



ปัญหาพิเศษ

อิทธิพลของอัตราปลูกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ พื้นที่ใบและ
การสะสมน้ำหนักแห้งที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49

Effects of Seeding Rates on Chlorophyll Content,
Leaf Area and Dry Weight Accumulation in Different
Developmental Stages of RD49 Rice Cultivar

นางสาว เบ็ญญา เจิมท่า

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
DEPARTMENT OF AGRONOMY
FACULTY OF AGRICULTURE KASETSART UNIVERSITY



ใบรับรองปัญหาพิเศษ
คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์เกษตร)

ปริญญา

.....วิทยาศาสตร์เกษตร..... พืชไร่.....
สาขา ภาควิชา

เรื่อง อิทธิพลของอัตราปลูกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ พื้นที่ใบและการสะสมน้ำหนักแห้งที่ระยะการ
เจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49

Effects of Seeding Rates on Chlorophyll Content, Leaf Area and Dry Weight

Accumulation in Different Developmental Stages of RD49 Rice Cultivar

นามผู้วิจัย นางสาว เบญญา เจิมท่า

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษหลัก
(...ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุตเขตต์ นาคะเสถียร, Ph.D....)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษร่วม
(.....อาจารย์ ปาริชาติ พรหมโชติ.....)

หัวหน้าภาควิชา
(...ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยะ กิตติภาดากุล, Ph.D....)
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

อิทธิพลของอัตราปลูกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ พื้นที่ใบและการสะสมน้ำหนักแห้ง
ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49

Effects of Seeding Rates on Chlorophyll Content, Leaf Area and Dry Weight
Accumulation in Different Developmental Stages of RD49 Rice Cultivar

โดย

นางสาว เบญญา เจริญท่า

เสนอ

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

DEPARTMENT OF AGRONOMY

FACULTY OF AGRICULTURE KASETSART UNIVERSITY

บทคัดย่อ

เบญญา เจิมท่า 2560: อิทธิพลของอัตราปลูกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ พื้นที่ใบและการสะสม น้ำหนักแห้งที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49 ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขา วิทยาศาสตร์เกษตร ภาควิชาพืชไร่ฯ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุดเขตต์ นาคะเสถียร, Ph.D. 42 หน้า

ปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคการเกษตร ทำให้เกษตรกรในพื้นที่ภาคกลางนิยมปลูก ข้าวด้วยวิธีการหว่านน้ำตาม คิดเป็นร้อยละ 45.10 ของพื้นที่ปลูกข้าว ใช้เมล็ดพันธุ์ปลูกในอัตราเฉลี่ย 28.62 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าคำแนะนำของกรมการข้าวที่แนะนำให้ใช้เมล็ดพันธุ์ปลูกในอัตรา 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้เพิ่มต้นทุน การใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ข้าวสูงเกินทำให้มีความหนาแน่นของ ต้นข้าวต่อพื้นที่มาก ยากต่อการจัดการแปลง และได้ผลผลิตต่อไร่ต่ำเมื่อเทียบกับการใช้อัตราปลูกที่ เหมาะสม การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของอัตราปลูกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ พื้นที่ใบและการสะสมน้ำหนักแห้ง ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49 ดำเนินการ ทดลอง ที่แปลงเกษตรกร ตำบลสนับทึบ อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยวางแผนการ ทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design) ประกอบด้วย 3 อัตรา ปลูกได้แก่ 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ทดลอง 4 ซ้ำ จากผลการทดลองพบว่า อัตราเมล็ดพันธุ์ มี อิทธิพลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ที่ระยะดอกบาน การปลูกด้วยอัตราเมล็ดพันธุ์ 7.5 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ส่งผลให้ดัชนีพื้นที่ใบสูงกว่าการปลูกด้วยอัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ อัตราการเจริญเติบโตที่ ระยะสร้างช่อดอก เมื่อปลูกด้วยอัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่สูงกว่าการปลูกด้วยอัตรา 7.5 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบ ทั้งนี้ ดัชนีพื้นที่ใบในระยะการสร้างช่อดอกเป็นค่าทางสรีรวิทยาที่มีความสำคัญ ซึ่งสามารถเป็นตัวชี้บ่งชี้ที่มี ความสัมพันธ์กับผลผลิต โดยในการทดลองเดียวกันนี้ที่อัตราเมล็ดพันธุ์ 7.5 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต ต่อพื้นที่สูงสุด เมื่อเทียบอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบในระยะสร้างช่อดอกและ การประหยัดต้นทุนด้านเมล็ดพันธุ์ที่มากกว่า

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

____/____/____

ABSTRACT

Benya Choemta 2017: Effects of Seeding Rates on Chlorophyll Content, Leaf Area and Dry Weight Accumulation in Different Developmental Stages of RD49 Rice Cultivar Bachelor of Agricultural Science, Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Special problem Advisor: Assistant Professor Sutkhet Nakasathien, Ph.D. 42 pages.

Because of labor shortage farmers in the central region grow rice by using wet broad cast method accounted for 45.10 percent, of total cultivated areas. Farmers use planting rate of 28.62 kg/rai, which is higher than the recommended rate of the Department of Rice. As a result, the rice plot has a large error density, which is difficult in farm management, and obtains low yield rice. The objective of this study is to determine the influence of planting rates on chlorophyll content, leaf area and dry weight accumulation at various growth stages of RD49 rice variety. The experiment was conducted at the farmer's plots in Sanabtub sub district, Wang Noi district, Phra Nakhon Si Ayutthaya province by using Randomized Complete Block Design (RCBD) with 4 replications. The treatments were: three seeding rates; 7.5 kg/rai; 15 kg/rai, 25 kg/rai. The results showed that planting rate influence total chlorophyll content during bloom stage planting with seed rate of 7.5 and 25 kg/rai provided higher in leaf area index compared to planting with seed rate of 15 kg/rai. the growth rate during panicle stage from planting by seed rate at 15 kg/rai. was higher than those of the other 2 planting rates. Additionally, Leaf area index during panicle stage correlates to yield, which the highest yield was obtained from planting rate of 7.5 kg/rai. at the seed rate of 7.5 kg/rai, yielding the highest yield per area. which explains that seed rate affects stems growth and growth in the production phase which must be managed.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

___/___/___

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุตเขตต์ นาคะเสถียร อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษหลัก อาจารย์ปาริชาติ พรหมโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษร่วม รองศาสตราจารย์ ธาณี ศรีวงศ์ชัย นิสิตปริญญาโทห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาและชีวโมเลกุล (Crop Physio-Molecular Biology Laboratory) ขอขอบพระคุณที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง ให้กำลังใจในการทำงาน ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ใหญ่ทวี ทรัพย์เจริญ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ปลูกที่ใช้ในการทดลอง คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ ห้องทำการทดลอง สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณทางคณาจารย์ของภาคพืชไร่ทุกท่าน ที่มอบความรู้ อบรม จนสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์

เบญญา เจริญท่า

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	i
สารบัญตาราง	ii
สารบัญภาพ	iii
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	19
อุปกรณ์	19
วิธีการ	20
สถานที่และระยะเวลาการทำวิจัย	23
ผลและวิจารณ์	24
สรุป	34
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	35
ภาคผนวก	36
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	42

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในระยะเวลาเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49 ที่อัตราปลูกแตกต่างกัน	26
2	แสดงผลของอัตราปลูกต่อดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI) ในระยะเวลาเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49	28
3	แสดงผลของอัตราปลูกต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ปลูก (Crop Growth Rate; CGR) ในระยะเวลาเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49	28
4	แสดงผลของอัตราปลูกต่ออัตราการสะสมน้ำหนักรากต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบ (Net Assimilation Rate; NAR) ในระยะเวลาเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49	29

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เปรียบเทียบความเขียวใบ (SPAD unit) แต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่	30
2	เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ($g\ m^{-2}$) แต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่	30
3	เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ($g\ m^{-2}$) ต่อคลอโรฟิลล์บี ($g\ m^{-2}$) แต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่	31
4	แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดกับน้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่	31
5	แสดงค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและอัตราการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่	32
6	แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดกับดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index; LAI) ของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่	32

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวกที่		หน้า
1	ภาพแสดงเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งการงอกโดยการแช่น้ำสำหรับการปลูกแบบนาหว่านน้ำตมและการใช้เครื่องหยอดเมล็ดการนาเมล็ดใส่เครื่องหยอดเมล็ดและเครื่องหว่านพ่นแบบสะพายหลัง	39
2	ภาพแสดงการสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวพันธุ์ กข49 ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ	39
3	ภาพแสดงการวัดความเขียวทั่วทั้งใบจำนวน 3 จุด คือ กกใบ กลางใบ และปลายใบด้วยเครื่อง Chlorophyll meter (SPAD-502)	40
4	ภาพแสดงการสกัดคลอโรฟิลล์ในใบข้าว เจาะตัวอย่างใบบริเวณที่วัดความเขียวใบด้วย Cork borer จะได้แผ่นใบรูปร่างวงกลม ใส่ในหลอดที่เติมสาร N, N - dimethylformamide (DMF) ปริมาณ 4 มิลลิลิตร	40
5	ภาพแสดงการนำสารละลายคลอโรฟิลล์วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance , A) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 664 nm และ 647 nm	41
6	ภาพแสดงการวัดพื้นที่ใบโดยใช้เครื่อง Leaf area meter รุ่น LI-3100C AREA METER	41

อิทธิพลของอัตราปลูกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ พื้นที่ใบและการสะสมน้ำหนักราก
ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49

Effects of Seeding Rates on Chlorophyll Content, Leaf Area and Dry Weight
Accumulation in Different Developmental Stages of RD49 Rice Cultivar

คำนำ

การทำนาในเขตพื้นที่ชลประทาน เกษตรกรมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช สารเคมีกำจัดโรค และแมลง รวมถึงปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง ส่งผลให้เกษตรกรมีต้นทุนในการผลิตข้าวที่สูงขึ้น จากการสำรวจเกษตรกรอำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยาพบว่า เกษตรกรใช้เมล็ดพันธุ์ในอัตรา 25 - 30 กิโลกรัมต่อไร่ หรือมากกว่า ในการปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตม (เอ็จ และคณะ, 2561) เนื่องจากข้าวแต่ละพันธุ์ก็มีข้อดีและมีข้อจำกัดในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวแต่ละพันธุ์จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต (Alam *et al.*, 2009) การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า อัตราการเจริญเติบโต (Crop growth rate; CGR) ในช่วงปลายของระยะสืบพันธุ์ (0-14 วันก่อนออกรวงเต็มที่) มีความสัมพันธ์กับศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าว (Horie *et al.*, 2003) เนื่องจากพันธุ์ที่มี CGR ในช่วงนี้สูงก็จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรสูงด้วย (Takai *et al.*, 2006) และมีรายงานว่า จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมีความสัมพันธ์กันสูงกับการสะสมน้ำหนักรากในช่วงกำเนิดช่อดอกถึงช่วงออกดอก (Kropff *et al.*, 1994) ส่วนจะมีการเติมเต็มเมล็ดมากเท่าไร ขึ้นอยู่กับการสะสมน้ำหนักรากในช่วงออกดอกถึงเก็บเกี่ยว (Yoshida, 1981) โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักรากอาจเกิด จากการเพิ่มอายุการเจริญเติบโต (crop growth duration; CGD) หรืออัตราการเจริญเติบโต (Crop growth rate; CGR) หรือทั้งสองอย่าง (Yoshida, 1983) นอกจากนี้ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม เช่น แสงแดด อุณหภูมิปริมาณของ น้ำฝนและคุณสมบัติทางประการของดิน ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละสถานที่และฤดูปลูกต่างก็มีอิทธิพลต่อการ เจริญเติบโตของพืชได้ทั้งสิ้น (Gomez and Gomez, 1984) และจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า อัตราการเจริญเติบโตที่ ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตในข้าวพันธุ์ ไผ่โง่ง (พรเพ็ญ และนิตยา, 2554) พบว่าเป็นพันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดเล็กที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ ซึ่งอาจจะอธิบายในแง่ของการให้ผลผลิตได้ว่า อาจมีการชดเชยกันระหว่าง Sink size กล่าวคือ ขนาดเมล็ดเล็กของข้าว อาจถูกชดเชยด้วยจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรที่มีจำนวนมากกว่าพันธุ์อื่นๆ เพราะ จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรนั้นถือว่าเป็นตัวกำหนดผลผลิตของพืชในกลุ่มธัญพืชที่ปลูกในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากความเครียด (Fischer, 1983; Kropff *et al.*, 1994) และการเพิ่ม Sink

size ของข้าวอาจทำได้โดยการเพิ่มจำนวนช่อดอก หรือขนาด ช่อดอก หรือทั้งสองอย่าง เพราะองค์ประกอบของผลผลิตทั้งสองอย่างนี้มีกลไกที่สามารถชดเชยกันได้ (Ying *et al.*, 1998) ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาโดยเฉพาะอิทธิพลของพื้นที่ใบซึ่งนับว่ามีความสำคัญมากต่อระบบการผลิต ข้าวนาปรัง โดยเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวในระดับความหนาแน่นของประชากรที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลที่ได้น่าจะเป็นประโยชน์สำหรับนักส่งเสริมการเกษตร กลุ่มเกษตรกรตัวอย่างที่จะนำข้อมูลนี้ทำเป็นต้นแบบและเป็นแนวทางในการทำข้าวนาปรังต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ความเขียวของข้าวพันธุ์ กข49 ที่ใช้วิธีการและอัตราปลูกที่แตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาพื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ความเขียวของข้าวพันธุ์ กข49 ที่มีผลต่อระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง การสะสมอาหารของต้นข้าว และส่งผลต่อผลผลิต

การตรวจเอกสาร

1. สถานการณ์ข้าวในปัจจุบัน

การทำนาในปัจจุบันเน้นผลิตเพื่อการค้าเป็นหลัก โดยใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อให้ได้ผลผลิตที่เร็วและมากที่สุด วิธีการผลิตของชาวนาได้เปลี่ยนแปลงสู่การใช้เทคโนโลยี ทั้งเครื่องจักร เมล็ดพันธุ์ ปุ๋ยเคมี สารเคมี ทำให้เกษตรกรสูญเสียอำนาจในการควบคุมปัจจัยการผลิต เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีตั้งแต่การขั้นตอนการเตรียมดินจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต ทำให้เกษตรกรเป็นเพียงผู้บริหาร จัดการแปลงปลูก การพึ่งเทคโนโลยีทั้งหมดทำให้พบกับปัญหาต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น ขาดอำนาจการต่อรอง ซึ่งเกิดจากการใช้ปัจจัยการผลิตเกินความจำเป็น ในการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย ไทยมีผลผลิตเฉลี่ย 447.0 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งอินโดนีเซียมีผลผลิตเฉลี่ย 780.8 กิโลกรัมต่อไร่ เวียดนามมีผลผลิตเฉลี่ย 853.0 กิโลกรัมต่อไร่ (อิทธิ, 2557) และเมื่อวิเคราะห์ถึงต้นทุนการผลิต พบว่าประเทศไทยมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 7,452 บาทต่อตัน เวียดนาม 5,615 บาทต่อตัน ซึ่งไทยมีต้นทุนด้านเมล็ดพันธุ์สูงเป็น 2 เท่าของเวียดนามเมื่อปี 2556 (กัมพล, 2559) ต้นทุนในการผลิตข้าวของเวียดนามต่ำกว่าไทย เนื่องจากเวียดนามมีนโยบาย ลด 3 เพิ่ม 3 เริ่มนโยบายนี้ เมื่อปี 2549 เพื่อลดต้นทุนในการผลิตข้าวและเพิ่มรายได้ให้เกษตรกร ลด 3 คือ ลดปริมาณเมล็ดพันธุ์ให้เหมาะสม ลดการใช้ปุ๋ยเคมี ลดการใช้ยาปราบศัตรูพืชและวัชพืช เพิ่ม 3 คือ เพิ่มผลผลิต เพิ่มคุณภาพ และเพิ่มกำไรให้เกษตรกร นโยบายนี้ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 20 นโยบายนี้เป็นที่น่าสนใจหากประเทศไทยลองนำแนวทางนี้มาปฏิบัติน่าจะได้ผลไปในทิศทางเดียวกันว่า ทำให้เกษตรกรมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ทั้งนี้ประเทศเวียดนามมีการเร่งพัฒนาพันธุ์ข้าว เน้นคุณภาพข้าว และข้าวคุณภาพเยี่ยมขอเวียดนามนี้คือ Vietnam Premium Rice ซึ่งมีคุณลักษณะคล้ายคลึงกับข้าวหอมมะลิของไทยขาดเพียงไม่มีกลิ่นที่หอมอย่างข้าวหอมมะลิไทย แสดงให้เห็นว่า ข้าวของประเทศไทยมีความเฉพาะและยังมีความต้องการสูงในตลาดโลก

2. ข้าวพันธุ์ กข49

ข้าวพันธุ์ กข49 เกิดจากการผสมพันธุ์ 3 ทางระหว่างลูกผสมชั่วที่ 1 ของ PSL00508-3-1-1-4 กับ IR66738-118-1-2 นาไปผสมกับ IR68544-29-2-1-3-1-2 เป็นข้าวเจ้าไม่วิถีต่อช่วงแสงอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 102-107 วัน เมื่อปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตม และ 116 วัน เมื่อปลูกโดยวิธีปักดำ มีลักษณะกอตั้งสูงประมาณ 95 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยว 102-107 วัน มีความต้านทานโรคเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556)

3. การเติบโตและการพัฒนาการของข้าว (Rice Growth and Development)

3.1. ลักษณะการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว

การเจริญเติบโตของข้าวแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

3.1.1 ช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative phase) แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะต้นกล้า มีอายุประมาณ 20-30 วัน โดยเริ่มจากเมล็ดงอกจนถึงต้นข้าวสร้างใบได้จำนวน 5 ใบ และระยะแตกกอซึ่งต้นข้าวมีอายุประมาณ 45-60 วันโดยต้นข้าวจะมีการแตกกอ มีจำนวนใบ และความสูงที่เพิ่มขึ้น ช่วงการเจริญเติบโตนี้จะมีระยะเวลาแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ไม่แน่นอน ข้าวที่ตอบสนองต่อช่วงแสง การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นจะแบ่งเป็น 2 ช่วงระยะย่อยคือ ช่วงการเจริญเติบโตพื้นฐาน (Basic vegetative phase, BVP) เพื่อพัฒนาโครงสร้างและองค์ประกอบพื้นฐานที่จำเป็นให้สมบูรณ์ก่อน โดยช่วงแสงที่ไม่เหมาะสมจะไม่สามารถกระตุ้นให้ข้าวออกดอกได้ จากนั้นการเจริญเติบโตเข้าสู่ช่วงการตอบสนองต่อการกระตุ้นโดยช่วงแสง (Photoperiod sensitive phase, PSP) เมื่อได้รับช่วงแสงที่วิกฤติ (Critical photoperiod) เป็นระยะเวลาของช่วงแสงที่เหมาะสม (Photoinductive cycle) ข้าวก็จะเปลี่ยนการเจริญของตาดอกเป็นตาดอกแล้วเข้าสู่ช่วงการเจริญเติบโตด้านสืบพันธุ์ต่อไป

3.1.2 ช่วงการสืบพันธุ์ (Reproductive phase) แบ่งออกได้เป็น 2 ระยะคือ ระยะกำเนิดช่อดอก และระยะออกรวง ใช้ระยะเวลาประมาณ 30-35 วันหลังจากช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น

3.1.3 ช่วงสุกแก่ (Ripening phase) แบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะเมล็ดเป็นน้ำนมประมาณ 8-13 วัน หลังข้าวออกดอก ระยะเมล็ดข้าวเริ่มแข็งคือช่วงระยะประมาณ 14-21 วันหลังข้าวออกดอก ส่วนที่เหลืออีกประมาณ 10-15 วันเป็นระยะเมล็ดสุกแก่ รวมช่วงระยะเวลาทั้งหมดประมาณ 30 วัน (Soltani and Sinclair, 2012)

3.2 ระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

Miller (1992) ได้กล่าวว่า การแบ่งระยะการเจริญเติบโตของธัญพืชตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) ในระบบรหัสทศนิยม (Decimal code) โดยแบ่งระยะการเจริญเติบโตของธัญพืชเป็น 10 ระยะ และมีการนำมาใช้กันมากในงานวิจัยและการเพาะปลูก ซึ่งการเข้าใจถึงระยะการเจริญเติบโตของพืชตาม Zadoks scale นั้นจะช่วยให้สามารถจัดการดูแลรักษาพืชได้เหมาะสม เช่น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนนั้น ต้องมีการใส่ในระยะแตกกอ (Tillering) โดยมีระยะต่างๆ ดังนี้ ระยะการเจริญเติบโต 10 ระยะ คือ 0-9 โดยในแต่ละระยะจะมีการเจริญและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่แตกต่างกัน ดังนี้

3.2.1 ระยะที่ 0 เมล็ดงอก (Germination) โดยปกติก่อนเมล็ดงอกต้องแช่เมล็ดในน้ำนานประมาณ 24 ชั่วโมงและบ่มไว้อีกประมาณ 24 ชั่วโมง เมื่อเมล็ดเริ่มงอก ส่วนของปลายรากและยอดจะงอกโผล่พ้นออกมาจากเปลือก ระยะนี้สิ้นสุดเมื่อใบแรกของข้าวโผล่พ้นจากปลอกหุ้มยอด (Coleoptile) ซึ่งจะใช้ระยะเวลาประมาณ 2-3 วันหลังจากเพาะเมล็ด

3.2.2 ระยะที่ 1 ต้นกล้า (Seedling) ระยะนี้จะสิ้นสุดเมื่อเริ่มปรากฏให้เห็นหน่อแรกจากต้นหลัก ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะนี้จะมีการพัฒนาของรากย่อย (Seminal root) และมีใบประมาณ 5 ใบ โดยมีอัตราการสร้างใบ 1 ใบ ทุก 3-4 วัน อายุกล้าที่เหมาะสมสำหรับการย้ายปลูกเพื่อปักดำ คือ 18 วัน ที่ระยะนี้กล้าจะมีใบประมาณ 5 ใบ และจะพัฒนาระบบรากอย่างรวดเร็ว

3.2.3 ระยะที่ 2 แตกกอ (Tillering) ระยะนี้เริ่มจากการปรากฏของหน่อแรกจนถึงมีการแตกกอสูงสุด โดยหน่อจะเจริญมาจากตาข้างที่ข้อของต้นข้าว ต้นข้าวเพิ่มความสูงและมีการแตกกอ เพิ่มขนาดของทรงพุ่ม เมื่อมีการแตกกอสูงสุดอาจไม่สามารถแยกต้นหลักออกจากหน่อที่แตกออกมาได้

3.2.4 ระยะที่ 3 ยืดลำต้น (Stem elongation) ระยะนี้จะเริ่มก่อนการสร้างตาดอกหรืออาจเกิดขึ้นในช่วงท้ายของการพัฒนาของระยะแตกกอที่ทำให้ระยะทั้ง 2 เหลื่อมกันโดยมีการแตกหน่อเพิ่มขึ้นขณะเดียวกันก็มีการยืดของปล้อง

3.2.5 ระยะที่ 4 ตั้งท้อง (Booting) การพัฒนาของช่อดอกที่ปลายยอดเจริญ เป็นการบ่งบอกถึงระยะการเจริญเติบโตด้านการสืบพันธุ์ของข้าว ดอกอ่อนข้าวจะสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าหลังการพัฒนาแล้ว 10 วัน ที่ระยะนี้ยังคงมีใบข้าวอีกประมาณ 3 ใบที่พัฒนาต่อไป ก่อนที่จะมองเห็นช่อดอกโผล่ออกมาจากกาบใบธง ในขณะที่ช่อดอกพัฒนา ดอกย่อย (Spikelet) ก็มีการพัฒนาจนมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ช่อดอกพัฒนาเพิ่มขนาดภายในกาบใบธง ทำให้เห็นกาบใบธงปล้องขึ้น การที่เห็นกาบใบธงปล้องขึ้นนี้เรียกว่า ข้าวตั้งท้อง ในระยะนี้พบการแก่ของใบและหน่อด้านล่างของกอข้าวด้วย

3.2.6 ระยะที่ 5 การโผล่ของรวง (Heading) ระยะนี้สังเกตได้จากช่อดอกที่โผล่ออกมาจากกาบใบธง

3.2.7 ระยะที่ 6 ดอกบาน (Flowering) เริ่มเมื่อดอกบานและอับละอองเกสรโผล่ออกมาจากดอกข้าว โดยการยึดตัวของก้านชูอับละอองเกสร มีการถ่ายละอองเกสรแล้วเกิดการผสมเกสรขึ้น หลังจากนั้นดอกก็หุบลง เมื่อละอองเกสรตกลงบนยอดเกสรตัวเมีย ละอองเกสรจะงอกท่อเพื่อลงไปผสมกับไข่ในรังไข่ การบานของดอกในข้อเริ่มจากดอกที่อยู่ส่วนบนของข้อ ระยะเวลา 7 วันดอกในข้อจึงจะบานทั้งหมด

3.2.8 ระยะที่ 7 แป้งในเมล็ดเป็นน้ำนม (Milk grain) ที่ระยะนี้เมล็ดจะเริ่มสะสมแป้งที่เป็นน้ำเหลวคล้ายน้ำนม สามารถบีบให้น้ำแป้งออกมาจากเปลือกหุ้มเมล็ดได้ ช่อดอกมีลักษณะเขียวและเริ่มโน้มรวง ใบธงและอีก 2 ใบด้านล่างยังคงสีเขียว

3.2.9 ระยะที่ 8 แป้งในเมล็ดเป็นแป้งอ่อน (dough grain) ระยะนี้แป้งในเมล็ดเริ่มเข้มข้น คล้ายเป็นแป้งอ่อน เมล็ดเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ใบและหน่อด้านล่างของกอเริ่มแก่เหลือง ทำให้เห็นแปลงนาเริ่มกลายเป็นสีเหลือง ใบข้าวเริ่มแห้งจากส่วนปลาย

3.2.10 ระยะที่ 9 สุกแก่ (Ripening) ระยะพลับพลึง แต่ละเมล็ดสุกแก่และพัฒนาเต็มที่ เมล็ดแข็งและกลายเป็นสีเหลือง รวงโน้มลง ใบข้าวแห้งอย่างรวดเร็ว แต่ก็มีบางพันธุ์ที่ยังมีสีเขียวอยู่

4. อัตราเมล็ดพันธุ์

การเตรียมเมล็ดพันธุ์สำหรับการปลูกข้าวสามารถแบ่งประเภทตามวิธีการปลูก เช่น อัตราเมล็ดสำหรับการตกกล้าเพื่อใช้ในการปักดำ จะใช้เมล็ดพันธุ์ 7 กิโลกรัมต่อไร่ นาหว่านน้ำตมอัตราเมล็ดพันธุ์ที่เหมาะสมในการหว่านข้าวหว่านออก ประมาณ 15-20 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2547) การทำนาในเขตนาชลประทาน เกษตรกรส่วนใหญ่ ปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตมและเกษตรกรมักใช้อัตราเมล็ดพันธุ์สูง ทำให้ต้นข้าวหนาแน่น เป็นเหตุให้เกิดปัญหาโรคและแมลงศัตรูข้าว เกษตรกรจึงต้องใช้สารเคมีฉีดพ่นอย่างเข้มข้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงการจัดการเขตกรรมเพื่อความสมบูรณ์สูงสุดของพืช เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด และการปฏิบัติการเขตกรรมของชาวนามีอิทธิพลส่งผลกระทบต่อทั้งระบบของจำนวนศัตรูข้าว (โรคข้าว แมลงศัตรูข้าว วัชพืชในข้าว ฯลฯ) (Zadoks and Schein, 1979) สมโรจน์ และคณะ (2553) กล่าวว่า การปฏิบัติการเขตกรรมของชาวนา มีอิทธิพลส่งผลกระทบต่อจำนวนศัตรูข้าว และการปลูกข้าวโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ต่ำ (15-20 กิโลกรัมต่อไร่) ทำให้มีความสมบูรณ์ของพืชมากกว่าการปลูกข้าวที่อัตราเมล็ดพันธุ์สูงกว่า การเข้าทำลายของศัตรูข้าวต่างๆ ต่ำ ผลผลิตข้าวสูง และสามารถลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าว ทำให้ลดต้นทุนการผลิต และสุขภาพของเกษตรกรดีขึ้น ซึ่งเห็นได้ว่าอัตราเมล็ดพันธุ์มีผลต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลงอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือการใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่ต่ำคือ 10 กิโลกรัมต่อไร่ การเข้าทำลายของโรคและแมลงน้อยกว่า และให้ผลผลิตที่สูงกว่า อัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ 20 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ (สมศักดิ์, 2541) ซึ่งอัตราเมล็ดพันธุ์มีความสัมพันธ์กับระยะปลูกและการให้ผลผลิต ระยะปลูกนั้น หมายถึง ระยะห่างระหว่างกอ และระหว่างแถวถ้าปลูกห่างก็จะเปลืองเนื้อที่ ถ้าปลูกถี่ก็จะสิ้นเปลืองเมล็ดพันธุ์ ระยะปลูกที่ดีสำหรับข้าวพันธุ์ดีคือระหว่างกอห่างกัน 20 เซนติเมตร และระหว่างแถวห่างกัน 25 เซนติเมตร นอกจากนี้ระยะปลูกนั้น ยังขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินและชนิดของพันธุ์ข้าวด้วย ในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำจะต้องปลูกให้ถี่กว่าในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินดี คือ ระยะห่างระหว่างกอและระหว่างแถวอาจเป็น 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ เพราะการแตกกอในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ แต่ละกอที่ปักดำควรใช้ต้นกล้าประมาณ 3-5 ต้น ซึ่ง Liming *et al.* (2015) ได้ทดลองเรื่องอัตราเมล็ด 3 อัตราในข้าวลูกผสม 4 สายพันธุ์ โดยพบว่า อัตราเมล็ดทั้ง 3

อัตรา คือ 60 90 และ 150 เมล็ดต่อตารางเมตร ของทั้ง 4 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ในส่วนของผลผลิต แต่ทั้งนี้ ที่อัตราเมล็ด 60 เมล็ดต่อตารางเมตร มีจำนวนต้นต่อกอมากกว่า อัตราเมล็ด 90 และ 150 เมล็ดต่อตารางเมตร ในกรณีเดียวกัน Sharif *et al.* (2016) ได้กล่าวว่า จำนวนอัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ปลูกมากยิ่งขึ้นทำให้จำนวนรวงของข้าวนั้นลดลงและยังทำให้ผลผลิตลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตาม Chauhan (2013) ได้กล่าวว่าอัตราเมล็ดที่ใช้ปลูกส่งผลอัตราการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าว ซึ่งถ้าใช้อัตราปลูกที่ต่ำควรมีการจัดการวัชพืชที่ดีจึงจะให้ผลผลิตที่ดีตามมา

5. วิธีการปลูกข้าว

การปลูกข้าวจะต้องมีการเตรียมดินที่ดี ต้องเตรียมแปลงนาให้เรียบสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถจัดการน้ำได้ง่าย แปลงนาที่เตรียมดินดี ต้องไถลึก ปรับพื้นนาให้เรียบสม่ำเสมอ ส่งผลให้ข้าวออกสม่ำเสมอ ลดปัญหาวัชพืชในแปลง และจัดการน้ำง่ายข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีโดยเฉพาะรากทำให้สามารถหาอาหาร และปุ๋ยที่ใส่ลงไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันมีการแบ่งวิธีการปลูกข้าวอยู่ 4 วิธี คือ การปลูกข้าวนาดำ การปลูกข้าวนาหว่าน การปลูกข้าวนาไร่ และการปลูกข้าวนาขั้นบันได การเตรียมดินสำหรับปลูกข้าวแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันออกไป แบ่งออกตามความเหมาะสมของสภาพพื้นที่ แรงงาน และ เครื่องจักรกล เช่น ในพื้นที่ราบลุ่มมีการปลูกข้าวแบบข้าวนาหว่านหรือข้าวนาดำ ส่วนในพื้นที่สูง หรือบนดอยปลูกข้าวแบบข้าวไร่หรือข้าวนาขั้นบันได การปลูกข้าวไร่ในที่ลาดเชิงเขา การปลูกข้าวนาดำ ทั้งปักดำด้วยแรงงานคนหรือเครื่องจักร นาหว่านทั้งที่เป็นนาหว่านข้าวแห้งหรือนาหว่านนํ้าตม การปลูกข้าวนาโยนการปลูกข้าวนาหยอดหรือนาโรย การปลูกข้าวแบบประณีต ซึ่งวิธีการปลูกข้าวที่เหมาะสมต่อการจัดการมากที่สุด คือ การปลูกให้เป็นแนว และต้นข้าวในแปลงไม่แน่นเกินไป เพื่อให้สะดวกต่อการจัดการแปลง วัชพืช โรคและแมลง

5.1 การหว่านนํ้าตม

การปลูกข้าวโดยวิธีการหว่านนํ้าตมนั้นมีการเตรียมดินโดยการไถตะ ไถแปร และคราด เช่นเดียวกับการทนาดำ หลังจากไถตะแล้วควรปล่อยน้ำเข้านาให้ดินชุ่มเป็นเวลา 5-10 วันเพื่อให้วัชพืชงอกเป็นต้นอ่อนเสียก่อน และจึงปล่อยน้ำเข้านาเพิ่ม และไถแปร คราด เพื่อกำจัดวัชพืช โดยอาจมีการทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดวัชพืช หลังจากนั้นระบายน้ำออกจากนา ปรับเทือกให้มีระดับสม่ำเสมอก่อนหว่านข้าวออก 1 วัน และนาข้าวออก ที่มีรากยาว 1-2 มิลลิเมตร มาหว่านลงในเทือกที่เตรียมไว้ โดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 15-20 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากนั้น 5-7 วัน จึงใส่นํ้าเข้านาให้มีระดับสูง 2-3 เซนติเมตรจากผิวดินหรือสูงประมาณ หนึ่งใบในสามของต้นข้าว เพื่อกุมวัชพืช เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะแตกกอควรรักษาระดับน้ำจนถึงระดับประมาณ 5-10 เซนติเมตร ต้นข้าวจะสามารถเจริญเติบโตพอที่จะคลุมวัชพืชได้ (กรมการข้าว, 2551)

5.2 นาหยอด

การปลูกข้าวแบบนาหยอดต้องเตรียมดินหาเทือกเพื่อปรับพื้นที่นาให้สม่ำเสมอ และระบายน้ำส่วนเกินออกจากนา แต่ไม่ทำให้ผิวดินแห้ง และต้องไม่มีน้ำท่วมขัง เตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวเพาะในงอก (แช่ 24 ชั่วโมง และบ่ม 24 ชั่วโมง) โดยอย่าให้รากยาวเกินไป ก่อนการหยอด ให้ฝังเมล็ดพันธุ์ที่เพาะงอกแล้วในที่ร่มประมาณ 10-15 นาที เพื่อให้กระจายตัวได้ง่ายโดยนำเมล็ดที่แช่ไว้น้ำไปใส่ในเครื่องหยอด และเริ่มหยอดข้าวในแปลงนา โดยใช้ความเร็วในการลากที่สม่ำเสมอ ห้ามปล่อยน้ำเข้าในแปลงนาในช่วง 2-3 วันหลังหยอดข้าว เพื่อให้รากแทงลงดิน ควรควบคุมระดับน้ำในแปลงนาตามความสูงของต้นข้าว เพื่อควบคุมวัชพืช และสามารถใช้เครื่องพรวนหญ้า (Rotary weeded) เพื่อกำจัดวัชพืชและพรวนดินในร่องนาได้ การทำนาหยอดน้ำตามที่จะให้ได้ผลดีนั้น จะต้องปรับพื้นที่นาให้สม่ำเสมอ มีคันนาล้อมรอบและสามารถควบคุมน้ำได้ การเตรียมดินก็ปฏิบัติเช่นเดียวกับการเตรียมดินในนาดำ หลังการเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว ควรปล่อยให้เมล็ดข้าว ที่ร่วงหล่นใน 20 นาปีเวลางอกเป็นต้นข้าว เพื่อลดปัญหาข้าวเรือ หรือข้าววัชพืชในนา แล้วจึงไถดะ แล้วปล่อยน้ำเข้า พอให้ดินชุ่มอยู่เสมอ ประมาณ 5-10 วัน เพื่อให้เมล็ดวัชพืช งอกขึ้นมาเป็นต้นอ่อนและจึงปล่อยน้ำเข้านา แล้วทำการไถแปรและคราด หรือใช้ลูกทุบตี จะช่วยทำลายวัชพืชได้ หากทำเช่นนี้ 1-2 ครั้ง หรือมากกว่านั้น โดย ทุบระยะห่างกันประมาณ 4-5 วัน หลังจากไถดะไถแปร และคราดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ชั่งน้ำไว้ประมาณ 3 สัปดาห์ เพื่อให้ลูกหญ้าที่เป็นวัชพืชน้ำงอก และจึงคราดให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ลูกหญ้าจะหลุดลอยไปติดคันนาได้ทางลม ก็จะสามารถข้อนอกได้หมด เป็น การทำลายวัชพืชวิธีหนึ่ง เมื่อคราดแล้วจึงระบายน้ำออก และปรับเทือกให้สม่ำเสมอ สำหรับผู้ใช้ลูกทุบหรือขลุ่ย ย่ำฟางข้าวให้จมลงไปในดินแทนการไถ หลังจากย่ำแล้วควรเอาน้ำแช่ไว้ใส่ปุ๋ยคอก และน้ำหมักจุลินทรีย์ ช่วยให้ฟางเน่าเปื่อยจนหมดความร้อน อย่างน้อย 1 อาทิตย์ แล้วจึงย่ำใหม่ เพราะแก๊สที่เกิดจากการเน่า เปื่อยของฟางจะเป็นอันตรายต่อต้นข้าว จะทำให้รากข้าวดำไม่สามารถหาอาหารได้ หลังจากนั้นจึงระบายน้ำออก เพื่อปรับเทือก การปรับพื้นที่นาหรือการปรับเทือกให้สม่ำเสมอ จะทำให้ควบคุมน้ำได้สะดวก การงอกของข้าวดีเติบโต สม่ำเสมอ เพราะเมล็ดข้าวมักจะตายถ้าตกลงไปในแอ่งหรือหลุมที่มีน้ำขัง เว้นแต่กรณีดินเป็นกรดจัดละอองดิน ตกตะกอนเร็วเท่านั้นที่ต้นข้าวสามารถขึ้นได้ แต่ถ้าแปลงใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดคลื่น ทำให้ข้าวหลุดลอยง่าย และข้าวรวมกันเป็นกระจุก ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนั้นการปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอ ยังช่วยควบคุมการงอกของ เมล็ดวัชพืช ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของการทำนาหยอดน้ำตามอีกด้วย การแบ่งใช้วิธีแหวกร่องหรือใช้ไถกระเทียมผูกเชือกลากให้เป็นร่องก็ได้ เพื่อให้ น้ำออกจากแปลงให้หมด และร่อง นี้ยังใช้เป็นทางเดินระหว่างหวานข้าว หวานปุ๋ย และพ่นสารเคมีได้ตลอดแปลง โดยไม่ต้องเข้าไปในแปลงย่อย (กรมการข้าว, 2551)

6. ลักษณะกายวิภาคของข้าว

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในใบของข้าว พบการเจริญของโครงสร้างทางกายวิภาคของข้าว ดังนี้

6.1 กายวิภาคของใบข้าว

ต้นข้าวมีใบไว้สำหรับการสังเคราะห์แสง เพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุ อาหาร น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ให้เป็นแป้ง เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และสร้างเมล็ดของต้นข้าว ใบประกอบด้วย กาบใบและแผ่นใบ กาบใบ และแผ่นใบ เชื่อมติดกันด้วยข้อต่อของใบ กาบใบ คือ ส่วนที่ติดอยู่กับข้อของลำต้น และห่อหุ้มต้นข้าวไว้ แต่ละข้อมีเพียงหนึ่งกาบใบเท่านั้น แผ่นใบ คือ ส่วนที่อยู่เหนือ ข้อต่อของใบ มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบางๆ พันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความยาว ความกว้าง รูปร่าง สีของใบ ตลอดถึงการทำมุมของใบกับลำต้นไม่เหมือนกัน นอกจากนี้ ที่แผ่นใบของข้าวบางพันธุ์ ก็มีขนหรือไม่มีขนด้วย เมื่อใช้มือจับแผ่นใบที่มีขน จะรู้สึกวับวาวไม่เรียบ แต่แผ่นใบที่ไม่มีขน จะรู้สึกเรียบๆ ใบข้าวมีขนาดรูปร่างแตกต่างกันไป ตามชนิดของพันธุ์ข้าว และบางพันธุ์มีแผ่นใบทำมุมกว้าง หรือทำมุมแคบกับลำต้น เส้นใบของข้าวมองเห็นได้ชัด จากด้านบนของแผ่นใบ เส้นใบจะขนานกัน เพราะข้าวเป็นพืชพวกใบเลี้ยงเดี่ยว ใบข้าว ใบสุดท้าย ซึ่งหมายถึง ใบที่อยู่ติดกับรวงข้าว เรียกว่า ใบธง ปกติใบธงจะมีลักษณะสั้น และทำมุมกับลำต้น แตกต่างจากใบอื่นๆ ที่อยู่ข้างล่างตรงข้อต่อของใบ ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างกาบใบ และแผ่นใบ มีลักษณะคล้ายๆ กับข้อที่กั้นแบ่งต้นข้าวออกเป็นปล้องๆ และที่ข้อต่อของใบนี้ มีเยื่อเกี่ยวพัน และเขี้ยวกันแมลงติดอยู่ด้วย เขี้ยวกันแมลงมีสองอัน ลักษณะเป็นพู่คล้ายหางกระรอก ติดอยู่ข้างละอันของข้อต่อของใบ ส่วนเยื่อเกี่ยวพันนั้น มีอันเดียว มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ อยู่ด้านในของข้อต่อของใบ และประกบติดอยู่กับลำต้น เยื่อเกี่ยวพันมีขนาดและสีแตกต่างกันไป ตามชนิดของพันธุ์ข้าว อย่างไรก็ตาม ใบแก่ อาจไม่มีเขี้ยวกันแมลงเหลือติดอยู่เลย เพราะได้ร่วงหล่นไปเสียแล้ว (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2019) โครงสร้างภายในของใบจะประกอบด้วย Mesophyll cell 2 แบบ คือ Palisade mesophyll และ Spongy mesophyll และมีกลุ่มเนื้อเยื่อลำเลียงแทรกอยู่ อาจมีกลุ่มเซลล์ล้อมรอบกลุ่มท่อลำเลียง ซึ่งเรียกว่า Bundle sheath cell หรือไม่ก็ได้ การเกิดการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย Calvin Cycle จะเกิดขึ้นที่ Mesophyll cells เป็นหลัก

ใบ เป็นแหล่งในการสร้างคาร์โบไฮเดรตหลักในพืชทุกชนิด สำหรับข้าว คาร์โบไฮเดรตที่ถูกสร้างขึ้นในใบจะถูกดึงไปสะสมในเมล็ดข้าวในช่วงระยะของการสร้างเมล็ดข้าว (Grain filling) ลักษณะทางกายวิภาคของใบข้าว (Leaf anatomy) เช่น ความหนาของใบ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสังเคราะห์แสง เนื่องจากส่งผลต่อการรับแสง การแลกเปลี่ยนก๊าซและการคายน้ำ จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความสามารถของพืชแต่ละชนิดในการนำเอาปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตมาใช้ในการเจริญเติบโตให้ครบวงจร (Vile *et al.*, 2005) หากใบของพืชรวมทั้งใบข้าวได้รับแสงเต็มที่

(Sun leaf) จะมีใบที่หนากว่าใบที่เจริญอยู่ภายใต้ร่มเงา (Shade leaf) ยิ่งไปกว่านั้น ใบที่มีความหนา มากกว่าจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอนมากกว่าคลอโรฟิลล์ปรีรวมทั้งมีปริมาณ เอนไซม์ Rubisco (Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase) ปริมาณไนโตรเจน และอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าใบที่เป็น shade leaf ซึ่งบางกว่า (Björkman, 1968; Bailey *et al.*, 2001; Terashima *et al.*, 2001; Walters, 2005) ที่สำคัญความหนาของใบข้างนั้นเป็นตัวกำหนดพื้นที่ผิวของ Mesophyll (Mesophyll surface area) ซึ่งเป็นบริเวณที่พบคลอโรพลาสต์ การที่ใบข้างมีความหนาเพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของ mesophyll ทำให้คลอโรพลาสต์เกิดการเรียงตัวอยู่บริเวณรอบๆของเซลล์ได้มากขึ้นจึงได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างรวดเร็ว (Terashima *et al.*, 2011)

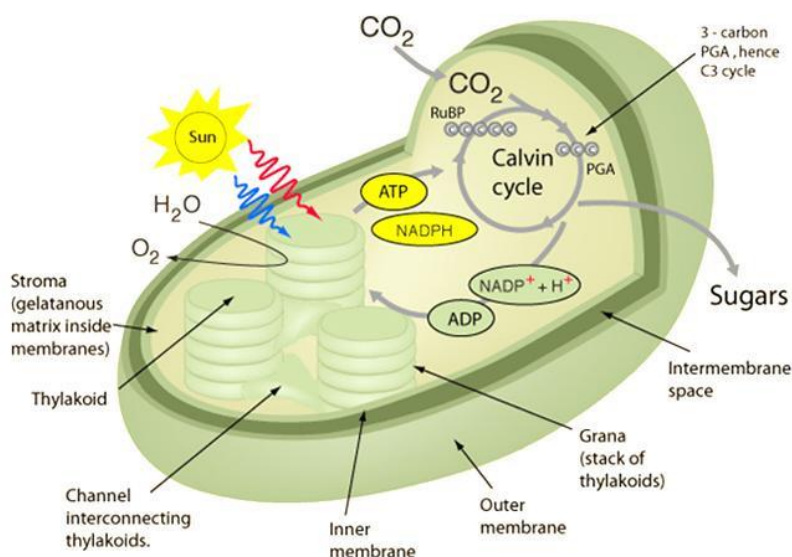
7. กระบวนการสังเคราะห์แสงและการสร้างผลผลิต

กระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เป็นกระบวนการเริ่มต้นของกระบวนการผลิตของสิ่งมีชีวิต โดยสิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการสังเคราะห์แสง จะสามารถนำพลังงานแสงมาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และสร้างเป็นอาหารเก็บไว้ในรูปสารอินทรีย์ ซึ่งจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายบนโลก พืชและสิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการสังเคราะห์แสงได้มีทั้งที่เป็นโปรแคริโอท (Prokaryote) และยูแคริโอท (Eukaryote) กลุ่มที่เป็นโปรแคริโอท ได้แก่ แบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ (Photosynthetic bacteria) และ Cyanobacteria ส่วนพวกยูแคริโอทที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ ได้แก่ สาหร่ายชนิดต่างๆ มอส เฟิร์น สน ปรง และพืชมีดอก พืชและสิ่งมีชีวิตที่มีกระบวนการสังเคราะห์แสงจะต้องมีสารที่มีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสง แล้วนำพลังงานนั้นไปใช้ในการสร้างพันธะเคมี (Chemical bond) (RGD&RSC, 2019)

7.1 องค์ประกอบสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง

Photosynthetic pigments โมเลกุลของสารอินทรีย์ โมเลกุลที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่มีอยู่ในพืชและสิ่งมีชีวิตเหล่านี้คือรงควัตถุ (Pigments) รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic pigments) สามารถแบ่งออกได้เป็นสามประเภท คือ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ไฟโคบิลลิน (Phycobillins) และแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ซึ่งรงควัตถุแต่ละประเภทมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงได้ในช่วงคลื่นต่างกัน รงควัตถุประเภทคลอโรฟิลล์สามารถพบทั่วไปในพืชและสิ่งมีชีวิตที่มีกระบวนการสังเคราะห์แสง รงควัตถุประเภทไฟโคบิลลินเป็นรงควัตถุชนิดที่เรียกว่าเป็นตัวช่วยในการดูดกลืนแสง (Accessory light-harvesting pigments) ซึ่งพบได้ใน Cyanobacteria และสาหร่ายสีแดง รงควัตถุประเภทแคโรทีนอยด์ ซึ่งจัดว่าเป็นตัวช่วยในการดูดกลืนแสงด้วยเช่นกัน เป็นกลุ่มรงควัตถุสีเหลือง-ส้ม ที่พบได้ทั่วไปในพืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ มีหน้าที่ในการช่วยรับพลังงานแสงและทำหน้าที่ในการปกป้องอันตรายจากแสง

(Photoprotective agents) ในสิ่งมีชีวิตที่เป็นโปรแคริโอท รงค์วัตถุเหล่านี้จะฝังตัวอยู่บนเยื่อเมมเบรน (Photosynthetic membrane) ในขณะที่พืชและสิ่งมีชีวิตกลุ่มยูแคริโอท จะมีออร์แกเนล (Organelle) ที่ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยเฉพาะคือ คลอโรพลาสต์ (Chloroplast)



รูปที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ ภาพจาก Rice Gene Discovery Unit, Rice Science Center, RGD&RSC, 2014

1) คลอโรพลาสต์ (Chloroplast)

คลอโรพลาสต์ส่วนใหญ่ของพืชจะมีรูปร่างกลมรีและมีเยื่อหุ้มสองชั้น คือ เยื่อหุ้มชั้นนอก (Outer membrane) และเยื่อหุ้มชั้นใน (Inner membrane) ภายในบรรจุของเหลวเรียกว่า สโตรมา (Stroma) ซึ่งมีเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ด้านในของคลอโรพลาสต์จะมีไธลาคอยด์ (Thylakoid) ซึ่งบางส่วนของไธลาคอยด์จะซ้อนทับกันเป็นชั้น ๆ เรียกชั้นของไธลาคอยด์นี้ว่ากรานุม (Granum) หรือกรานุม ลามেলা (Granum lamellae) และยังมีส่วนที่ไม่ได้ซ้อนทับเรียกว่า สโตรมา ลามেলা (Stroma lamellae) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นท่อเชื่อมติดต่อกันระหว่างกรานุม ในส่วนของเยื่อหุ้มชั้นในหรือเยื่อหุ้มไธลาคอยด์ (Thylakoid membrane) เป็นบริเวณที่มีรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงแทรกตัวอยู่ ไธลาคอยด์ เป็นโครงสร้างที่ใช้รับพลังงานจากแสงเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง สร้างขึ้นจากส่วนหนึ่งของเยื่อหุ้มชั้นในของคลอโรพลาสต์ (Inner membrane) บริเวณ กรานุมซึ่งมีการซ้อนทับกันจะมีลักษณะเป็นถุงกลมแบนวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ ภายในถุงมีของเหลวบรรจุอยู่ เรียกส่วนภายในถุงนี้ว่า ลูเมน (Lumen) หรือ Thylakoid space (RGD&RSC, 2019)

2) คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)

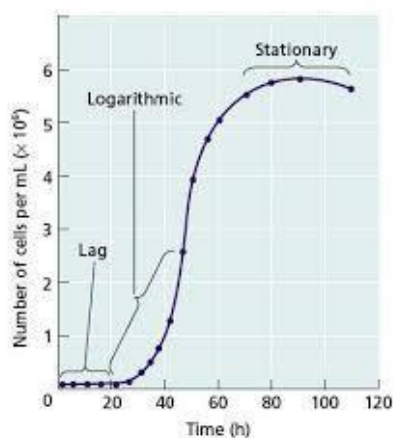
คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบในพืชและสาหร่ายทุกชนิด (Matthews and Holde, 1996) โดยพบมากที่ใบ นอกจากนี้ยังพบได้ที่ลำต้น ดอก ผลและรากที่มีสีเขียว คลอโรฟิลล์ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานจากแสง และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสร้างพลังงานเคมี โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสร้างสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล และนำไปใช้เพื่อการดำรงชีวิต (วงศ์จันทร์, 2535) คลอโรฟิลล์อยู่ในโครงสร้างที่เรียกว่าเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (Thylakoid membrane) ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มที่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) (ภาควิชา, 2550)

คลอโรฟิลล์ แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

- คลอโรฟิลล์ a มีสีเขียวแกมน้ำเงิน พบในพืชชั้นสูงทุกชนิดที่สังเคราะห์แสงได้
- คลอโรฟิลล์ b มีสีเขียวแกมเหลือง พบในพืชชั้นสูง ทุกชนิดและสาหร่ายสีเขียว (Green algae)
- คลอโรฟิลล์ c พบในสาหร่ายสีน้ำตาล (Brown algae) และสาหร่ายสีทอง (Golden algae) แต่ไม่พบในพืชชั้นสูง
- คลอโรฟิลล์ d พบในสาหร่ายสีแดง (Red algae) แต่ไม่พบในพืชชั้นสูง โดยทั่วไปจะพบทั้งคลอโรฟิลล์ a และ คลอโรฟิลล์ b อยู่ด้วยกันในพืชชั้นสูง และมีสัดส่วนประมาณ 2.5-3.5 ต่อ 1 (บรรจง, 2550)

7.2 ปัจจัยกำหนดประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืช

การศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระของพืชจะทำให้เข้าใจถึงวิธีการที่จะปรับปรุงสภาพแวดล้อมต่างๆ ให้เกิดความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชและนำไปสู่การให้ผลผลิตที่ดีของพืช แม้ว่าการเจริญเติบโตของพืชมีทั้งการเพิ่มมวลหรือปริมาตรอย่างถาวร และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างเป็นขั้นตอนของเซลล์และเนื้อเยื่อ แต่การวัดเชิงปริมาณนั้นมุ่งความสนใจไปที่การเพิ่มขึ้นของขนาดหรือปริมาตรเป็นสำคัญ การวัดการเจริญเติบโตจึงหมายถึงการวัด “การเติบโต” หรือ “การเพิ่มมวลหรือปริมาตรอย่างถาวร” ของพืช ซึ่งมีวิธีการหลายอย่างที่วัดการเติบโตของพืชได้ แต่ละวิธีมีข้อเด่น และข้อด้อยแตกต่างกันไป และควรเลือกวิธีที่เหมาะสมกับชนิดและช่วงชีวิตของพืช ตลอดอายุขัยของพืชชนิดหนึ่งๆ พืชมีการเติบโตในอัตราเร็วที่ไม่สม่ำเสมอ บางช่วงอาจเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว บางช่วงเกิดช้าและบางช่วงอาจไม่มีการเติบโตเกิดขึ้นเลย และเข้าสู่ภาวะเสื่อมถอยหรือชราภาพในช่วงท้ายของชีวิต การวัดการเติบโตจึงต้องวัดควบคู่กับเวลา หรืออายุของพืชด้วย ค่าที่แสดงการเติบโตที่นิยมใช้ ได้แก่ ความสูง ความยาว เส้นรอบวง เส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ พื้นที่ใบ และปริมาตร เป็นต้น เมื่อนำข้อมูลตัวเลขที่แสดงการเติบโตมาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับเวลา จะได้กราฟการเติบโต (Growth curve) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีเส้นกราฟเป็นรูปตัวเอส (S) ตลอดการเลี้ยงเซลล์ (Taiz and Zeiger, 2006)



รูปที่ 2 กราฟการเติบโตของสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีค่าแสดงการเติบโตเป็นจำนวนเซลล์ที่ระยะเวลา

ตัวอย่างกราฟการเติบโตรูปร่างเอส ในรูปที่ 1 แบ่งได้เป็น 3 ระยะที่มีอัตราการเร็วของการเติบโต ต่างกัน ชัดเจน ได้แก่ ระยะ lag เป็นระยะที่การเพิ่มจำนวนเซลล์เกิด ช้าหรือไม่เกิดขึ้นเลย ระยะ Log เป็นระยะที่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ต่อหน่วยเวลามากที่สุด (ความชันของเส้นกราฟมีค่าสูงสุด) แสดงให้เห็นว่าเป็นช่วงเวลาที่อัตราการเร็วของการเติบโตสูงสุด และ ระยะ Stationary เป็นระยะที่อัตราการเร็วในการเติบโตใกล้เคียงศูนย์ ซึ่งหมายถึงมีการเพิ่มจำนวนเซลล์น้อยมากหรือไม่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์เกิดใน ระยะนี้ถึงแม้ว่า จำนวนใบและขนาดใบถูกควบคุมโดยลักษณะพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ความแตกต่างของ ความกว้างและความยาวใบยังขึ้นกับช่วงการเจริญเติบโตของพืชด้วย (อภิพรรณ, 2529) ใบพืชที่มีขนาดพื้นที่ใบมากพอ จะสามารถรับแสงที่ส่องลงยังต้นพืชได้ทั้งหมด หรือมีใบปกคลุมดินที่พืชชนิดนั้นขึ้นอยู่อย่างพอดีเพราะพลังงานที่ ส่องลงมาจะสูญเสียไปกับการเผาผลาญพื้นดิน (เฉลิม, 2535) ดังนั้นการสังเคราะห์แสงของใบในช่วงแรก จึงยังดำเนินได้ไม่เต็มที่ จนกว่าใบจะขยายขนาดเต็มที่แล้ว

8. การวัดพัฒนาการการเจริญเติบโตของพืช

การวัดการเจริญเติบโตของพืชสามารถวัดได้หลายวิธี เช่น ความสูง จำนวนใบ ขนาดของใบ เส้นรอบวง มวล ฯลฯ มีวิธีการวัดได้หลายวิธี เช่น การวัดมวล หรือน้ำหนักสดของพืชเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด แต่ผลที่ได้ อาจไม่บ่งถึงการเพิ่มขึ้นของชีวมวลที่แท้จริงทั้งหมด เพราะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกิดจากเซลล์เก็บสะสมน้ำไว้ในปริมาณมากๆ จนเซลล์เพิ่มขนาด ส่วนการชั่งน้ำหนักแห้งที่แท้จริงวิธีนี้ทำให้พืชตาย ดังนั้นพืชที่ใช้วัดจึงต้องปลูกจำนวนมาก แล้วสุ่มตัวอย่างมาเพียงบางส่วนเพื่อเป็นตัวแทนของพืชทั้งหมดในระยะเวลาต่างๆ กันนำมาเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น

แล้วจึงสรุปได้ว่าพืชนั้นมีการเจริญเติบโต การวัดความสูงของพืชก็เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมกันมาก เช่นเดียวกับการวัดมวลเพราะวัดได้สะดวก แต่มีข้อควรระวัง คือพืชบางชนิดมีความสูงจำกัด แต่กิ่ง ตา ดอก ผล และขนาดของลำต้น สามารถเพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นๆ เช่น การนับจำนวนใบ การนับวงปี การวัดเส้นรอบวง การวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นต้น ซึ่งวิธีการใดจะดีที่สุดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการวัด การเจริญเติบโตของพืชตั้งแต่งอกออกจากเมล็ดจนโตเต็มที่ออกดอก ออกผล

8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบและการรับแสง

Blackman ก็ได้นำเอาวิธีการทางคณิตศาสตร์เสนอแนวคิดในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช โดยเสนอว่า น้ำหนักแห้งของพืชขณะใดขณะหนึ่งจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักหรือขนาดเริ่มต้น อัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้ง และระยะเวลา ดังสมการ

$$W = W_0 e^{rt}$$

อัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งของพืชจากสมการข้างต้น เปรียบเทียบได้กับกฎอัตราดอกเบี้ยสะสม และเรียกอัตรานี้ว่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate) ค่า Relative Growth Rate เป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง เพราะเป็นอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งต่อหน่วยเวลาเมื่อเทียบกับน้ำหนักที่มีอยู่เดิม ค่า Relative Growth Rate เป็นค่าที่จะคงที่ในระยะแรกแต่ต่อมาจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ในบางกรณีอาจจะลดลงตลอดเวลาที่ผ่านมาได้ การลดของ Relative Growth Rate นี้อาจจะเกิดจากอวัยวะของพืชกลายเป็นส่วนที่ไม่ทำหน้าที่ทางเมตาบอลิซึม เช่น กลายเป็นท่อน้ำท่ออาหาร และมีเนื้อเยื่อที่ไม่สามารถสังเคราะห์อาหารได้เพิ่มขึ้น

$$RGR = 1/w \times \partial W / \partial t$$

$$= \ln w_2 - \ln W_1 / t_2 - t_1$$

และเมื่อมีการยอมรับทฤษฎีทางชีววิทยาที่กล่าวว่า ใบ คือ ส่วนที่สังเคราะห์แสงและสร้างน้ำหนักแห้งให้แก่ต้นพืช จึงมีการขยายการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชจากสมการข้างต้นออกเป็นองค์ประกอบ 2 ลักษณะ คือ ประสิทธิภาพในการสร้างน้ำหนักแห้งของใบ (Net assimilation rate หรือ Unit leaf rate) และปริมาณใบพืช (Leaf area ratio) ดังสมการ

$$RGR = 1/A \times \partial W / \partial t \times A/W$$

$$= NAR \times LAR$$

1) ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index: LAI) คือ พื้นที่ใบต่อหน่วยพื้นที่ปลูก

หลังจากการงอกของเมล็ด พืชจะมีดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตพืชความสามารถในการรับแสงเพิ่มขึ้นด้วย และจะส่งผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้นมากขึ้น (ชนากานต์, 2559)

$$LAI (\text{ตร.ซม./ตร.ม.}) = \frac{\text{พื้นที่ใบ}}{\text{พื้นที่ปลูกที่เก็บตัวอย่าง}}$$

2) อัตราการเจริญเติบโตของพืชปลูก (Crop Growth Rate: CGR)

การทดลองของ Brougham (1956) การตอบสนองของ อัตราการเจริญเติบโตของพืชปลูก (CGR) ของทุ่งหญ้าต่อการเปลี่ยนแปลงค่า LAI ด้วยการปรับเปลี่ยนความรุนแรงของการตัดพบว่า LAI ที่เพิ่มมากกว่า optimum LAI ไม่ทำให้อัตราการเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเลย ทำให้การเพียงพอที่จะชดเชยการลดลงของ ประสิทธิภาพของใบพืช (NAR)

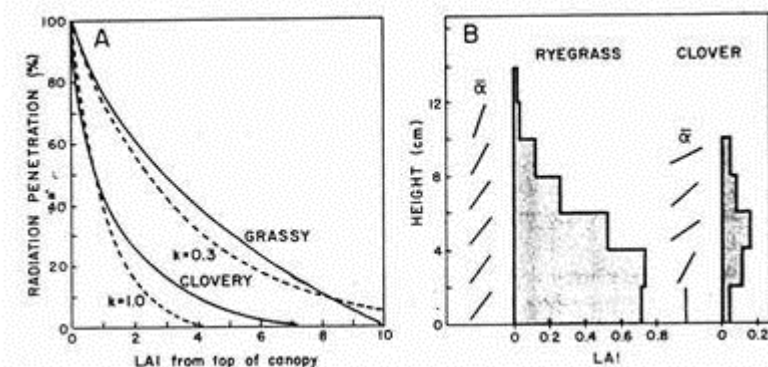
3) อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบ (Net Assimilation Rate: NAR)

การประเมินประสิทธิภาพของใบพืชในการสร้างน้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าอัตราการเจริญเติบโตของพืชต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบจะลดลงเมื่อพืชมีการเจริญเติบโตมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการบดบังกันของใบพืชเมื่อมีจำนวนมากขึ้น (ชนากานต์, 2559)

$$NAR (\text{กรัม/ตารางเมตร}) = \frac{1}{\text{พื้นที่ใบ}} \times (\text{การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้งพืชต่อหนึ่งหน่วยเวลา})$$

Watson (1952) ใช้ค่า LAI ในการวิเคราะห์พืชปลูกแทนการใช้ค่าของพื้นที่ใบของพืชแต่ละต้น เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น LAI ก็จะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ขณะเดียวกันก็ก่อให้เกิดการบังแสงซึ่งกันและกันของใบในทรงพุ่มพืช ใบที่เกิดก่อนก็เริ่มมีอายุมากขึ้นหรือแก่เกินระยะที่จะมีกระบวนการทางสรีรวิทยาที่สูงเหมือนใบที่ยังอ่อนอยู่ ดังนั้น ประสิทธิภาพของใบพืช (NAR) แต่ละใบย่อมแตกต่างกันมากขึ้น และค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (NAR) รวมของทรงพุ่มก็ย่อมลดน้อยลงตามไปด้วย

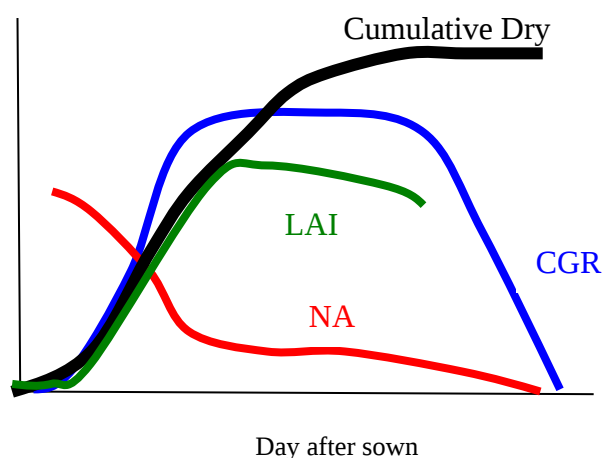
การวิเคราะห์ LAI ลงไปในระดับของมุมใบ (Leaf angle) นั้น มีสมมุติฐานมาจากแนวคิดในเรื่องของ Light response curve และการบังซึ่งกันและกัน โดยที่ใบที่ตั้งตรงก็ว่าจะทำให้ใบล่างๆ มีโอกาสได้รับรังสีดวงอาทิตย์ในปริมาณสูง หรือใกล้เคียงกับ Light saturation point อันจะทำให้ทั้งทรงพุ่มมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูง แต่ในทางตรงกันข้ามใบที่แผ่นอนก็จะเกิดการบังซึ่งกันและกัน อันทำให้ใบล่างมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ระดับต่ำกว่า Light saturation point โดยเฉลี่ยใบในทรงพุ่มส่วนใหญ่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ในระดับที่ต่ำ จึงทำให้การเจริญเติบโตลดลง (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของทรงพุ่ม หรือโครงสร้างทรงพุ่มกับการรับแสงของต้นพืช

Optimum หรือ Critical LAI

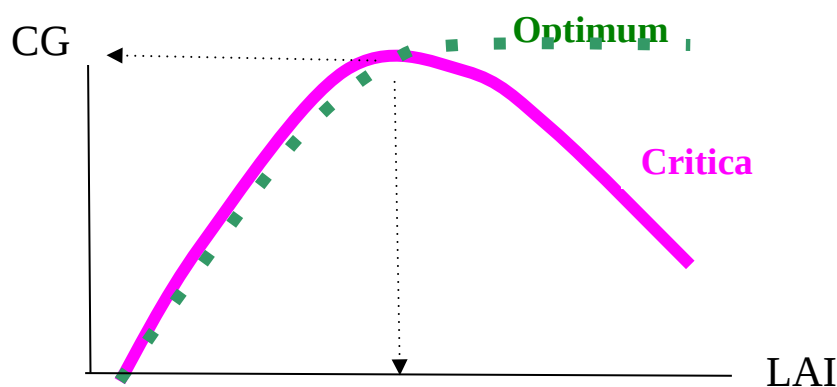
ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเจริญเติบโตของพืชปลูก (CGR) กับดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสามค่าคือ CGR NAR และ LAI ก็ได้มีคนมักจะเข้าใจผิดกันเสมอว่า ค่าทั้งสามนั้นคงที่อยู่ตลอดเวลา แต่ในความเป็นจริงของพืชปลูกแล้วกลับพบว่า ค่าทั้งสามนั้นผันแปรไปอยู่ตลอดเวลา ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเริ่มต้นปลูกพืชในแปลง ก็จะได้ค่า LAI ต่ำ เนื่องจากใบของพืชยังเติบโตและพัฒนาการได้ไม่เต็มที่ การบังซึ่งกันและกันของใบในทรงพุ่มยังมีไม่มากนัก ดังนั้นในระยะนี้ NAR ของใบพืชแต่ละใบก็มักจะอยู่ในระดับสูง และใกล้เคียงกันทุกๆ ใบ ส่วนค่า CGR ที่ได้กลับไม่สูงมากนักทั้งนี้เพราะในพื้นที่นั้นยังมีใบพืชอยู่ไม่มากนัก แต่เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น LAI ก็จะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ขณะเดียวกันก็ก่อให้เกิดการบังแสงซึ่งกันและกันของใบใน



รูปที่ 4 แสดงการตอบสนองของ CGR ต่อการเปลี่ยนแปลง LAI เป็นแบบ Critical หรือ Optimum

LAI

ในการผลิตพืชมีความพยายามที่จะเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชในแปลงด้วยการเพิ่มอัตราปลูก หรือ การเพิ่มพื้นที่ใบซึ่งถือว่าเป็นหน่วยหลักในการสร้างผลผลิตและการเจริญเติบโตให้แก่พืช ทั้งนี้เพื่อหวังว่าจะสามารถทำให้ค่า CGR ของพืชในแปลงนั้นสูงขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อมีการศึกษาอย่างจริงจังแล้วหาพบไม่ว่าการเพิ่ม LAI เพียงอย่างเดียวจะทำให้ CGR ของพืชเพิ่มตามไปด้วย พบว่า การตอบสนองของ CGR ต่อค่า LAI มีรูปแบบอยู่ 2 อย่างคือ การตอบสนองแบบ Optimum LAI และการตอบสนองแบบ Critical LAI ดู Watson (1958) Brougham (1956) โดยสรุปแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงการตอบสนองของ CGR ต่อการเปลี่ยนแปลง LAI เป็นแบบ Critical หรือ Optimum

LAI

งานทดลองของ Brougham (1956) พบว่า การตอบสนองของ CGR ของทุ่งหญ้าต่อการเปลี่ยนแปลงค่า LAI ด้วยการปรับเปลี่ยนความรุนแรงของการตัด ทำให้การตอบสนองเป็นแบบที่เรียกว่า optimum LAI เพราะที่ LAI มากกว่า 5 นั้นไม่ทำให้อัตราการเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเลย นั่นคือ LAI ที่เพิ่มมากกว่า 5 นี้เพียงพอที่จะชดเชยการลดลงของ NAR และต่อมาก็มีคนพยายามจะอธิบายต่ออีกว่าน่าจะเป็นเพราะที่ Optimum LAI นั้นพืชรับรังสีสุริยะได้สูงที่สุด หรือ เกือบทั้งหมดที่ส่งลงมายังกลุ่มพืชแล้ว ดังนั้นการเพิ่มพื้นที่ใบที่มากกว่านี้ก็ไม่มีประโยชน์ต่อการสร้างสารอาหารของต้นพืช ในขณะที่อัตราความหนาแน่นของพืชทั้งต้นไม่ได้ลดลงไปเนื่องจากการมีใบมากขึ้นและมีการบังซึ่งกันและกันมากขึ้น

งานทดลองของ Weber (1965) พบว่า ในถั่วเหลืองนั้นการเพิ่มของ LAI ในระยะแรกนั้นทำให้ CGR เพิ่มขึ้นไปด้วย แต่เมื่อ LAI สูงเกิน 4 แล้วกลับพบว่าค่า CGR ก็กลับลดต่ำลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อ LAI ที่เพิ่มมากกว่า 4 นั้นไม่สามารถชดเชยการลดลงของ NAR ได้ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของอัตราความหนาแน่น และการบังแสงของใบส่วนบนทรงพุ่มจนทำให้ใบล่างทรงพุ่มได้รับแสงน้อยกว่าที่ใบพืชต้องการ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. พืชทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
 - 1.1 ข้าวพันธุ์ กข49
 - 1.2 เครื่องหยอดเมล็ด
 - 1.3 เครื่องปลูกแบบหว่านพ่น
 - 1.4 อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล และวิเคราะห์ผล เช่น กระดาษสำหรับบันทึกข้อมูล ปากกา กล้องบันทึกภาพ คอมพิวเตอร์ ฯลฯ
 - 1.5 อุปกรณ์อื่นๆ ในแปลงทดลอง เช่น ไม้ปักแปลง ตลับเมตร Quadrant ถังใส่ตัวอย่าง เคียว ถุงตาข่ายไนลอนสำหรับเก็บตัวอย่าง ถุงกระดาษสำหรับเก็บตัวอย่าง
2. อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ
 - 2.1 เครื่องวัดความเขียวใบ (Chlorophyll meter (SPAD-502))
 - 2.2 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)
 - 2.3 Micropipette
 - 2.4 เครื่องวัดพื้นที่ใบ (LI-3100C Area Meter)
 - 2.5 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
 - 2.6 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)
3. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์การสังเคราะห์แสง
 - 3.1 N, N-dimethylformamide (DMF)

วิธีการ

1. การเตรียมเมล็ดพันธุ์

นำเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมไว้แช่น้ำคืนเพื่อทำลายระยะพักตัวของเมล็ดพันธุ์

2. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Blocks design, RCBD) ประกอบด้วย 3 อัตราปลูกได้แก่ 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ทดลอง 4 ซ้ำ

3. การเตรียมแปลง

เตรียมแปลงโดยการพลิกหน้าดิน ไถดินให้ร่วนแล้วปล่อยน้ำเข้าแปลงนานเป็นเวลา 10-15 วัน จากนั้นไถและคราดเอาเศษวัชพืชออกจากแปลงนา และปรับระดับดินให้เรียบสม่ำเสมอทั่วแปลง ทำเทือกและนำน้ำออกจากแปลง จากนั้นปลูกข้าวพันธุ์ กข49 ได้แก่ 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ในพื้นที่ 512 ตารางเมตร (32x16 ตารางเมตร) โดยแบ่งเป็นพื้นที่เก็บเกี่ยว 25 ตารางเมตร (5x5 ตารางเมตร)

4. การดูแลรักษา

เนื่องจากต้องการทดสอบวิธีการปลูกข้าวของเกษตรกร จึงใช้การเขตกรรมแบบเดียวกับที่เกษตรกรปฏิบัติ โดยการควบคุมระดับน้ำ ปรับแปลงนาให้เรียบสม่ำเสมอและทำร่องระบายน้ำระหว่างแปลงย่อย หลังจากนั้นจึงทำการปลูกตามแผนการทดลองและพ่นสารควบคุมวัชพืชชีวทาคลอร์ ในอัตราส่วน 100 มิลลิลิตรต่อน้ำ 25 ลิตร และเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน พ่นสารควบคุมวัชพืชหลังงอก โดยใช้อัตราส่วน 100 มิลลิลิตรต่อน้ำ 25 ลิตร การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ในวันที่ 20 หลังจากปลูกข้าว โดยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 23 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ระยะข้าวแตกกอหรือ 30 วัน ก่อนออกรวงโดยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 ระยะข้าวสร้างรวงอ่อนหรืออายุ 45 วัน โดยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากนั้นระบายน้ำออกจากนา เมื่อข้าวได้อายุ 90 วัน เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อข้าวได้อายุ 108 วัน

5. การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลในแปลงทดลองดังนี้

5.1 ข้อมูลชีวมวลและพื้นที่ใบ (Biomass and leaf area)

ส่วนของพืชที่เก็บข้อมูล ประกอบด้วย

- ใบเขียว (Green leaf)
- ใบตาย (Dead leaf)
- ลำต้น (Stem)
- รวงข้าว (Panicle)

โดยเก็บข้อมูล ดังนี้

- เริ่มแตกกอ (Tillering)
- การแตกกอสูงสุด (Maximum tillering)
- ระยะออกดอก (Flowering)
- ระยะการสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological maturation)

สังเกตจากเมล็ดข้างในส่วนล่างของช่อดอกที่สองหรือสามของรวงข้าวเข้าสู่ระยะแป้งแข็ง (Head dough stage) และส่วนของเปลือกเริ่มไม่มีสีเขียว

5.2 การวัดพื้นที่ใบ (Leaf area index)

สุ่มนับจำนวนต้นข้าวต่อพื้นที่ ใช้พื้นที่ในการสุ่มแต่ละซ้ำ 0.4×0.4 ตารางเมตรวัดพื้นที่ใบแยกต่อดัน จากการสุ่มวัด 4 ดัน จากพื้นที่ที่เก็บข้อมูล นำไปหาพื้นที่ใบโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Automatic area meter หลังจากนั้นนำใบทั้งหมดแยกแต่ละซ้ำ อบที่อุณหภูมิ $65-75^\circ\text{C}$ จนน้ำหนักคงที่เพื่อหาน้ำหนักแห้ง (คำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบโดยใช้ข้อมูล พื้นที่ใบต่อดัน $\times$ จำนวนต้นต่อตารางเมตร)

5.3 ความเขียวใบและจำนวนคลอโรฟิลล์ในใบข้าว

สุ่มวัดจำนวนคลอโรฟิลล์และความเขียวใบจากใบต้นข้าวอายุ 8, 10 และ 12 สัปดาห์ โดยการสุ่ม 1 ใบ ใน 1 ซ้ำ บริเวณใกล้เคียงการสุ่มวัดพื้นที่ใบของอัตราการปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ เลือกใบที่สมบูรณ์และคล้ายเต็มที่เพราะจะมีการรับแสงได้เต็มที่

วัดความเขียวทั่วทั้งใบจำนวน 3 จุด คือ กกใบ กลางใบ และปลายใบ ด้วย Chlorophyll meter (SPAD-502) จากนั้นสกัดคลอโรฟิลล์ในใบข้าว โดยเจาะตัวอย่างใบบริเวณที่วัดความเขียวใบด้วย Cork borer จะได้แผ่นใบรูปร่างวงกลม ใส่ในหลอดที่เติมสาร N, N – dimethylformamide

(DMF) ปริมาณ 4 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 °C คลอโรฟิลล์จะถูกสกัดออกมาจากใบทั้งหมด (แผ่นใบขาวซีด ไม่มีสีเขียวเหลืออยู่) นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, A) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร และ 647 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณค่าคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg dm^{-2}) ตามสมการ (Moran, 1982; พรชัย , 2550)

$$\text{Chla} = (-2.99A_{647} + 12.64A_{664}) \times \text{Vol} / (X \times \text{Area} \times 100)$$

$$\text{Chlb} = (23.26A_{647} + -5.60A_{664}) \times \text{Vol} / (X \times \text{Area} \times 100)$$

$$\text{Chltotal} = (20.27A_{647} + 7.04A_{664}) \times \text{Vol} / (X \times \text{Area} \times 100)$$

เมื่อ Chla คือ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (g m^{-2})

Chlb คือ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (g m^{-2})

Chltotal คือ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (g m^{-2})

A₆₄₇ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 647 นาโนเมตร

A₆₆₄ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร

Vol คือ ปริมาณของสาร DMF ที่ใช้สกัด (ml)

X คือ สัดส่วนของการเจือจาง

(เท่ากับปริมาณสารละลายเริ่มต้นต่อปริมาณสารละลายเจือจาง ใช้เมื่อสารละลายสกัดครั้งแรกมีความเข้มข้นสูงเกินไปจนค่าดูดกลืนแสงอ่านค่าเกิน 0.8)

Area คือ พื้นที่แผ่นใบที่ใช้สกัด (cm^{-2})

100 คือ คูณกับพื้นที่ใบเพื่อปรับหน่วยจาก g cm^{-2} เป็น gm^{-2}

5.4 การอบแยกส่วนในระยะเวลาเจริญเติบโต สังเกต 3 ระยะ ดังนี้

- เริ่มแตกกอ (Tillering)
- การแตกกอสูงสุด (Maximum tillering)
- การออกดอก (Flowering)
- ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological maturation)

อบแยกส่วนของพืช ได้แก่ ใบเขียว ใบตาย ลำต้น รวงข้าว โดยบรรจุในถุงเก็บตัวอย่างที่มีการระบุชนิดตัวอย่างวัน เดือน ปี ชั่ว แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 3-5 วัน ให้น้ำหนักของตัวอย่างคงที่ จึงนำมาชั่งเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรม STAR

7. สถานที่และระยะเวลาการทําวิจัย

สถานที่การทําวิจัย

- พื้นที่ ณ ตำบล สันติพิบ อำเภอลำดวน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
- ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

ระยะเวลาการทําวิจัย

- การทดลองปลูกพันธุ์ กข49 ในช่วงเดือน กรกฎาคม – พฤศจิกายน 2560

ผลและวิจารณ์

1. ดัชนีความเขียวและปริมาณคลอโรฟิลล์

จากการศึกษาความเขียว (SPAD index) ที่วัดได้ในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ เมื่อใช้อัตราปลูกที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าดัชนีความเขียวใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ปี และสัดส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ปี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1) ค่าดัชนีความเขียวใบ อยู่ในช่วง 31.4-39.72 SPAD unit เมื่อเปรียบเทียบความเขียวใบในแต่ละระยะการเจริญเติบโตที่อัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าลดลงไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ปีอยู่ในช่วง 0.0524-0.0794 กรัมต่อตารางเมตร และสัดส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ปีอยู่ในช่วง 2.64-3.12 กรัมต่อตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ปีในแต่ละระยะการเจริญเติบโตที่อัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ จะเห็นได้ว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3) ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ส่วนคลอโรฟิลล์เอและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระยะดอกบาน (ตารางที่ 1) โดยการปลูกข้าวใช้เมล็ดในอัตราปลูก 7.5 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 0.2313 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งสูงกว่าการปลูกข้าวโดยใช้เมล็ดในอัตรา 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ 0.1935 และ 0.1855 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ สอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่การปลูกข้าวใช้เมล็ดในอัตราปลูก 7.5 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเท่ากับ 0.3107 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งสูงกว่าการปลูกข้าวโดยใช้เมล็ดในอัตรา 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม 0.2564 และ 0.2476 กรัมต่อตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่อัตราปลูก 7.5 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าสูงกว่าอัตราปลูก 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ตั้งแต่ระยะสร้างช่อดอกและระยะดอกบาน (ภาพที่ 2)

2. พื้นที่ใบและดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area and Leaf area index; LAI)

จากการศึกษาดัชนีพื้นที่ใบของข้าวที่ใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่ต่างกันทั้ง 3 อัตราปลูก โดยการเก็บข้อมูลข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบของต้นข้าว นั้น เริ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะเริ่มแตกกอและระยะสร้างช่อดอก โดยในระยะเริ่มแตกกอที่อัตราปลูก 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 4,019 และ 4,527 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราปลูก 7.5 กิโลกรัมต่อไร่ ที่มีค่าเท่ากับ 2,133 และระยะสร้างช่อดอกที่อัตราปลูก 7.5 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 11,984 และ 10,198 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติกับอัตราปลูก 15 กิโลกรัมต่อไร่ ที่มีค่าเท่ากับ 6,888 ทั้งนี้ในระยะแตกกอสูงสุดและระยะดอกบานโดยใช้อัตราเมล็ดปลูกที่ต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2) เป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดกับดัชนีพื้นที่ใบ ที่อัตราปลูก 7.5 และ 15 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าความสัมพันธ์เชิงบวกในสัปดาห์ที่ 4, 6 และ 8 สัปดาห์หลังปลูก และปรับตัวลดลงในทิศทางเดียวกันใน ซึ่งมีความสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นี้ของอัตราปลูก 25 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะดังกล่าว แสดงว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของอัตราปลูก 7.5 และ 15 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลด้านการเพิ่มดัชนีพื้นที่ใบมากกว่า อัตราปลูก 25 กิโลกรัมต่อไร่ และในช่วง 12 และ 14 สัปดาห์หลังปลูก ทั้ง 3 อัตราปลูกมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นี้ มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 6)

3. อัตราการเจริญเติบโตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ปลูก (Crop Growth Rate; CGR)

จากการศึกษาดัชนีพื้นที่ใบของข้าวที่ใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่ต่างกันทั้ง 3 อัตราปลูก โดยการเก็บข้อมูลข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าอัตราการเจริญเติบโตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ปลูกมีความแตกต่างกันเห็นได้ชัดที่ระยะการสร้างช่อดอกโดยอัตราปลูก 15 กิโลกรัมต่อไร่ ที่มีค่าเท่ากับ 5090.69 ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราปลูก 7.5 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ที่มีค่าเท่ากับ 308.46 และ 1052.91 ตามลำดับ ส่วนระยะเริ่มแตกกอ ระยะแตกกอสูงสุดและระยะดอกบาน โดยใช้อัตราเมล็ดปลูกที่ต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและอัตราการเจริญเติบโตของข้าว พบว่าที่อัตราปลูก 7.5 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าความสัมพันธ์เชิงบวกในสัปดาห์ที่ 4, 6 และ 8 สัปดาห์หลังปลูกมีค่าสูงกว่า อัตราปลูก 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งแสดงว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของอัตราปลูก อัตราปลูก 7.5 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นในทิศทางที่มากกว่าของอัตราปลูก 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ในสัปดาห์ที่ 4 6 และ 8 สัปดาห์หลังปลูก (ภาพที่ 5)

4. อัตราการสะสมน้ำหนักรวมต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบ (Net Assimilation Rate; NAR)

จากการศึกษาอัตราการสะสมน้ำหนักรวมต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบ ของข้าวที่ใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่ต่างกันทั้ง 3 อัตราปลูก โดยการเก็บข้อมูลข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าอัตราการสะสมน้ำหนักรวมต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบ ความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดที่ระยะการสร้างช่อดอกโดยอัตราปลูก 15 กิโลกรัมต่อไร่ ที่มีค่าเท่ากับ 1.64 ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราปลูก

7.5 และ 15 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.52 เท่ากัน ส่วนระยะเริ่มแตกกอ ระยะแตกกอสูงสุดและระยะดอกบานโดยการใช้อัตราเมล็ดปลูกที่ต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดกับน้ำหนักแห้งของข้าว โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 4, 6 และ 8 สัปดาห์หลังปลูก ตรงกับระยะเริ่มแตกกอ แตกกอและระยะแตกกอสูงสุด ซึ่งอัตราปลูก 7.5 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูงกว่า อัตราปลูก 7.5 และ 15 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงให้เห็นว่า ในช่วงนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของ อัตราปลูก 7.5 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลต่อการสร้างน้ำหนักแห้งที่มากกว่าอัตราปลูก 7.5 และ 15 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 4)

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49 ที่อัตราปลูกแตกต่างกัน

ข้อมูล อัตราปลูก	Spad (SPAD unit)	Chl a	Chl b	Chl total	Chl a:Chl b
----- (g m ⁻²) -----					
ระยะเริ่มแตกกอ					
7.5	40.22	0.177	0.0679	0.2449	2.94
15	39.72	0.1541	0.0524	0.2065	2.98
25	38.72	0.1774	0.0596	0.2328	2.64
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	7.62	9.06	14.38	10.33	7.37
เฉลี่ย	39.5533	0.1695	0.0600	0.2281	2.86
ระยะแตกกอ					
สูงสุด					
7.5	34.23	0.2107	0.068	0.2787	2.98
15	36.32	0.2208	0.0743	0.2951	3.02
25	34.5	0.2051	0.0681	0.2793	3.10
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.55	11.49	10.99	10.99	3.99
เฉลี่ย	35.0167	0.2122	0.0701	0.2844	3.03

ข้อมูล อัตราปลูก	Spad (SPAD unit)	Chl a -----	Chl b -----	Chl total (g m-2)-----	Chl a:Chl b
ระยะสร้างช่อ					
ดอก					
7.5	32.1	0.1861	0.0636	0.2497	2.70
15	34.97	0.1586	0.0599	0.2185	2.72
25	31.4	0.1449	0.0541	0.213	2.94
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	8.48	13.77	22.27	15.86	13.52
เฉลี่ย	32.8233	0.1632	0.0592	0.2271	2.79
ระยะดอกบาน					
7.5	34.12	0.2313a	0.0794	0.3107a	3.12
15	36.88	0.1935b	0.0628	0.2564b	2.79
25	33.65	0.1855b	0.0667	0.2476b	2.95
F-test	ns	*	ns	*	ns
CV (%)	5.92	8.49	11.01	8.35	7.97
เฉลี่ย	34.8833	0.2034	0.0696	0.2715	2.95

หมายเหตุ ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละปัจจัย มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

* = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 2 แสดงผลของอัตราปลูกต่อดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI) ในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49

อัตราปลูก กก./ไร่	Leaf Area Index			
	เริ่มแตกกอ	แตกกอสูงสุด	สร้างช่อดอก	ดอกบาน
7.5	2,133 b	13,893	11,984 a	3,743
15	4,019 a	13,703	6,888 b	6,595
25	4,527 a	11,507	10,198 a	4,536
F-test	*	ns	*	ns
CV (%)	23.57	16.28	17.31	36.66
เฉลี่ย	3,559	13,034	9,690	4,958

หมายเหตุ ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละปัจจัย มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

* = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 3 แสดงผลของอัตราปลูกต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ปลูก (Crop Growth Rate; CGR) ในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49

อัตราปลูก กก./ไร่	Crop Growth Rate			
	เริ่มแตกกอ	แตกกอสูงสุด	สร้างช่อดอก	ดอกบาน
7.5	392.37	2185.38	308.46b	1820.72
15	494.68	5173.48	5090.69a	-683.93
25	294.32	4046.33	1052.91b	3071.99
F-test	ns	ns	**	ns
CV (%)	65.94	47.85	52.19	298.66
เฉลี่ย	393.79	3,801.73	2,150.68	1,402.92

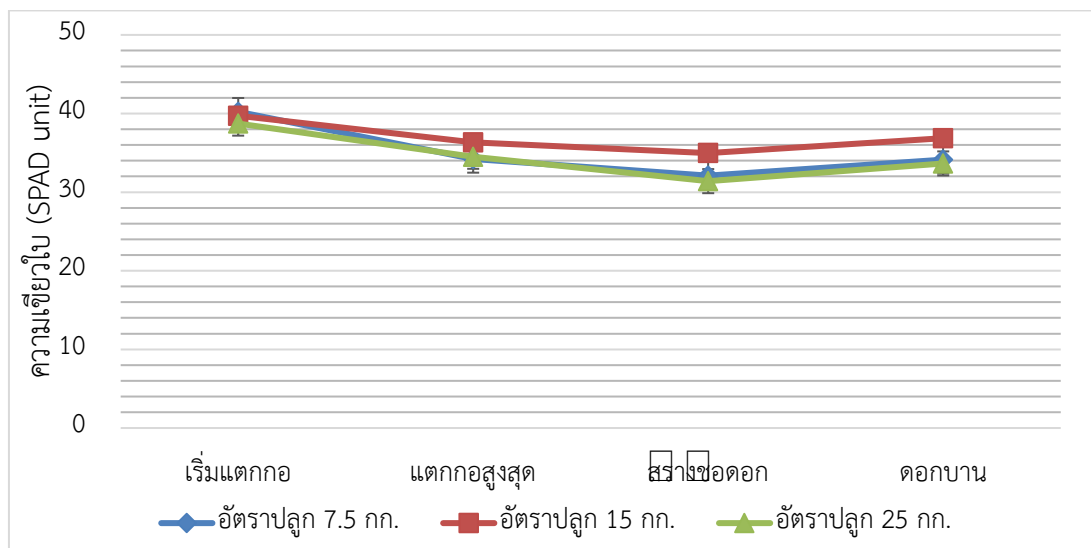
ตารางที่ 4 แสดงผลของอัตราปลูกต่ออัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบ
(Net Assimilation Rate; NAR) ในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49

อัตราปลูก กก./ไร่	Net Assimilation Rate			
	เริ่มแตกกอ	แตกกอสูงสุด	สร้างช่อดอก	ดอกบาน
7.5	0.21 b	0.33	0.52 b	0.90
15	0.37 ab	0.75	1.64 a	5.44
25	0.47 a	0.72	0.52 b	2.87
F-test	*	ns	*	ns
CV (%)	27.64	45.74	61.88	86.78
เฉลี่ย	0.35	0.6	0.8933	3.07

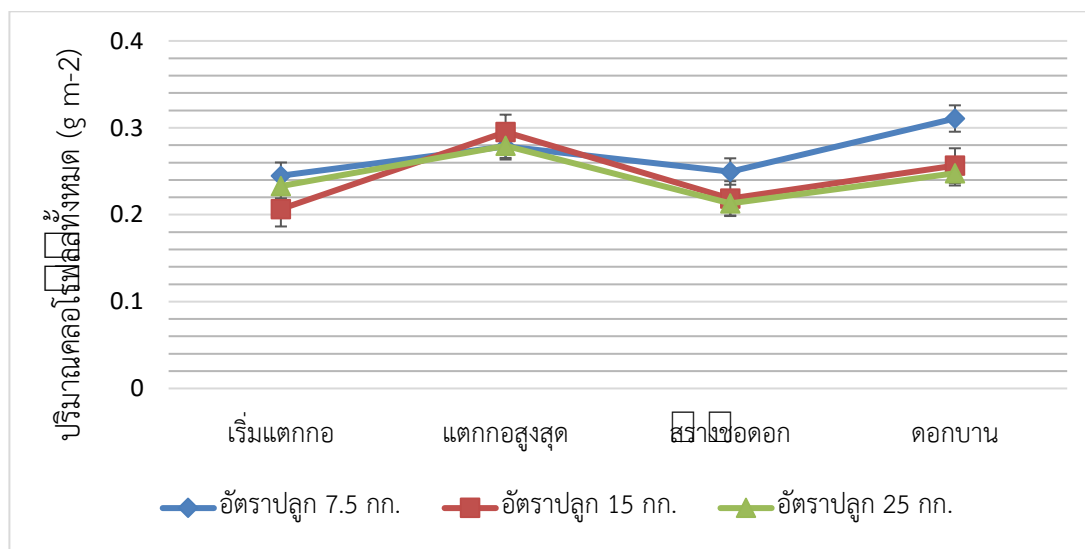
หมายเหตุ ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละปัจจัย มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

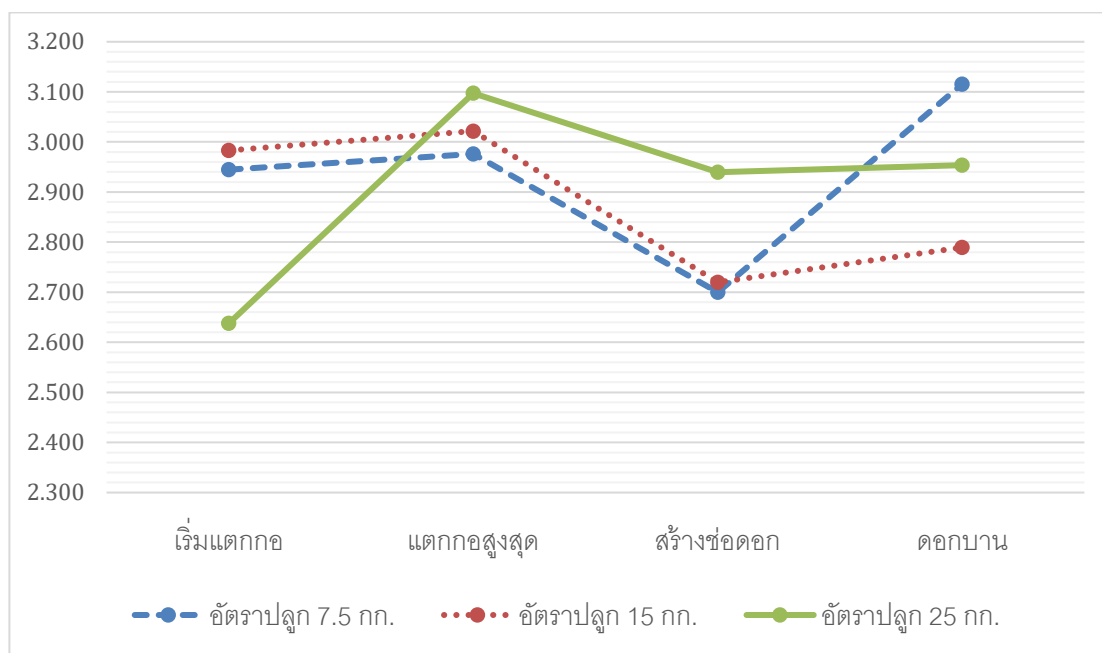
* = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ



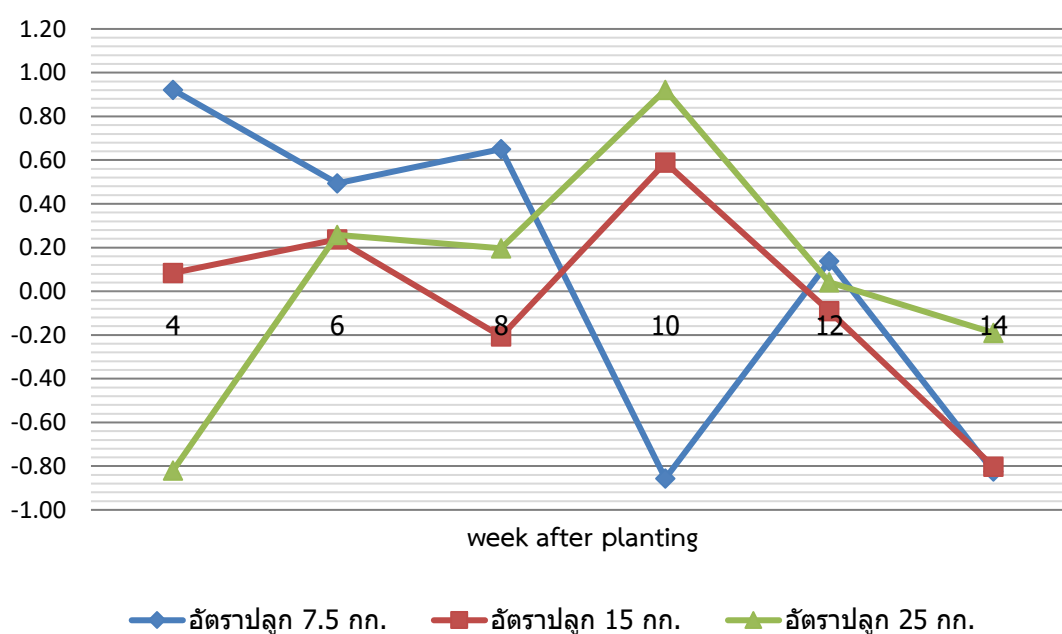
ภาพที่ 1 เปรียบเทียบความเขียวใบ (SPAD unit) แต่ละระยะการเจริญเติบโต ของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่



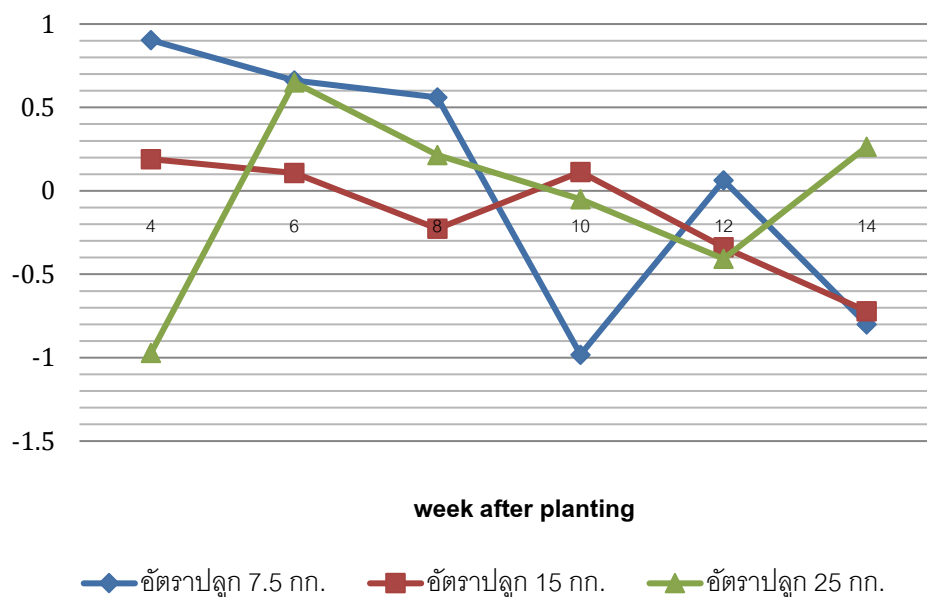
ภาพที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (g m⁻²) แต่ละระยะการเจริญเติบโต ของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่



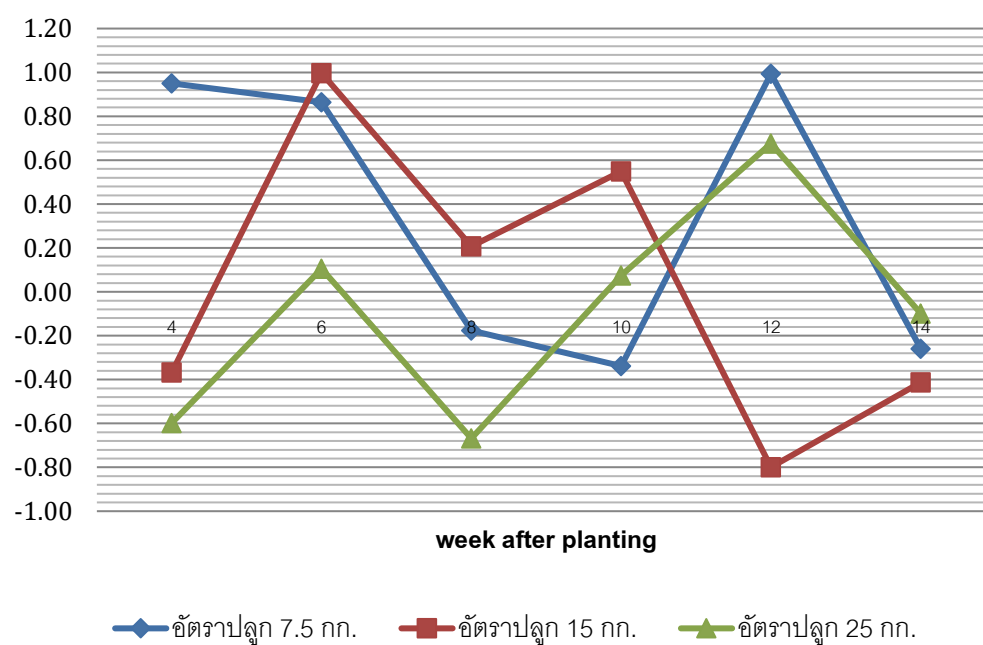
ภาพที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (g m⁻²) ต่อคลอโรฟิลล์บี (g m⁻²) แต่ละระยะการเจริญเติบโต ของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่



ภาพที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดกับน้ำหนักรากของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่



ภาพที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและอัตราการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่



ภาพที่ 6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดกับดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) ของข้าวพันธุ์ กข49 ในระดับอัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่

วิจารณ์

จากการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ พื้นที่ใบและการสะสมอาหาร ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ กข49 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ปีในแต่ละระยะการเจริญเติบโตที่อัตราปลูก 7.5, 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่จะเห็นได้ว่า มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่อัตราปลูก 7.5 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าสูงกว่าอัตราปลูก 15 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ตั้งแต่ระยะสร้างช่อดอกและระยะดอกบาน ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของอัตราปลูก 7.5 และ 15 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลด้านการเพิ่มดัชนีพื้นที่ใบมากกว่า อัตราปลูก 25 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งผลรวมของปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี และความเขียวใบที่วัดได้ มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับการสะสมน้ำหนักราก ดัชนีพื้นที่ใบ ในสัปดาห์ที่ 4,6 และ 8 สัปดาห์หลังปลูก นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวสาลี (Guendouz *et al.*, 2014) และปริมาณคลอโรฟิลล์ในถั่วเหลือง (Liu *et al.*, 2012) ซึ่งมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลผลิตของเมล็ด

สรุป

อัตราเมล็ดพันธุ์มีอิทธิพลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่ระยะดอกบาน และที่อัตราเมล็ดพันธุ์ 7.5 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้ดัชนีพื้นที่ใบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราเมล็ดพันธุ์ 15 กิโลกรัมต่อไร่ อัตราการเจริญเติบโตที่ระยะสร้างช่อดอกของอัตราเมล็ดพันธุ์ที่ 15 กิโลกรัมต่อไร่ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เมื่อเทียบกับอีก 2 อัตราปลูก ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบ ดัชนีพื้นที่ใบในระยะการสร้างช่อดอกเป็นค่าทางสรีรวิทยาที่มีความสำคัญ ซึ่งสามารถเป็นตัวชี้บอกที่มีความสัมพันธ์กับผลผลิต โดยในการทดลองเดียวกันนี้ ที่อัตราเมล็ดพันธุ์ 7.5 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงสุด

อัตราเมล็ดพันธุ์มีผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น และการเจริญเติบโตในระยะการสร้างผลผลิต โดยจะต้องมีการจัดการ อัตราเมล็ดพันธุ์ที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดพื้นที่ใบที่มีประสิทธิภาพเพื่อการสังเคราะห์แสงและสร้างอาหาร ลดการบังแสง ซึ่งจะส่งผลสุดท้ายถึงปริมาณผลผลิตด้วย จากการทดลองนี้ สามารถพิสูจน์ได้ว่า ที่อัตราเมล็ดพันธุ์ 7.5 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นอัตราที่ต่ำสุด หากมีการจัดการที่ดี พืชจะมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่เหมาะสม รวมทั้งลดต้นทุนในการผลิตด้วย

เอกสารอ้างอิง

- พรเพ็ญ สมจิตรและนิตยา ผกามาศ. 2554. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะต่างๆ และผลผลิตในข้าวพันธุ์ไม่วัยต่อช่วงแสง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 29(3): 51-57.
- Brougham, R.W. (1956) Aust. J. Agric. Res. 7 : 377-387.
- Bull, T.A., and K.T. Glaszion (1975) In L.T. Evans (ed) : Crop Physiology. Cambridge Univ. Press, Cambridge: 51
- Campbell, G.S. (1977) An Introduction to Environmental Biophysics. Springer Verlag. New York.
- Charles-Edwards, D.A., D. Doley and G.M. Rimmington (1986) Modelling Plant Growth and Development. Academic Press, Toronto.
- Copper, J.P. (1975) Control of Photosynthetic in Terrestrial Systems; Photosynthesis and Productivity in Different Environments. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Corley, R.H.V., B.S. Gray, and S.K. Ng (1971) Exp. Agric. 7 : 129-135.
- Evans, G.C. (1972) The Quantitative Analysis of Plant Growth. Blackwell Scientific Publication, Oxford.
- Ferraris, R. (1979) Trop. Grassld. 13 : 20-25.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, and R.L. Mitchell (1985) Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, U.S.A.
- Hand, D.W., D.G. Sweeney, R.Hunt, and J. Warren Wilson (1985) Ann. Bot. 56 : 673-682.

Matsubayashi, M., R. Ito, T. Namoto, T. Takase and N. Yamada. 1963. Theory and practice of growing rice. Fuji Publishing Co., Tokyo.

Watson, D.J. (1952) Adv. Agron. 4 : 101-145.

Watson, D.J. (1958) Ann. Bot. 22 : 37-55.

Miller, T.D. 1992. Growth stages of wheat. Potash & Phosphate Institute, n.p.

Alam, M.M., M. Hasanuzzaman, and K.Nahar. 2009. Growth pattern of three high yielding rice varieties under different phosphorus levels. Advan. Biol. Res. 3 (3-4): 110-116.

Fischer, R.A. 1983. Wheat. pp. 129-154. In Smith, W.H. and S.J. Banta. (Eds.). Potential productivity of field crops under different environments. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Gomez, K. A. and A. A. Gomez. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. New York: John Wiley and Sons.

Horie, T., I. Lubis, T. Takai, A. Ohsumi, K. Kuwasaki, K. Katsura and A. Nii. 2003. Physiological traits associated with high yield potential in rice. pp. 117-145. In Mew, T.W., D.S. Brar, S. Peng, D. Dawe and B. Hardy. (Eds.).

Rice Science: Innovations and Impact for Livelihood. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Kropff, M.J., K.G. Cassman, S. Peng, R.B. Matthews and T.L. Setter. 1994. Quantitative understanding of yield potential. pp. 21-38. In Cassman, K.G. (Eds.). Breaking the Yield Barrier. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae their use and abuse. *Crop Sci.* 7: 171-175.

Takai, T., S. Matsuura, T. Nishio, A. Ohsumi, T. Shiraiwa, and T. Horie. 2006. Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period. *Field Crops Res.* 96: 328-335.

Ying, J., S. Peng, Q., He, H. Yang, C. Yang, R.M. Visperas, and K.G. Cassman. 1998. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments I. Determinants of grain and dry matter yields. *Field Crops Res.* 57: 71-84. 70
วารสารเกษตรพระจอมเกล้า

Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, pp. 296

Yoshida, S. 1983. Rice. pp. 103-127. In Smith, W.H. and S.J. Banta. (Eds.). *Potential Productivity of Field Crops under Different Environments*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Bailey, S., R., Walters, S., Jansson, P., Horton. 2001. Acclimation of *Arabidopsis thaliana* to the light environment: the existence of separate low light and high light responses. *Planta* 213, 794-801.

Björkman, O. 1968. Carboxydismutase Activity in Shade-adapted and Sun-adapted Species of Higher Plants. *Physiologia Plantarum* 21: 1-10.

Makino, A., T. Mae, K., Ohira. 1985. Photosynthesis and ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in rice leaves from emergence through senescence. Quantitative analysis by carboxylation/oxygenation and regeneration of ribulose 1,5-bisphosphate. *Planta* 166(3): 414-420.

ภาคผนวก



ภาพผนวกที่ 1 ภาพแสดงเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งการงอกโดยการแช่น้ำ สำหรับการปลูกแบบนาหว่านน้ำตมและการใช้เครื่องหยอดเมล็ด การนาเมล็ดใส่เครื่องหยอดเมล็ดและเครื่องหว่านพ่นแบบสะพายหลัง



ภาพผนวกที่ 2 ภาพแสดงการสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวพันธุ์ กข49 ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ



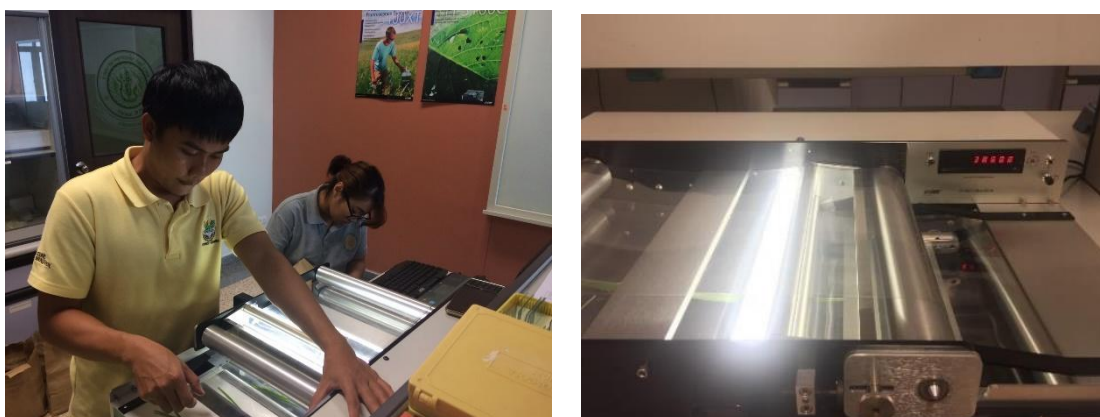
ภาพผนวกที่ 3 ภาพแสดงการวัดความเขียวทั่วทั้งใบจำนวน 3 จุด คือ กกใบ กลางใบ และปลายใบ ด้วยเครื่อง chlorophyll meter (SPAD-502)



ภาพผนวกที่ 4 ภาพแสดงการสกัดคลอโรฟิลล์ในใบข้าว เจาะตัวอย่างใบบริเวณที่วัดความเขียวใบ ด้วย cork borer จะได้แผ่นใบรูปร่างวงกลม ใส่ในหลอดที่เติมสาร N,N-dimethylformamide (DMF) ปริมาณ 4 มิลลิลิตร



ภาพผนวกที่ 5 ภาพแสดงการนำสารละลายคลอโรฟิลล์วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 664 nm และ 647 nm



ภาพผนวกที่ 6 ภาพแสดงการวัดพื้นที่ใบโดยใช้เครื่อง Leaf area meter รุ่น LI-3100C AREA METER

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวเบ็ญญา เจิมท่า
วัน เดือน ปี เกิด	14 เดือนธันวาคม พุทธศักราช 2539
สถานที่เกิด	นครสวรรค์
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษา โรงเรียนชุมแสงชนูทิศ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนพัฒนาศักยภาพนิสิต คณะเกษตร