	ปริมาณ 2.86 กรัม
8)$CuCl_2.2H_2O$	ปริมาณ 0.05 กรัม
9)$MnCl_2.4H_2O$	ปริมาณ 1.81 กรัม
10)$ZnCl_2$	ปริมาณ 0.11 กรัม
11)$Na_2MoO_4.2H_2O$	ปริมาณ 0.025 กรัม
12)$CaCl_2.2H_2O$	ปริมาณ 147.03 กรัม
13)KCl	ปริมาณ 74.56 กรัม

ในขั้นตอนการเตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) ของ 1M calcium nitrate, 1M potassium nitrate, 1M magnesium sulfate, 1M potassium dihydrogen phosphate, 1M calcium chloride และ 1M potassium chloride จะต้องนำสารเคมีแต่ละชนิด $Ca(NO_3)_2.4H_2O$, KNO_3, $MgSO_4.7H_2O$, KH_2PO_4, 12)$CaCl_2.2H_2O$ และ KCl ในปริมาตรตามที่กำหนดตามลำดับ นำมาผสมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร สำหรับขั้นตอนการเตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) ของ micronutrient จะต้องนำสารเคมี ได้แก่ H_3BO_3, $CuCl_2.2H_2O$, $MnCl_2.4H_2O$, $ZnCl_2$, $Na_2MoO_4.2H_2O$ ในปริมาตรตามที่กำหนดมาผสมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร และสำหรับขั้นตอนการเตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) ของ Fe-EDTA จะต้องนำสารเคมี EDTA disodium salt ในปริมาตรที่กำหนดนำมาละลายในน้ำกลั่น 372 มิลลิลิตร และนำสารเคมี $FeCl_3.6H_2O$ ในปริมาตรที่กำหนดนำมาละลายในน้ำกลั่น 628 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายทั้งสองผสมกันทีละน้อยและทำการคนสารละลายจนกระทั่งสารละลายทั้งสองกลายเป็นเนื้อเดียวกัน

4.1.1.2 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนระดับต่างๆ

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น 0% 4% 8% 12% 16% และ 20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland นำสารละลายเข้มข้น (stock solution) ที่เตรียมไว้จากข้อ 4.1.1.1 ในปริมาตรที่กำหนด

ดังแสดงในตารางที่ 4.2 นำมาผสมกับน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 2 ลิตร จะได้สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในระดับต่างๆตามที่กำหนด

Stock Solution	ปริมาตร (มิลลิลิตร) ต่อ น้ำ 2 ลิตร					
	20%N	16%N	12%N	8%N	4%N	0%N
1M $Ca(NO_3)_2$	2	1.6	1.2	0.8	0.4	0
1M KNO_3	2	1.6	1.2	0.8	0.4	0
1M $MgSO_4$	4	4	4	4	4	4
1M KH_2PO_4	2	2	2	2	2	2
Fe-EDTA	4	4	4	4	4	4
Micronutrients	2	2	2	2	2	2
1M $CaCl_2$	8	8.4	8.8	9.2	9.6	10
1M KCl	8	8.4	8.8	9.2	9.6	10

ตารางที่ 4.2 สูตรสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น 0% 4% 8% 12% 16% และ 20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland

4.1.2 การเพาะเลี้ยงต้นถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหาร

1)ทำการเพาะต้นอ่อนถั่วเหลืองโดยการนำเมล็ด 100 เมล็ดมาผันด้วยทิชชูและแช่น้ำไว้ จนครบ 4 วัน (ในช่วงอายุถั่วเหลือง 1-4 วัน)

2)นำต้นอ่อนถั่วเหลืองทั้งหมดมาเพาะลงน้ำธรรมดาพร้อมกับให้อากาศในน้ำ เป็นระยะ 1 สัปดาห์ (ในช่วงอายุถั่วเหลือง 4-10 วัน)

3)นำถั่วเหลืองเพาะลงในสารละลายที่มีความเข้มข้น 20% ของไนโตรเจนสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland พร้อมกับให้อากาศในน้ำ เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ (ในช่วงอายุถั่วเหลือง 11-17 วัน) ความเข้มข้น 20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland เป็นความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองอายุ 35 วัน ดังแสดงในภาคผนวก

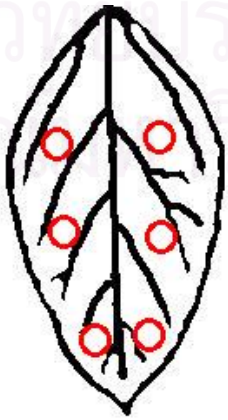
4)คัดถั่วเหลืองที่มีความสมบูรณ์ของระดับความสูง ลักษณะใบ และจำนวนใบใกล้เคียงกัน จำนวน 24 ต้น จากนั้นแบ่งถั่วเหลืองกลุ่มละ 4 ต้นทำการเพาะลงในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น 0% 4% 8% 12% 16% และ 20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ที่เตรียมไว้พร้อมกับให้อากาศในน้ำ ในทุกๆวันตรวจดูปริมาตร

สารละลายเพื่อทำการเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเท่าเดิม และทุกๆสัปดาห์ทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหาร เป็นระยะเวลาจนสิ้นสุดการทดลอง (ในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-33 วัน)

4.1.3 วิธีการเก็บข้อมูลสีใบ

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลสีใบถั่วเหลืองสำหรับการทดลองนี้ คือ X-Rite spectrophotometer ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.1 ตั้งค่าระบบเครื่องที่แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมมองการมองที่ 2^{o} และ SPIN (specular include) ค่าสีใบที่ได้เป็นค่าสีใบเฉลี่ยในหนึ่งใบจากการวัดทั้งหมด 6 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.2 ทำการวัดสีใบทุกๆลำดับใบ และทุกๆวัน เริ่มทำการวัดสีใบเมื่อใบถั่วเหลืองกางแผ่ใบออก ค่าสีใบเป็นระบบสี XYZ ต้องทำการแปลงค่าสีใบเป็นระบบสี RGB โดยใช้สมการ standard RGB

รูปภาพที่ 4.1 เครื่องวัดสี X-Rite spectrophotometer



รูปภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะการวัดสีใบทั้งหมด 6 ตำแหน่ง

4.1.4 การวัดส่วนสูงและการชั่งน้ำหนักแห้ง

หลังสิ้นสุดการทดลองทำการวัดความสูงรวมของถั่วเหลือง จากจุดเริ่มต้นที่โคนต้นจนถึงยอดของถั่วเหลือง และการชั่งน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองทำการนำถั่วเหลืองทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง มาอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 วัน หลังจากนั้นนำถั่วเหลืองที่อบแห้งมาชั่งน้ำหนักแห้งซึ่งเป็นข้อมูลของการเจริญเติบโต

4.2 การจำลองแบบความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับจากสีใบถั่วเหลือง

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับด้วยสีใบถั่วเหลืองเป็นการหาความ สัมพันธ์ของสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจนในช่วงเวลาต่างๆ ตั้งแต่ช่วงอายุถั่วเหลือง 24-33 วันโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นเป็นตัวแบบสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$h_j = f^{(1)}\left(\sum_{i=0}^{4} w_{ij}^{(1)} x_i\right) \quad \text{สำหรับทุกๆ j=1,2,…,m}$$

$$y = 3f^{(2)}\left(\sum_{j=0}^{m} w_j^{(2)} h_j\right)$$

โดยที่

x_1 = ผลต่างของค่าสี R ของใบจริงที่ได้รับความเข้มข้นของไนโตรเจน 3 มิลลิโมลาร์ กับค่าสี R ของใบจริงที่พิจารณา

x_2 = ผลต่างของค่าสี G ของใบจริงที่ได้รับความเข้มข้นของไนโตรเจน 3 มิลลิโมลาร์ กับค่าสี G ของใบจริงที่พิจารณา

x_3 = ผลต่างของค่าสี B ของใบจริงที่ได้รับความเข้มข้นของไนโตรเจน 3 มิลลิโมลาร์ กับค่าสี B ของใบจริงที่พิจารณา

x_4 = อายุถั่วเหลืองในช่วงอายุ 24-33 วัน

y = ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับ (มิลลิโมลาร์)

x_0, h_0 คือ bias node มีค่าเป็น 1

m คือ จำนวน hidden node

$w_{ij}^{(1)}$ $w_j^{(2)}$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก

$f^{(1)}$ คือ activate function ซึ่งมีรูปแบบ $f^{(1)}(a) = \dfrac{2}{1+e^{-2a}} - 1$

$f^{(2)}$ คือ activate function ซึ่งมีรูปแบบ $f^{(2)}(a) = \dfrac{1}{1+e^{-a}}$

หลังจากนั้นให้โครงข่ายประสาทเทียมทำการเรียนรู้แบบ Backpropagation กับชุดข้อมูลของการเรียนรู้ ซึ่งประกอบด้วยชุดข้อมูลนำเข้าและชุดข้อมูลนำออก

4.3 การสร้างภาพนามธรรมของสีใบถั่วเหลือง

การสร้างภาพนามธรรมเป็นขั้นตอนหนึ่งสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้แสดงผลการเปลี่ยนแปลงสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้น 0% 4% 8% 12% 16% และ 20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-33 วัน หลักการสร้างภาพนามธรรมสีใบถั่วเหลืองจะทำการสร้างโครงสร้างใบถั่วเหลืองจากรูปทรงหลายเหลี่ยม และใส่ค่าสีใบในระบบสี RGB จากผลการทดลองที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เมื่อนำภาพสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับตามที่กำหนด แสดงภาพนามธรรมในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ จะได้ภาพนามธรรมของการเปลี่ยนแปลงสีใบถั่วเหลืองจากสีใบถั่วเหลืองของอายุถั่วเหลือง 18 วันเป็นสีใบถั่วเหลืองเริ่มต้นที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับ จนถึงอายุถั่วเหลือง 33 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ผลจากการสร้างภาพนามธรรมของสีใบถั่วเหลืองที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นตารางสีใบในการวิเคราะห์ประมาณค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับของถั่วเหลือง

รูปที่ 4.3 ภาพนามธรรมโครงสร้างใบถั่วเหลืองและสีใบถั่วเหลือง

วันที่18 วันที่22 วันที่26 วันที่30 วันที่33

รูปที่ 4.4 ภาพนามธรรมสีใบถั่วเหลืองในช่วงเวลาต่างๆ

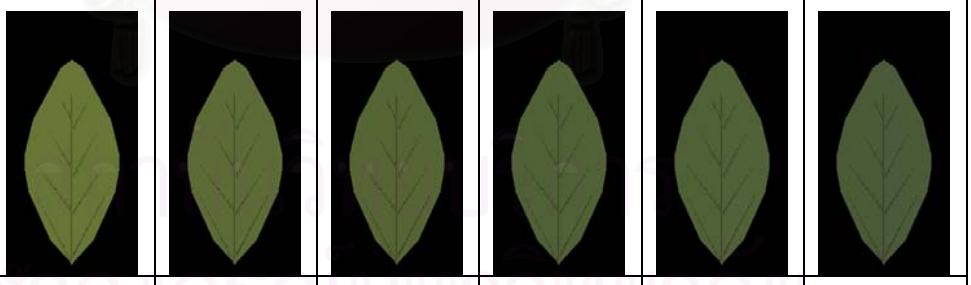
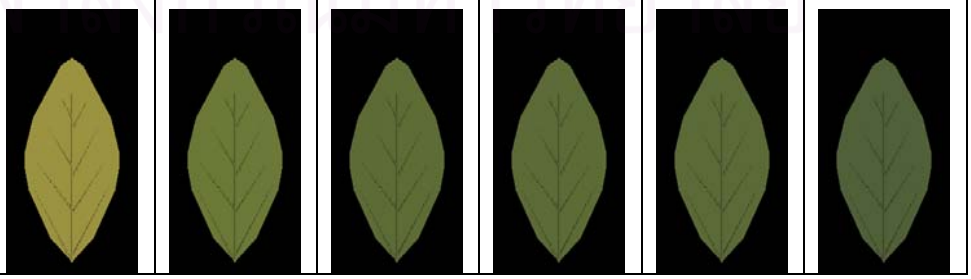
บทที่ 5

ผลงานวิจัย

5.1 ผลการทดลอง

สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น 0% 4% 8% 12% 16% และ 20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland มีระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนเป็น 0 0.6 1.2 1.6 2.4 และ 3 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เมื่อถั่วเหลืองได้รับความเข้มข้นของไนโตรเจน 3 มิลลิโมลาร์ ในช่วงอายุถั่วเหลือง 11-17 วัน ถั่วเหลืองมีความเจริญเติบโตสมบูรณ์และลักษณะสีใบจริงเป็นสีเขียวเข้ม จากนั้นในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-33 วัน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนโตรเจนเป็น 0 0.6 1.2 1.6 2.4 และ 3 มิลลิโมลาร์ ลักษณะสีใบถั่วเหลืองจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีใบที่ชั้นใบล่างก่อนโดยสีใบจริงจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเข้มเป็นสีในช่วงสีเหลืองถึงสีเขียวเข้มตามลำดับของความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับ 0-3 มิลลิโมลาร์ ส่วนใบอื่นที่อยู่ชั้นถัดไปจากใบจริงคู่แรกจะมีสีใบเป็นสีอยู่ในช่วงสีเขียวซีดเหลืองถึงสีเขียวเข้มตามลำดับของความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับ 0-3 มิลลิโมลาร์ ค่าสีใบจริงที่ได้จากผลการทดลองนำมาสร้างภาพนามธรรมการเปลี่ยนแปลงสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจน ในเวลาต่างๆ ของช่วงอายุถั่วเหลือง 18-33 วัน แสดงในรูปที่ 5.1-5.2 และภาพนามธรรมสีใบถั่วเหลืองอายุถั่วเหลือง 33 วันสามารถนำมาใช้เป็นตารางสีใบสำหรับการพิจารณาความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ต้องการของถั่วเหลืองได้ นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้ทำให้ทราบว่าถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับมีผลต่อน้ำหนักแห้งเฉลี่ยและความสูงเฉลี่ยของถั่วเหลืองมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนน้อยกว่า 3 มิลลิโมลาร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.2-5.3 ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน 3 มิลลิโมลาร์ เป็นความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เพียงพอสำหรับถั่วเหลืองอายุ 35 วัน (ภาคผนวก)

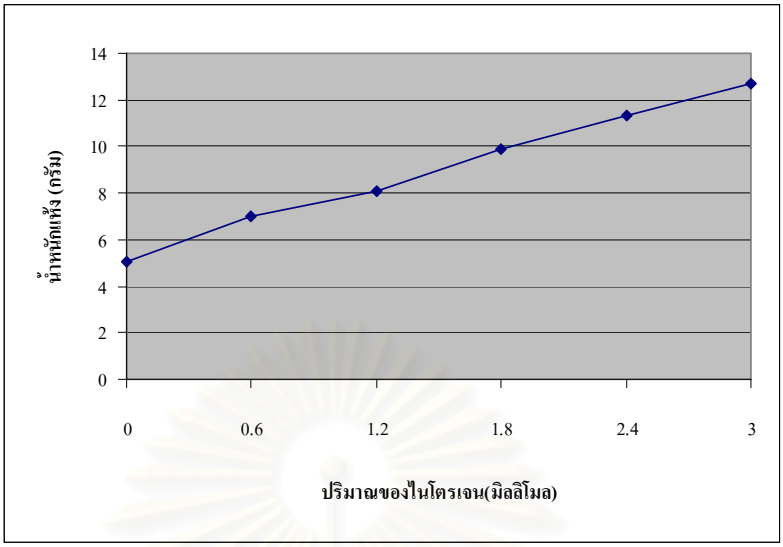
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	สีใบที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจน (มิลลิโมลาร์)					
	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0
อายุถั่วเหลือง 18 วัน						
อายุถั่วเหลือง 22 วัน						
อายุถั่วเหลือง 26 วัน						
อายุถั่วเหลือง 30 วัน						
อายุถั่วเหลือง 33 วัน						

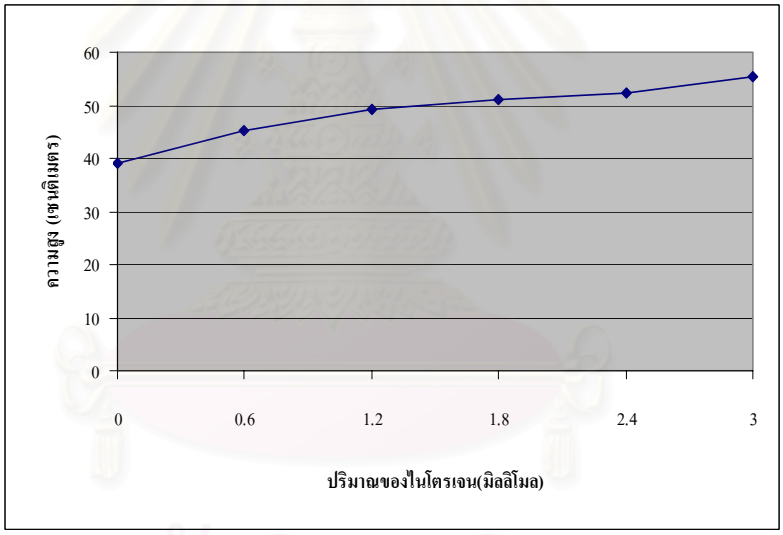
รูปที่ 5.1 ภาพนามธรรมสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เวลาต่างๆ

	สีใบที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจน (มิลลิโมลาร์)					
	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0
ใบจริง						
ใบประกอบรวมชุดที่1						
ใบประกอบรวมชุดที่2						
ใบประกอบรวมชุดที่3						

รูปที่ 5.2 ภาพนามธรรมสีใบลำดับชั้นต่างๆถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เวลาสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับกับน้ำหนักแห้งเฉลี่ย



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับกับความสูงเฉลี่ย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ผลแบบจำลอง

จากตัวแบบจำลองสำหรับการหาความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ถั่วเหลืองได้รับซึ่งมีสมการดังนี้

$$h_j = f^{(1)}(\sum_{i=0}^{4} w_{ij}^{(1)} x_i) \quad \text{สำหรับทุก j=1,2,...,5}$$

$$y = 3f^{(2)}(\sum_{j=0}^{5} w_j^{(2)} h_j)$$

โดยที่

$$w^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.6250 & 5.2922 & -84.1815 & -17.4291 & -1.2278 \\ -6.0572 & -2.6400 & 66.6971 & -396.3265 & -2.2281 \\ 0.1785 & 1.5234 & 158.8944 & 150.1899 & -0.1508 \\ 17.8593 & -52.9474 & 90.9431 & -167.7501 & 74.5807 \\ 0.0112 & -0.1861 & 3.3554 & 0.3188 & -0.7315 \end{bmatrix}$$

$$w^{(2)} = \begin{bmatrix} 31.8163 \\ -76.6255 \\ -7.8216 \\ -1.1695 \\ 1.0896 \\ -31.9023 \end{bmatrix}$$

แบบจำลองที่ได้เมื่อนำมาทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบจากผลการทดลองเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ดังสมการดังนี้

$$Error = \frac{\sum_{i=1}^{N} \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|}{N}$$

โดยที่

y_i คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนจากชุดข้อมูลทดสอบ

$\hat{y}_i$ คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนจากตัวแบบจำลอง

N คือ จำนวนข้อมูล

Error คือ ค่าความเคลื่อนสัมพัทธ์

จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของชุดข้อมูลทดสอบเป็น 0.0561 ซึ่งนำผลจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลจากข้อมูลทดสอบแสดงในตารางที่ 5.1 แบบจำลองที่ได้มีความเหมาะสมที่จะสามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการประมาณค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับจากการพิจารณาสีใบจริงถั่วเหลืองได้ ซึ่งสามารถนำความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับจากแบบจำลองมาคำนวณหาความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ใส่เพิ่มให้กับถั่วเหลืองได้จากค่าผลต่างความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เพียงพอ 3 มิลลิโมลาร์ กับความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้จากผลของแบบจำลอง

R	G	B	อายุถั่วเหลือง	ปริมาณไนโตรเจนจากข้อมูลทดสอบ	ปริมาณไนโตรเจนจากแบบจำลอง
0.3647	0.4431	0.2275	24	0.00	0.06
0.3255	0.4039	0.2314	24	2.40	2.48
0.3608	0.4431	0.2275	25	0.60	0.51
0.3294	0.4078	0.2275	25	2.40	2.44
0.3412	0.4275	0.2196	26	1.80	1.70
0.4667	0.5294	0.2275	29	0.00	0.02
0.3529	0.4314	0.2353	29	1.80	1.85
0.3255	0.4039	0.2353	29	3.00	2.99
0.4196	0.4980	0.2275	30	0.60	0.67
0.3804	0.4667	0.2157	30	1.20	1.21
0.3608	0.4431	0.2314	30	2.40	2.36
0.5020	0.5608	0.2314	31	0.00	0.07
0.4431	0.5137	0.2314	31	0.60	0.69
0.4588	0.5216	0.2275	32	0.60	0.64
0.3922	0.4706	0.2275	32	1.80	1.76
0.3922	0.4627	0.2353	32	2.40	2.42
0.4980	0.5608	0.2314	33	0.60	0.49
0.4118	0.4902	0.2314	33	2.40	2.39
0.3569	0.4392	0.2392	33	3.00	3.00

ตารางที่ 5.1 แสดงผลของแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลของข้อมูลทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลงานวิจัยของการหาแบบจำลองความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับจากสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจน 0-3 มิลลิโมลาร์ ในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-33 วัน สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

1.จากการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจน 3-15 มิลลิโมลาร์ หรือ 20%-100% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-35 วัน ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต และค่าสีใบจริงในระบบสี RGB ของถั่วเหลืองอายุ 35 วัน สรุปได้ว่าความเข้มข้นของไนโตรเจน 3 มิลลิโมลาร์ เป็นความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เพียงพอสำหรับถั่วเหลืองอายุ 35 วัน

2.ลักษณะสีใบถั่วเหลืองเมื่อได้รับความเข้มข้นของไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต สีใบจะมีจะการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเข้มเป็นสีเหลืองหรือสีเขียวซีดเหลืองหรือสีเขียวอ่อน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไนโตรเจน ลักษณะนี้จะเกิดขึ้นที่ชั้นใบล่างก่อนชั้นใบที่อยู่ถัดไป เนื่องจากถั่วเหลืองเมื่อได้รับความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ไม่เพียงพอจะดึงธาตุไนโตรเจนที่สะสมอยู่ที่ชั้นใบล่างเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตส่งผลทำให้ชั้นใบล่างสูญเสียธาตุไนโตรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ สีใบล่างจากสีเขียวเข้มเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเขียวอ่อนหรือสีเขียวซีดเหลือง หรือสีเหลือง

3.ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นใช้เป็นแบบจำลองสำหรับในงานวิจัยนี้เมื่อนำแบบจำลองนี้มาทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบ พบว่ามีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์เป็น 0.0561 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้มีความเหมาะสมที่จะสามารถประมาณค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับจากการพิจารณาสีใบจริงถั่วเหลืองได้ ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองสามารถนำมาคำนวณหาความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ใส่เพิ่มให้กับถั่วเหลืองได้

4.ค่าสีใบจริงถั่วเหลืองที่ได้จากผลการทดลองในเวลาต่างๆในช่วงอายุถั่วเหลือง 24-33 วัน สามารถนำค่าสีใบจริงมาสร้างตารางสีใบถั่วเหลืองสำหรับนำไปตรวจสอบหาความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับทำให้สะดวกต่อการนำไปได้สำหรับเกษตรกร

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าสามารถพัฒนางานต่อไปได้อีก คือ การหาความเข้มข้นธาตุอาหารต่างๆที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช การศึกษาผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับในดิน เพื่อทำให้เกิดความสมบูรณ์ของการบ่งบอกความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินได้สำหรับเติมความเข้มข้นของไนโตรเจนที่การขาดหายไปให้มีความเพียงพอต่อความต้องการของพืช และการศึกษาสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นธาตุอื่นๆเพื่อทำให้เกิดความสมบูรณ์ของการบ่งบอกความเข้มข้นธาตุอาหารต่างๆที่ได้รับ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรในการวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารที่ได้รับจากลักษณะสีใบอย่างง่ายได้ เพื่อแก้ปัญหาพืชที่ได้รับความเข้มข้นธาตุอาหารที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตได้ทันท่วงทีก่อนที่ผลผลิตจะลดต่ำลงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Mahmoud M. Shaahan, A.A.El-Sayed, E.A.A. Abou El-Nour. Predicting Nitrogen,Magnesium and Iron Nutritional Status in Some Perennial Crops Using a Portable Chlorophyll Meter. Scientia Horticulturae 82(1999):339-348.
2. Woon-Ho Yang, Shaobing Peng, Jianliang Huang, Arnel L. Sanico, Roland J. Buresh, and Christian Witt. Using Leaf Color Charts to Estimate Leaf Nitrogen Status of Rice. Agron. J. 95(2003):212-217.
3. Simone Graeff, Wilhelm Claupein. Quantifying Nitrogen Status of Corn (Zea mays L.) in The Field by Reflectance Measurements. Europ-J. Agronomy 19(2003):611-618.
4. Prusinkiewicz, P., and Lindenmayer, A. The Algorithm Beauty of Plants. New York:Springer-Verlag,1990.
5. Smith, A.R. Plants, Fractals and Formal languages. ACM SIGGRAPH 18,3(1984):1-10.
6. Chuai-Aree, S. An Algorithm for Simulation and Visualization of Plant Shoots Growth. Master's thesis,Department of Mathematics, Faculty of Science, Chulalongkorn University,2000.
7. Chuai-Aree, S., Siripant, S. and Lursinsap, C. Animation Plant Growth in L-System by Parametrics functional symbols. Proceeding of International Conference on Intelligent Technology 2000(Thailand, December 2000):135-143.
8. Suratanee, A. Simulation and Visualization of Soybean Growth Affected by Different Amount of Nitrogen, Phosphorus and Potassium. Master's Thesis, Department of Mathematics, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 2003.
9. Jitpttanakul, A. Simulation and Visualization of Water Famine Effects on Soybean Growth. Master's Thesis, Department of Mathematics, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 2003.
10. Simon Haykin. Neural Networks. 2 nd ed. New Jersey: Prentice-Hall,1999.
11. นันทนา อังกินันทร์ และศุภจิตรา ชัชวาล. ปฏิบัติการสรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2000.
12. ยงยุทธ โอสถสภา. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.

13. สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544.

14. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม , สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา , ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีการวัดสี. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2542.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

การทดลองศึกษาลักษณะสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจน

การศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหาร เริ่มต้นทำการทดลองปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหารสมบูรณ์สูตร Hoagland Complete(Half strength) ในช่วงอายุ 11-17 วัน เพื่อให้ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ จากนั้นในช่วงอายุ 18-35 วัน ทำการเปลี่ยนแปลงสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น 0% 20% 40% 60% 80% และ 100% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland และทำการบันทึกค่าสีใบจริงถั่วเหลืองในแต่ละวัน ถั่วเหลืองในการทดลองนี้เป็นพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ชม.60) สถานที่ในการทดลองบริเวณชั้น 7 อาคารสถาบันวิจัยและตรวจสอบอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระยะเวลาในการทดลอง 35 วัน ตั้งแต่วันที่ 29 มิ.ย. 47-4 ส.ค. 47 มีการทดลอง 4 ซ้ำ

1 วิธีการทดลอง

1)เตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) ดังแสดงในตารางที่ 1

2)เตรียมสารละลายธาตุอาหารที่มี Half strength ความเข้มข้น 0% 20% 40% 60% 80% และ100% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ดังแสดงในตารางที่ 2

3)ทำการเพาะต้นอ่อนถั่วเหลืองโดยการนำเมล็ด 100 เมล็ดมาผันด้วยทิชชูและแช่น้ำไว้ จนครบ 4 วัน (ในช่วงอายุถั่วเหลือง 1-4 วัน)

4)นำต้นอ่อนถั่วเหลืองทั้งหมดมาเพาะลงน้ำธรรมดาพร้อมกับให้อากาศในน้ำ เป็นระยะ 1 สัปดาห์ (ในช่วงอายุถั่วเหลือง 4-10 วัน)

5)นำถั่วเหลืองเพาะลงในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland Complete(Half strength) ของสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland พร้อมกับให้อากาศในน้ำ เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ (ในช่วงอายุถั่วเหลือง 11-17 วัน)

6)คัดถั่วเหลืองที่มีความสมบูรณ์ของระดับความสูง ลักษณะใบ และจำนวนใบ ใกล้เคียงกัน จำนวน 24 ต้น จากนั้นแบ่งถั่วเหลืองกลุ่มละ 4 ต้นทำการเพาะลงในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น 0% 20% 40% 60% 80% และ 100% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ที่เตรียมไว้พร้อมกับให้อากาศในน้ำ ในทุกๆวันตรวจดูปริมาตรสารละลายเพื่อทำการเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเท่าเดิม และทุกๆสัปดาห์ทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหาร เป็นระยะเวลาจนสิ้นสุดการทดลอง (ในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-35 วัน)

Stock solution	**สารเคมีที่ใช้**	**ปริมาณ**	**ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตร**
1M calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	236.1 กรัม	1 ลิตร
1M magnesium sulfate	$MgSO_4.7H_2O$	246.5 กรัม	1 ลิตร
1M potassium dihydrogen phosphate	KH_2PO_4	136.09 กรัม	1 ลิตร
1M potassium nitrate	KNO_3	101.1 กรัม	1 ลิตร
Fe-EDTA (2.5 mg/ml Fe)	EDTA disodium salt ($C_{10}H_{14}O_8Na_2.2H_2O$)	22.4 กรัม	372 มิลลิลิตร
	$FeCl_3.6H_2O$	13.5 กรัม	628 มิลลิลิตร
			เทสารละลายทั้งสองผสมกันทีละน้อย จนกระทั่งเป็นเนื้อเดียว
Micronutrient	H_3BO_3	2.86 กรัม	1 ลิตร
	$CuCl_2.2H_2O$	0.05 กรัม	
	$MnCl_2.4H_2O$	1.81 กรัม	
	$ZnCl_2$	0.11 กรัม	
	$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.025 กรัม	
1M calcium chloride	$CaCl_2.2H_2O$	147.03 กรัม	1 ลิตร
1M potassium chloride	KCl	74.56 กรัม	1 ลิตร

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution)

Stock Solution	ปริมาตร (มิลลิลิตร) ต่อ น้ำ 2 ลิตร						
	Half strength	100%	80%N	60%N	40%N	20%N	0%N
1M $Ca(NO_3)_2$	5	10	8	6	4	2	0
1M KNO_3	5	10	8	6	4	2	0
1M $MgSO_4$	2	4	4	4	4	4	4
1M KH_2PO_4	1	2	2	2	2	2	2
Fe-EDTA	2	4	4	4	4	4	4
Micronutrients	1	2	2	2	2	2	2
1M $CaCl_2$	0	0	2	4	6	8	10
1M KCl	0	0	2	4	6	8	10

ตารางที่ 2 สูตรสารละลายธาตุอาหาร Hoagland Complete(Half strength) ความเข้มข้น 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland

2 วิธีการเก็บข้อมูลสีใบ

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลสีใบถั่วเหลืองสำหรับการทดลองนี้ คือ X-Rite spectrophotometer ตั้งค่าระบบเครื่องที่แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมมองการมองที่ 2^{o} และ SPIN (specular include) ค่าสีใบจริงที่ได้เป็นค่าสีใบจริงเฉลี่ยในหนึ่งใบจากการวัดทั้งหมด 12 ตำแหน่ง ทำการวัดสีใบจริงในทุกๆวัน เริ่มทำการวัดสีใบเมื่อใบถั่วเหลืองกางแผ่ใบออก ค่าสีใบเป็นระบบสี XYZ ต้องทำการแปลงค่าสีใบเป็นระบบสี RGB โดยใช้สมการ standard RGB

3 การชั่งน้ำหนักแห้งและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การชั่งน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองทำการนำถั่วเหลืองทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง มาอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 วัน หลังจากนั้นนำถั่วเหลืองที่อบแห้งมาชั่งน้ำหนักแห้งซึ่งเป็นข้อมูลของการเจริญเติบโต ข้อมูลน้ำหนักแห้งและค่าสีใบจริงนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 ช่วยวิเคราะห์ข้อมูล

4 ผลการทดลอง

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักแห้งที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 3 มีค่า Significant เท่ากับ 0.463 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า 0.05 จะได้ว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับ 20%-100% ในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-35 วัน มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 1 ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าสีใบจริงที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4 มีค่า significant เท่ากับ 0.524 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า 0.05 จะได้ว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับ 20%-100% ของสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-35 วัน มีค่าเฉลี่ยสีใบจริงไม่แตกต่างกัน

5 สรุปผลการทดลอง

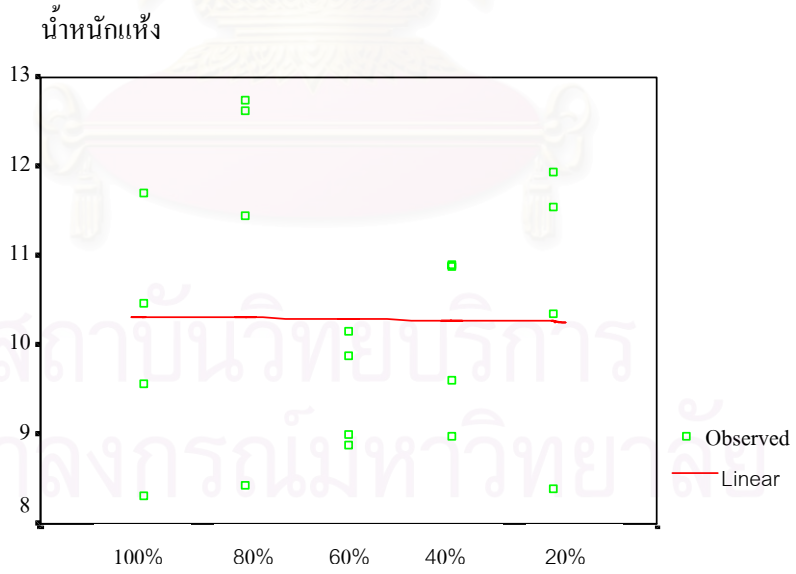
ความเข้มข้น 20%-100% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland หรือความเข้มข้นของไนโตรเจน 3-15 มิลลิโมลาร์ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและค่าสีใบ ทำให้ค่าสีใบที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน และเป็นความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองอายุ 35 วัน

น้ำหนักแห้ง (g)					
ความเข้มข้นไนโตเจน 100%	**ความเข้มข้นไนโตเจน 80%**	**ความเข้มข้นไนโตเจน 60%**	**ความเข้มข้นไนโตเจน 40%**	**ความเข้มข้นไนโตเจน 20%**	**ความเข้มข้นไนโตเจน 0%**
8.3225	12.7385	9.0094	8.8945	8.3872	2.2520
9.5605	8.4356	9.8830	9.5991	11.9380	1.8121
11.7010	12.6215	8.8841	10.8850	11.5540	3.2933
10.4797	11.7566	10.1609	10.8945	10.3499	1.8331

ตารางที่ 3 ข้อมูลน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองในวันที่ 4 ส.ค. 47

ค่าสีใบจริงในระบบสี RGB		
ปริมาณไนโตรเจน 100%	ปริมาณไนโตรเจน 80%	ปริมาณไนโตรเจน 60%
(0.3255,0.4118,0.2353)	(0.3294,0.4157,0.2275)	(0.3216,0.4039,0.2353)
(0.3333,0.4157,0.2353)	(0.3294,0.4118,0.2275)	(0.3333,0.4157,0.2314)
(0.3255,0.4157,0.2275)	(0.3294,0.4078,0.2314)	(0.3373,0.4078,0.2314)
(0.3333,0.4078,0.2353)	(0.3333,0.4157,0.2353)	(0.3333,0.4118,0.2314)
ค่าสีใบจริงในระบบสี RGB		
ปริมาณไนโตรเจน 40%	ปริมาณไนโตรเจน 20%	ปริมาณไนโตรเจน 0%
(0.3294,0.4196,0.2392)	(0.3294,0.4157,0.2353)	(0.6118,0.6627,0.2431)
(0.3373,0.4118,0.2431)	(0.3255,0.4196,0.2392)	(0.6078,0.6667,0.2353)
(0.3294,0.4118,0.2353)	(0.3294,0.4157,0.2275)	(0.6157,0.6627,0.2353)
(0.3294,0.4118,0.2314)	(0.3294,0.4157,0.2275)	(0.6196,0.6706,0.2353)

ตารางที่ 4 ข้อมูลค่าสีใบจริงของถั่วเหลืองในวันที่ 28 ก.ค. 47



รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์การความเข้มข้น 100%, 80%, 60%, 40% และ 20% ของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ต่อน้ำหนักแห้ง

ตารางค่าสีใบถั่วเหลืองที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้รับของสารละลายธาตุอาหาร

ข้อมูลสีใบถั่วเหลืองที่แสดงเป็นค่าสีใบในระบบสี RGB ที่มีผลกระทบจากความเข้มข้นของไนโตรเจน 0 0.6 1.2 1.8 2.4 และ 3 มิลลิโมลาร์ มีสีใบจริง (ลำดับใบที่ 0),สีใบประกอบรวมชุดที่1 (ลำดับใบที่ 1) สีใบประกอบรวมชุดที่2 (ลำดับใบที่ 2) สีใบประกอบรวมชุดที่3 (ลำดับใบที่ 3) สีใบประกอบรวมชุดที่4 (ลำดับใบที่ 4) สีใบประกอบรวมชุดที่5 (ลำดับใบที่ 5) สีใบประกอบรวมชุดที่6 (ลำดับใบที่ 6) และสีใบประกอบรวมชุดที่7 (ลำดับใบที่ 7) ในช่วงอายุถั่วเหลือง 18-33 วัน ดังแสดงได้ดังนี้

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
0.0	0	18	0.337255	0.419608	0.227451
0.0	0	19	0.341176	0.415686	0.235294
0.0	0	22	0.345098	0.419608	0.231373
0.0	0	23	0.360784	0.435294	0.231373
0.0	0	24	0.364706	0.443137	0.227451
0.0	0	25	0.376471	0.454902	0.223529
0.0	0	26	0.388235	0.462745	0.227451
0.0	0	29	0.466667	0.529412	0.227451
0.0	0	30	0.478431	0.549020	0.223529
0.0	0	31	0.501961	0.560784	0.231373
0.0	0	32	0.635294	0.631373	0.262745
0.0	0	33	0.737255	0.694118	0.278431
0.0	1	18	0.380392	0.462745	0.243137
0.0	1	19	0.360784	0.435294	0.239216
0.0	1	22	0.349020	0.423529	0.235294
0.0	1	23	0.368627	0.447059	0.239216
0.0	1	24	0.372549	0.450980	0.235294
0.0	1	25	0.376471	0.454902	0.223529
0.0	1	26	0.388235	0.466667	0.231373
0.0	1	29	0.450980	0.521569	0.227451

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
0.0	1	30	0.474510	0.549020	0.223529
0.0	1	31	0.494118	0.552941	0.231373
0.0	1	32	0.513725	0.564706	0.235294
0.0	1	33	0.600000	0.627451	0.247059
0.0	2	18	0.392157	0.490196	0.231373
0.0	2	19	0.376471	0.458824	0.239216
0.0	2	22	0.360784	0.439216	0.231373
0.0	2	23	0.376471	0.454902	0.231373
0.0	2	24	0.372549	0.450980	0.227451
0.0	2	25	0.384314	0.466667	0.227451
0.0	2	26	0.388235	0.466667	0.231373
0.0	2	29	0.419608	0.494118	0.223529
0.0	2	30	0.439216	0.521569	0.219608
0.0	2	31	0.458824	0.525490	0.227451
0.0	2	32	0.501961	0.564706	0.227451
0.0	2	33	0.513725	0.568627	0.223529
0.0	3	19	0.388235	0.474510	0.184314
0.0	3	22	0.372549	0.458824	0.227451
0.0	3	23	0.384314	0.470588	0.227451
0.0	3	24	0.376471	0.458824	0.227451
0.0	3	25	0.376471	0.458824	0.223529
0.0	3	26	0.376471	0.458824	0.227451
0.0	3	29	0.411765	0.486275	0.231373
0.0	3	30	0.415686	0.494118	0.227451
0.0	3	31	0.415686	0.490196	0.235294
0.0	3	32	0.431373	0.494118	0.231373
0.0	3	33	0.454902	0.521569	0.235294
0.0	4	22	0.423529	0.505882	0.184314

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
0.0	4	23	0.462745	0.545098	0.200000
0.0	4	24	0.478431	0.556863	0.203922
0.0	4	25	0.494118	0.568627	0.203922
0.0	4	26	0.478431	0.556863	0.203922
0.0	4	29	0.470588	0.549020	0.215686
0.0	4	30	0.454902	0.545098	0.203922
0.0	4	31	0.458824	0.537255	0.215686
0.0	4	32	0.466667	0.537255	0.223529
0.0	4	33	0.486275	0.556863	0.223529
0.0	5	24	0.501961	0.568627	0.184314
0.0	5	25	0.521569	0.592157	0.203922
0.0	5	26	0.525490	0.596078	0.211765
0.0	5	29	0.525490	0.596078	0.215686
0.0	5	30	0.505882	0.596078	0.211765
0.0	5	31	0.486275	0.560784	0.219608
0.0	5	32	0.490196	0.556863	0.219608
0.0	5	33	0.505882	0.576471	0.219608
0.0	6	29	0.545098	0.607843	0.243137
0.0	6	30	0.541176	0.615686	0.239216
0.0	6	31	0.537255	0.600000	0.235294
0.0	6	32	0.545098	0.592157	0.239216
0.0	6	33	0.576471	0.631373	0.231373
0.6	0	18	0.337255	0.419608	0.231373
0.6	0	19	0.337255	0.419608	0.239216
0.6	0	22	0.349020	0.427451	0.223529
0.6	0	23	0.349020	0.431373	0.231373
0.6	0	24	0.352941	0.435294	0.235294
0.6	0	25	0.360784	0.443137	0.227451

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
0.6	0	26	0.372549	0.450980	0.231373
0.6	0	29	0.407843	0.482353	0.231373
0.6	0	30	0.419608	0.498039	0.227451
0.6	0	31	0.443137	0.513725	0.231373
0.6	0	32	0.458824	0.521569	0.227451
0.6	0	33	0.498039	0.560784	0.231373
0.6	1	18	0.376471	0.462745	0.235294
0.6	1	19	0.364706	0.443137	0.235294
0.6	1	22	0.352941	0.435294	0.235294
0.6	1	23	0.360784	0.443137	0.235294
0.6	1	24	0.356863	0.443137	0.235294
0.6	1	25	0.360784	0.443137	0.227451
0.6	1	26	0.384314	0.466667	0.239216
0.6	1	29	0.415686	0.494118	0.219608
0.6	1	30	0.427451	0.509804	0.223529
0.6	1	31	0.443137	0.521569	0.227451
0.6	1	32	0.466667	0.537255	0.227451
0.6	1	33	0.513725	0.576471	0.227451
0.6	2	18	0.415686	0.498039	0.223529
0.6	2	19	0.400000	0.478431	0.235294
0.6	2	22	0.364706	0.447059	0.235294
0.6	2	23	0.368627	0.450980	0.239216
0.6	2	24	0.368627	0.450980	0.231373
0.6	2	25	0.372549	0.454902	0.227451
0.6	2	26	0.376471	0.458824	0.227451
0.6	2	29	0.415686	0.490196	0.227451
0.6	2	30	0.427451	0.509804	0.219608
0.6	2	31	0.415686	0.490196	0.231373

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
0.6	2	32	0.462745	0.533333	0.227451
0.6	2	33	0.482353	0.549020	0.231373
0.6	3	19	0.392157	0.474510	0.188235
0.6	3	22	0.376471	0.458824	0.219608
0.6	3	23	0.372549	0.458824	0.235294
0.6	3	24	0.364706	0.450980	0.231373
0.6	3	25	0.364706	0.447059	0.223529
0.6	3	26	0.364706	0.450980	0.227451
0.6	3	29	0.380392	0.454902	0.231373
0.6	3	30	0.392157	0.470588	0.227451
0.6	3	31	0.403922	0.478431	0.227451
0.6	3	32	0.411765	0.486275	0.235294
0.6	3	33	0.435294	0.509804	0.235294
0.6	4	22	0.400000	0.486275	0.192157
0.6	4	23	0.415686	0.501961	0.207843
0.6	4	24	0.435294	0.517647	0.215686
0.6	4	25	0.443137	0.525490	0.211765
0.6	4	26	0.435294	0.517647	0.215686
0.6	4	29	0.400000	0.486275	0.219608
0.6	4	30	0.403922	0.498039	0.219608
0.6	4	31	0.411765	0.494118	0.223529
0.6	4	32	0.411765	0.490196	0.227451
0.6	4	33	0.427451	0.509804	0.227451
0.6	5	24	0.478431	0.552941	0.176471
0.6	5	25	0.486275	0.564706	0.192157
0.6	5	26	0.498039	0.572549	0.207843
0.6	5	29	0.474510	0.552941	0.200000
0.6	5	30	0.458824	0.549020	0.203922

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
0.6	5	31	0.454902	0.537255	0.207843
0.6	5	32	0.458824	0.537255	0.211765
0.6	5	33	0.474510	0.552941	0.211765
0.6	6	29	0.478431	0.556863	0.211765
0.6	6	30	0.486275	0.572549	0.203922
0.6	6	31	0.474510	0.549020	0.207843
0.6	6	32	0.474510	0.541176	0.219608
0.6	6	33	0.486275	0.564706	0.215686
0.6	7	30	0.490196	0.564706	0.211765
0.6	7	31	0.478431	0.556863	0.227451
0.6	7	32	0.498039	0.568627	0.231373
0.6	7	33	0.529412	0.600000	0.223529
1.2	0	18	0.341176	0.427451	0.235294
1.2	0	19	0.337255	0.415686	0.239216
1.2	0	22	0.333333	0.411765	0.231373
1.2	0	23	0.341176	0.419608	0.231373
1.2	0	24	0.352941	0.431373	0.227451
1.2	0	25	0.352941	0.435294	0.227451
1.2	0	26	0.352941	0.435294	0.231373
1.2	0	29	0.368627	0.447059	0.223529
1.2	0	30	0.380392	0.466667	0.215686
1.2	0	31	0.376471	0.454902	0.223529
1.2	0	32	0.403922	0.478431	0.227451
1.2	0	33	0.423529	0.498039	0.223529
1.2	1	18	0.376471	0.466667	0.239216
1.2	1	19	0.360784	0.439216	0.239216
1.2	1	22	0.349020	0.427451	0.235294
1.2	1	23	0.349020	0.431373	0.239216

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
1.2	1	24	0.349020	0.431373	0.231373
1.2	1	25	0.349020	0.431373	0.235294
1.2	1	26	0.356863	0.439216	0.239216
1.2	1	29	0.388235	0.466667	0.231373
1.2	1	30	0.388235	0.474510	0.227451
1.2	1	31	0.396078	0.474510	0.231373
1.2	1	32	0.419608	0.494118	0.231373
1.2	1	33	0.447059	0.521569	0.227451
1.2	2	18	0.400000	0.490196	0.219608
1.2	2	19	0.388235	0.474510	0.231373
1.2	2	22	0.352941	0.439216	0.227451
1.2	2	23	0.352941	0.439216	0.239216
1.2	2	24	0.360784	0.443137	0.235294
1.2	2	25	0.360784	0.447059	0.223529
1.2	2	26	0.364706	0.443137	0.231373
1.2	2	29	0.380392	0.454902	0.235294
1.2	2	30	0.380392	0.470588	0.247059
1.2	2	31	0.376471	0.454902	0.235294
1.2	2	32	0.403922	0.478431	0.227451
1.2	2	33	0.427451	0.498039	0.231373
1.2	3	19	0.400000	0.478431	0.176471
1.2	3	22	0.392157	0.474510	0.223529
1.2	3	23	0.384314	0.470588	0.239216
1.2	3	24	0.360784	0.443137	0.239216
1.2	3	25	0.356863	0.439216	0.231373
1.2	3	26	0.356863	0.431373	0.227451
1.2	3	29	0.364706	0.439216	0.235294
1.2	3	30	0.364706	0.450980	0.235294

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
1.2	3	31	0.372549	0.450980	0.235294
1.2	3	32	0.380392	0.454902	0.231373
1.2	3	33	0.388235	0.466667	0.231373
1.2	4	22	0.400000	0.470588	0.192157
1.2	4	23	0.388235	0.474510	0.203922
1.2	4	24	0.384314	0.478431	0.223529
1.2	4	25	0.388235	0.478431	0.219608
1.2	4	26	0.380392	0.462745	0.219608
1.2	4	29	0.364706	0.447059	0.219608
1.2	4	30	0.368627	0.454902	0.223529
1.2	4	31	0.368627	0.447059	0.223529
1.2	4	32	0.372549	0.443137	0.223529
1.2	4	33	0.384314	0.462745	0.223529
1.2	5	24	0.423529	0.505882	0.180392
1.2	5	25	0.431373	0.525490	0.184314
1.2	5	26	0.439216	0.521569	0.211765
1.2	5	29	0.411765	0.494118	0.211765
1.2	5	30	0.396078	0.486275	0.211765
1.2	5	31	0.396078	0.474510	0.215686
1.2	5	32	0.400000	0.478431	0.215686
1.2	5	33	0.407843	0.486275	0.211765
1.2	6	26	0.439216	0.517647	0.176471
1.2	6	29	0.415686	0.498039	0.219608
1.2	6	30	0.423529	0.521569	0.211765
1.2	6	31	0.423529	0.501961	0.207843
1.2	6	32	0.427451	0.505882	0.207843
1.2	6	33	0.423529	0.513725	0.203922
1.2	7	29	0.447059	0.525490	0.200000

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
1.2	7	30	0.454902	0.545098	0.207843
1.2	7	31	0.443137	0.525490	0.223529
1.2	7	32	0.466667	0.541176	0.219608
1.2	7	33	0.490196	0.568627	0.211765
1.8	0	18	0.345098	0.423529	0.231373
1.8	0	19	0.349020	0.427451	0.239216
1.8	0	22	0.325490	0.407843	0.223529
1.8	0	23	0.337255	0.419608	0.231373
1.8	0	24	0.341176	0.423529	0.227451
1.8	0	25	0.341176	0.423529	0.219608
1.8	0	26	0.341176	0.427451	0.219608
1.8	0	29	0.352941	0.431373	0.235294
1.8	0	30	0.360784	0.443137	0.223529
1.8	0	31	0.380392	0.454902	0.223529
1.8	0	32	0.392157	0.470588	0.227451
1.8	0	33	0.415686	0.494118	0.227451
1.8	1	18	0.376471	0.462745	0.239216
1.8	1	19	0.364706	0.443137	0.239216
1.8	1	22	0.352941	0.431373	0.239216
1.8	1	23	0.349020	0.431373	0.239216
1.8	1	24	0.352941	0.435294	0.239216
1.8	1	25	0.345098	0.427451	0.235294
1.8	1	26	0.356863	0.439216	0.231373
1.8	1	29	0.372549	0.450980	0.235294
1.8	1	30	0.384314	0.466667	0.231373
1.8	1	31	0.392157	0.466667	0.235294
1.8	1	32	0.407843	0.486275	0.231373
1.8	1	33	0.423529	0.498039	0.231373

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
1.8	2	18	0.407843	0.498039	0.227451
1.8	2	19	0.388235	0.470588	0.231373
1.8	2	22	0.356863	0.439216	0.235294
1.8	2	23	0.360784	0.447059	0.239216
1.8	2	24	0.349020	0.431373	0.239216
1.8	2	25	0.352941	0.431373	0.239216
1.8	2	26	0.352941	0.431373	0.239216
1.8	2	29	0.360784	0.439216	0.235294
1.8	2	30	0.364706	0.447059	0.227451
1.8	2	31	0.376471	0.454902	0.235294
1.8	2	32	0.388235	0.466667	0.235294
1.8	2	33	0.396078	0.478431	0.231373
1.8	3	19	0.384314	0.470588	0.184314
1.8	3	22	0.372549	0.462745	0.219608
1.8	3	23	0.372549	0.466667	0.223529
1.8	3	24	0.345098	0.431373	0.231373
1.8	3	25	0.341176	0.427451	0.231373
1.8	3	26	0.337255	0.419608	0.227451
1.8	3	29	0.345098	0.423529	0.235294
1.8	3	30	0.345098	0.431373	0.231373
1.8	3	31	0.352941	0.431373	0.231373
1.8	3	32	0.352941	0.431373	0.227451
1.8	3	33	0.368627	0.450980	0.227451
1.8	4	22	0.376471	0.462745	0.192157
1.8	4	23	0.403922	0.494118	0.172549
1.8	4	24	0.384314	0.474510	0.219608
1.8	4	25	0.380392	0.466667	0.219608
1.8	4	26	0.376471	0.458824	0.219608

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
1.8	4	29	0.356863	0.439216	0.219608
1.8	4	30	0.352941	0.443137	0.215686
1.8	4	31	0.360784	0.443137	0.223529
1.8	4	32	0.360784	0.439216	0.223529
1.8	4	33	0.372549	0.454902	0.219608
1.8	5	24	0.423529	0.509804	0.164706
1.8	5	25	0.423529	0.513725	0.203922
1.8	5	26	0.431373	0.517647	0.196078
1.8	5	29	0.376471	0.466667	0.211765
1.8	5	30	0.384314	0.482353	0.211765
1.8	5	31	0.380392	0.466667	0.215686
1.8	5	32	0.380392	0.462745	0.215686
1.8	5	33	0.388235	0.478431	0.211765
1.8	6	26	0.439216	0.521569	0.168627
1.8	6	29	0.403922	0.494118	0.211765
1.8	6	30	0.411765	0.505882	0.207843
1.8	6	31	0.403922	0.482353	0.211765
1.8	6	32	0.403922	0.486275	0.211765
1.8	6	33	0.407843	0.494118	0.207843
1.8	7	29	0.411765	0.494118	0.192157
1.8	7	30	0.419608	0.513725	0.211765
1.8	7	31	0.431373	0.509804	0.211765
1.8	7	32	0.447059	0.517647	0.207843
1.8	7	33	0.470588	0.549020	0.203922
2.4	0	18	0.345098	0.431373	0.227451
2.4	0	19	0.345098	0.423529	0.231373
2.4	0	22	0.321569	0.403922	0.235294
2.4	0	23	0.325490	0.403922	0.235294

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
2.4	0	24	0.325490	0.403922	0.231373
2.4	0	25	0.329412	0.407843	0.227451
2.4	0	26	0.333333	0.415686	0.231373
2.4	0	29	0.345098	0.423529	0.231373
2.4	0	30	0.360784	0.443137	0.231373
2.4	0	31	0.380392	0.458824	0.231373
2.4	0	32	0.392157	0.462745	0.235294
2.4	0	33	0.411765	0.490196	0.231373
2.4	1	18	0.380392	0.470588	0.235294
2.4	1	19	0.368627	0.447059	0.235294
2.4	1	22	0.345098	0.423529	0.239216
2.4	1	23	0.349020	0.427451	0.239216
2.4	1	24	0.333333	0.411765	0.235294
2.4	1	25	0.341176	0.419608	0.239216
2.4	1	26	0.349020	0.435294	0.231373
2.4	1	29	0.352941	0.439216	0.235294
2.4	1	30	0.349020	0.435294	0.231373
2.4	1	31	0.360784	0.439216	0.231373
2.4	1	32	0.372549	0.454902	0.231373
2.4	1	33	0.388235	0.474510	0.231373
2.4	2	18	0.411765	0.505882	0.223529
2.4	2	19	0.388235	0.470588	0.231373
2.4	2	22	0.352941	0.435294	0.231373
2.4	2	23	0.356863	0.443137	0.239216
2.4	2	24	0.345098	0.423529	0.231373
2.4	2	25	0.345098	0.431373	0.235294
2.4	2	26	0.349020	0.427451	0.243137
2.4	2	29	0.349020	0.423529	0.235294

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
2.4	2	30	0.352941	0.431373	0.231373
2.4	2	31	0.368627	0.447059	0.235294
2.4	2	32	0.368627	0.443137	0.235294
2.4	2	33	0.392157	0.466667	0.231373
2.4	3	19	0.384314	0.470588	0.184314
2.4	3	22	0.376471	0.466667	0.215686
2.4	3	23	0.376471	0.470588	0.231373
2.4	3	24	0.349020	0.439216	0.239216
2.4	3	25	0.341176	0.431373	0.235294
2.4	3	26	0.337255	0.423529	0.235294
2.4	3	29	0.333333	0.411765	0.235294
2.4	3	30	0.341176	0.419608	0.239216
2.4	3	31	0.337255	0.415686	0.239216
2.4	3	32	0.345098	0.419608	0.239216
2.4	3	33	0.356863	0.439216	0.239216
2.4	4	22	0.415686	0.490196	0.164706
2.4	4	23	0.396078	0.490196	0.192157
2.4	4	24	0.372549	0.466667	0.215686
2.4	4	25	0.356863	0.450980	0.219608
2.4	4	26	0.356863	0.447059	0.223529
2.4	4	29	0.333333	0.411765	0.227451
2.4	4	30	0.329412	0.415686	0.219608
2.4	4	31	0.337255	0.415686	0.227451
2.4	4	32	0.345098	0.419608	0.223529
2.4	4	33	0.356863	0.431373	0.223529
2.4	5	24	0.419608	0.498039	0.168627
2.4	5	25	0.411765	0.501961	0.164706
2.4	5	26	0.396078	0.490196	0.196078

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
2.4	5	29	0.356863	0.443137	0.223529
2.4	5	30	0.352941	0.443137	0.219608
2.4	5	31	0.345098	0.423529	0.219608
2.4	5	32	0.345098	0.423529	0.219608
2.4	5	33	0.356863	0.439216	0.215686
2.4	6	26	0.439216	0.517647	0.172549
2.4	6	29	0.360784	0.450980	0.219608
2.4	6	30	0.356863	0.450980	0.219608
2.4	6	31	0.356863	0.435294	0.219608
2.4	6	32	0.372549	0.447059	0.215686
2.4	6	33	0.380392	0.462745	0.211765
2.4	7	29	0.396078	0.486275	0.188235
2.4	7	30	0.356863	0.466667	0.192157
2.4	7	31	0.368627	0.462745	0.200000
2.4	7	32	0.400000	0.490196	0.203922
2.4	7	33	0.423529	0.513725	0.192157
3.0	0	18	0.341176	0.419608	0.231373
3.0	0	19	0.329412	0.411765	0.227451
3.0	0	22	0.329412	0.407843	0.235294
3.0	0	23	0.333333	0.411765	0.239216
3.0	0	24	0.329412	0.407843	0.231373
3.0	0	25	0.337255	0.415686	0.235294
3.0	0	26	0.325490	0.403922	0.231373
3.0	0	29	0.325490	0.403922	0.235294
3.0	0	30	0.329412	0.407843	0.231373
3.0	0	31	0.333333	0.407843	0.239216
3.0	0	32	0.341176	0.411765	0.243137
3.0	0	33	0.356863	0.439216	0.239216

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
3.0	1	18	0.388235	0.474510	0.239216
3.0	1	19	0.372549	0.454902	0.239216
3.0	1	22	0.345098	0.423529	0.239216
3.0	1	23	0.349020	0.427451	0.243137
3.0	1	24	0.337255	0.411765	0.239216
3.0	1	25	0.333333	0.411765	0.239216
3.0	1	26	0.337255	0.415686	0.243137
3.0	1	29	0.333333	0.407843	0.235294
3.0	1	30	0.333333	0.411765	0.235294
3.0	1	31	0.333333	0.411765	0.235294
3.0	1	32	0.345098	0.419608	0.239216
3.0	1	33	0.360784	0.435294	0.243137
3.0	2	18	0.411765	0.509804	0.223529
3.0	2	19	0.392157	0.482353	0.231373
3.0	2	22	0.345098	0.427451	0.231373
3.0	2	23	0.349020	0.427451	0.239216
3.0	2	24	0.341176	0.423529	0.235294
3.0	2	25	0.341176	0.423529	0.235294
3.0	2	26	0.345098	0.419608	0.239216
3.0	2	29	0.341176	0.415686	0.243137
3.0	2	30	0.333333	0.411765	0.239216
3.0	2	31	0.345098	0.411765	0.250980
3.0	2	32	0.341176	0.407843	0.243137
3.0	2	33	0.352941	0.427451	0.250980
3.0	3	19	0.396078	0.482353	0.172549
3.0	3	22	0.384314	0.466667	0.231373
3.0	3	23	0.380392	0.470588	0.243137
3.0	3	24	0.356863	0.447059	0.247059

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
3.0	3	25	0.345098	0.427451	0.243137
3.0	3	26	0.337255	0.415686	0.243137
3.0	3	29	0.333333	0.403922	0.247059
3.0	3	30	0.329412	0.403922	0.239216
3.0	3	31	0.325490	0.396078	0.243137
3.0	3	32	0.325490	0.396078	0.243137
3.0	3	33	0.333333	0.407843	0.247059
3.0	4	22	0.388235	0.470588	0.184314
3.0	4	23	0.380392	0.482353	0.211765
3.0	4	24	0.372549	0.466667	0.219608
3.0	4	25	0.349020	0.439216	0.227451
3.0	4	26	0.345098	0.431373	0.231373
3.0	4	29	0.317647	0.392157	0.231373
3.0	4	30	0.313725	0.388235	0.231373
3.0	4	31	0.317647	0.380392	0.235294
3.0	4	32	0.321569	0.384314	0.231373
3.0	4	33	0.321569	0.388235	0.243137
3.0	5	24	0.431373	0.513725	0.180392
3.0	5	25	0.384314	0.474510	0.207843
3.0	5	26	0.380392	0.474510	0.219608
3.0	5	29	0.349020	0.431373	0.231373
3.0	5	30	0.333333	0.411765	0.235294
3.0	5	31	0.321569	0.392157	0.231373
3.0	5	32	0.325490	0.396078	0.239216
3.0	5	33	0.317647	0.388235	0.235294
3.0	6	26	0.443137	0.517647	0.176471
3.0	6	29	0.349020	0.431373	0.239216
3.0	6	30	0.337255	0.427451	0.239216

ปริมาณไนโตเจน	ลำดับใบ	อายุถั่วเหลือง	R	G	B
3.0	6	31	0.329412	0.403922	0.239216
3.0	6	32	0.329412	0.400000	0.239216
3.0	6	33	0.325490	0.396078	0.231373
3.0	7	29	0.392157	0.474510	0.203922
3.0	7	30	0.349020	0.447059	0.235294
3.0	7	31	0.341176	0.419608	0.247059
3.0	7	32	0.364706	0.439216	0.243137
3.0	7	33	0.376471	0.454902	0.235294

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุรศักดิ์ ทรัพยากร เกิดวันพฤหัสบดี ที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2522 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิตเกียรตินิยมอันดับสอง สาขาคณิตศาสตร์ประยุกต์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา พ.ศ. 2543 เข้าทำงานที่บริษัท ไทยประกันชีวิต จำกัด ตำแหน่งเจ้าหน้าที่คณิตศาสตร์ประกันภัย ในวันที่ 3 กันยายน 2544 ถึง 31 พฤษภาคม 2546 และในเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2546 เข้ารับการศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคณนา ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย