



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)

ปริญญา

พฤกษศาสตร์

พฤกษศาสตร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของสารสกัดจากฟางข้าวต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาบางประการในพืชบางชนิด

Effects of Rice Straw Extracts on Some Physiological Processes in Some Plants

นามผู้วิจัย นายพิทวัส วิชัยดิษฐ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ศรีสม สุวรรณวงศ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ลลิตา กาวิตะ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์สรัญญา วัชรโรทัย, Dr.rer.nat.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสารสกัดจากฟางข้าวต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาบางประการในพืชบางชนิด

Effects of Rice Straw Extracts on Some Physiological Processes in Some Plants

โดย

นายพิทวัส วิชัยดิษฐ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พิทวัส วิชัยดิษฐ์ 2555: ผลของสารสกัดจากฟางข้าวต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาบาง
ประการในพืชบางชนิด ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์) สาขาวิชา
พฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์ ศรีสุม สุวรรณวงศ์, Ph.D. 83 หน้า

จากผลการทดสอบเบื้องต้นของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ สารสกัดจากฟางข้าว
พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข 6 กข 10 กข 27 กข 29 กข 41 ชัยนาท 1 ชัยนาท 2 ปทุมธานี 1
เหนียวสันป่าตอง และสุพรรณบุรี 60 พบว่าสารสกัดจากฟางข้าวทุกพันธุ์ที่ทำการศึกษามีผลในการ
ยับยั้งการงอกของเมล็ดไมยราบยักษ์ แต่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าไมยราบยักษ์ โดยพบว่า
สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าไมยราบ
ยักษ์มากที่สุด

ผลการทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00,
1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าไมยราบยักษ์
ถั่วเขียว หน่อกุหลาบ และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าสารสกัดไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการงอกของ
พืชทดสอบทุกชนิดที่ทำการศึกษา แต่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชทดสอบ โดยสารสกัด
มีความสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชทดสอบเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตต้นกล้าพืชทดสอบของสารสกัดไม่ได้
เกิดจากความสามารถในการยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาที่ทำการศึกษา เนื่องจากผลการศึกษา
ฤทธิ์ของสารสกัดต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาบางประการ ได้แก่ ปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับ
กระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการ
สังเคราะห์แสง กระบวนการ ammonia assimilation และการเกิด lipid peroxidation พบว่าสาร
สกัดไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งกระบวนการดังกล่าว แต่จากการศึกษาผลของสารสกัดต่อกระบวนการแบ่ง
เซลล์แบบไมโทซิส พบว่าสารสกัดมีความสามารถในการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสที่ปลายราก
หอมแดง ดังนั้นความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชทดสอบ จึงเกิดขึ้นเนื่องจาก
ความสามารถในการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสที่ปลายรากของสารสกัด

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

___/___/___

Bittawat Wichaidist 2012: Effects of Rice Straw Extracts on Some Physiological Processes in Some Plants. Master of Science (Botany), Major Field: Botany, Department of Botany. Thesis Advisor: Associate Professor Srisom Suwanwong, Ph.D. 83 pages

The preliminary study on the effects of rice straw, cultivars Khao Dawk Mali 105, RD 6, RD 10, RD 27, RD 29, RD 41, Chai-nat 1, Chai-nat 2, Niaw San-pah-tong, Pathum Thani 1 and Suphan Buri 60, extracts on seed germination and seedling growth of giant mimosa (*Mimosa pigra* L.) were investigated. The results showed that the extracts did not inhibit seed germination but inhibited seedling growth of giant mimosa and Chai-nat 1 was the most effective extract in this experiment.

The study on the effect of Chai-nat 1 extract at 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 and 5.00 g/l on seed germination and seedling growth of giant mimosa, mung bean (*Vigna radiate* (L.) R. Wilczek), barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.) and rice (*Oryza sativa* L.) cv. 'Khao Doak Mali 105' showed that the extract did not inhibit seed germination but inhibited seedling growth of all tested plants and the inhibition was increased by increasing the concentrations.

Nevertheless, the inhibitory ability of the extract did not come from effect on physiological processes because the study on the effects of the extracts on some physiological processes showed that the extract had no effect on photosynthetic pigments content, non-cyclic electron transport in photosynthesis, ammonia assimilation and lipid peroxidation. However, the study on effect of the extract on mitotic cell division showed that the extract could inhibit cell division in shallot (*Allium ascalonicum* L.) root tip. Therefore, the inhibition of seedling growth was caused by the extract the inhibition of root mitotic cell division.

Student's Signature

Thesis Advisor's Signature

___/___/___

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ศรีสม สุวรรณวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่กรุณาให้ความรู้ ดูแลเอาใจใส่ ให้คำปรึกษาในการทดลอง สนับสนุนเงินทุนในการจัดหาอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดลอง ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ รศ.ดร.กิติศักดิ์ กาวีตะ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รศ.ดร.สุรียา ตันติวิวัฒน์ ผู้ทรงคุณวุฒิ และ อ.ดร.ณัฐา เสนีवास ประธานกรรมการสอบ ที่ได้ให้ความกรุณาแก้ไขข้อผิดพลาดบางประการให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาพฤกษศาสตร์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาการศึกษาต่างๆ จนสำเร็จการศึกษา รวมถึงเจ้าของผลงานวิจัยที่ข้าพเจ้านำมาอ้างอิงประกอบในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความรู้ความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา และสนับสนุนเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณโครงการ JSPS ที่สนับสนุนทุนวิจัยระยะสั้นที่ประเทศญี่ปุ่น และขอขอบคุณ Prof. Dr. Hiroshi Matsumoto ที่ให้การดูแลและให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาทำวิจัยในประเทศญี่ปุ่น

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณสุชาติ ทองรอด เกษตรจังหวัดกำแพงเพชร ที่ให้ความกรุณารวบรวมฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนเสมอมา

พิทวัส วิชัยดิษฐ์
มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	35
ผล	35
วิจารณ์	59
สรุปและข้อเสนอแนะ	65
สรุป	65
ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	67
ภาคผนวก	76
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์	36
2 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์	38
3 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตรต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียว	41
4 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตรต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนก	44
5 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตรต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	47
6 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตรต่อปริมาณรังควัตถุ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของไมยราบยักษ์	50
7 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตรต่อปริมาณรังควัตถุ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของถั่วเขียว	51
8 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0, 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน แบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง	52
9 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อปริมาณแอมโมเนียมไอออนในไมยราบยักษ์และถั่วเขียว	54

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
10 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อปริมาณ MDA ของไมยราบยักษ์และถั่วเขียว	56
11 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 2.50 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส บริเวณปลายรากหอมแดง	58
 ตารางผนวกที่	
1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการงอกของเมล็ดไมยราบยักษ์	77
2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อความยาวยอดของต้นกล้าไมยราบยักษ์	77
3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์	77
4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการงอกของเมล็ดไมยราบยักษ์	78
5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวยอดของต้นกล้าไมยราบยักษ์	78
6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์	78
7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการงอกของเมล็ดถั่วเขียว	79
8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวยอดของต้นกล้าถั่วเขียว	79
9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียว	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการงอกของเมล็ดหญ้าข้าวนก	80
11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวยอดของต้นกล้าหญ้าข้าวนก	80
12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนก	80
13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการงอกของเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	81
14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวยอดของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	81
15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	81
16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของไมยราบยักษ์	82
17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของไมยราบยักษ์	82
18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ของไมยราบยักษ์	82
19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของถั่วเขียว	83
20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของถั่วเขียว	83
21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ของถั่วเขียว	83
22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการเคลื่อนย้ายอิเล็คตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณแอมโมเนียมไอออน ในยอดไมยราบยักษ์	84
24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณแอมโมเนียมไอออน ในรากไมยราบยักษ์	84
25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณแอมโมเนียมไอออน ในยอดถั่วเขียว	85
26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณแอมโมเนียมไอออน ในรากถั่วเขียว	85
27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณ MDA ในยอดไมยราบยักษ์	85
28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณ MDA ในรากไมยราบยักษ์	86
29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณ MDA ในยอดถั่วเขียว	86
30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณ MDA ในรากถั่วเขียว	86
31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitotic index) ที่ปลายรากหอมแดง	87

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง	13
2 การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร	15
3 กระบวนการ ammonia assimilation โดยเอนไซม์ GS/GOGAT	16
4 กระบวนการ ammonia assimilation โดยเอนไซม์ GDH	16
5 กลไกการเกิด lipid peroxidation ในพืช	18
6 ความสัมพันธ์ระหว่างการยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเกิด ROS	19
7 วัฏจักรเซลล์	21
8 การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสที่ปลายรากหอมแดง	23
9 ต้นกล้าไมยราบยักษ์ที่ได้รับสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ	35
10 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์	37
11 ความเข้มข้นของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีความสามารถยับยั้ง การเจริญเติบโตของต้นกล้าไมยราบยักษ์ 50 เปอร์เซ็นต์	39
12 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียว	40
13 ความเข้มข้นของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีความสามารถยับยั้ง การเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วเขียว 50 เปอร์เซ็นต์	42
14 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนก	43
15 ความเข้มข้นของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีความสามารถยับยั้ง การเจริญเติบโตของต้นกล้าหญ้าข้าวนก 50 เปอร์เซ็นต์	45
12 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	46
11 ความเข้มข้นของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีความสามารถยับยั้ง การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 50 เปอร์เซ็นต์	48

ผลของสารสกัดจากฟางข้าวต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาบางประการ ในพืชบางชนิด

Effects of Rice Straw Extracts on Some Physiological Processes in Some Plants

คำนำ

วัชพืชจัดเป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งในด้านเกษตรกรรม เนื่องจากวัชพืชเป็นตัวแย่งแย่งปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชปลูก ทำให้การเจริญเติบโตของพืชปลูกและผลผลิตที่ได้อาจลดลง นอกจากนี้วัชพืชยังก่อให้เกิดอุปสรรคต่างๆ ในการปฏิบัติงาน เช่น ขัดขวางการระบายน้ำ การจัดการปุ๋ย การพรวนดิน การเก็บเกี่ยว รวมถึงเป็นแหล่งหลบซ่อนอาศัยของแมลงตลอดจนศัตรูพืชชนิดอื่นๆ ดังนั้นการป้องกันกำจัดวัชพืชจึงถือว่าเป็นสิ่งที่จำเป็น วิธีการกำจัดวัชพืชที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน คือ การใช้สารกำจัดวัชพืชที่เป็นสารสังเคราะห์ทางเคมี เนื่องจากเป็นวิธีที่เห็นผลรวดเร็ว ประหยัดแรงงาน ประหยัดเวลา สะดวก มีประสิทธิภาพ ต้นทุนต่ำ และสามารถเลือกทำลายวัชพืชได้อย่างไร้ที่ติตาม การใช้สารเคมีสังเคราะห์ในการควบคุมวัชพืชเป็นระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมากมาย เช่น การตกค้างของสารกำจัดวัชพืชในดิน น้ำ อากาศ หรือผลผลิต รวมทั้งอาจมีผลกระทบต่อมนุษย์และสัตว์ด้วย ดังนั้น วิธีการหนึ่งในการลดการใช้สารกำจัดวัชพืชที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์ คือ การใช้สารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการควบคุมกำจัดวัชพืช ซึ่งเป็นสารที่ผลิตขึ้นโดยสิ่งมีชีวิต มีผลดี คือ สามารถสลายตัวได้ง่ายกว่าสารเคมีสังเคราะห์และไม่ตกค้างในสภาพแวดล้อม แนวทางหนึ่งของการใช้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ การใช้สารสกัดจากธัญพืชในวงศ์หญ้า เนื่องจากมีรายงานว่าสารสกัดจากธัญพืชในวงศ์หญ้างาบางชนิด เช่น สารสกัดจากฟางข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum vulgare* L.) มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรีย แพลงค์ตอนพืช และสาหร่ายบางชนิด และมีรายงานว่าปริมาณ phenolic compound ในฟางข้าว (*Oryza sativa* L.) ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชบางชนิด มีปริมาณใกล้เคียงกันกับในฟางข้าวบาร์เลย์

การศึกษาครั้งนี้ มีแนวความคิดที่จะนำสารสกัดจากฟางข้าวมาศึกษาผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาในต้นพืช โดยสนใจศึกษาผลของสารสกัดต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของต้นกล้า และกระบวนการทางสรีรวิทยาของวัชพืชและพืชปลูกบางชนิด ได้แก่ ปริมาณรงควัตถุที่

เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการ ammonia assimilation การเกิด lipid peroxidation และการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส โดยผลที่ได้จากการศึกษาอาจทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่สารสกัดมีความสามารถในการยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยา และอาจใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการควบคุมกำจัดวัชพืชที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสารสกัดจากฟางข้าวเป็นสารสกัดชีวภาพ จึงมีแนวโน้มที่จะเป็นพืชต่อผู้ใช้และมีผลตกค้างในสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสารเคมีสังเคราะห์



วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของไมยราบยักษ์
2. เพื่อทดสอบผลของสารสกัดจากฟางข้าว ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของวัชพืชและพืชปลูกบางชนิด
3. เพื่อทดสอบผลของสารสกัดจากฟางข้าว ต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาบางประการ ของพืชบางชนิด

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของพืชในวงศ์หญ้า

พืชวงศ์หญ้า (Poaceae) เป็นพืชล้มลุก (herb) อายุปีเดียว (annual plants) หรือหลายปี (perennial plants) ลำต้นกลม กลวง มีข้อปล้องชัดเจน ใบเรียงสลับ แผ่นใบมักเป็นรูปแถบเรียวยาว โคนใบแผ่ออกเป็นกาบ (leaf sheath) มีลิ้นใบ (ligule) ดอกออกเป็นช่อแบบแยกแขนง (panicle) แบบกระจุก (raceme) หรือช่อเชิงลด (spike) ดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) หรือแยกเพศ (imperfect flower) ไม่มีวงกลีบดอก ดอกย่อยมีใบประดับสองแผ่น เรียกว่ากาบบน (palea) และ กาบล่าง (lemma) เกสรเพศผู้มักมี 3 อัน รังไข่ 1 อัน ยอดเกสรเพศเมียแยกเป็นสองแฉก มีขนยาวนุ่ม มีผลแบบธัญพืช (caryopsis) มีเปลือกหุ้มเมล็ด (ก่องกานดา, 2551)

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในพืชวงศ์หญ้า

ปัจจุบันมีรายงานว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของธัญพืชในวงศ์หญ้าบางชนิด เช่น ข้าวไรย์ (*Secale cereale* L.) ข้าวโอ๊ต (*Avena sativa* L.) ข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) และข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum vulgare* L.) มีฤทธิ์ในการยับยั้งการงอกและเจริญเติบโตของวัชพืชและพืชปลูกบางชนิด (Liebl and Worsham, 1983; Moyer and Huang, 1997) และมีรายงานว่าสารสกัดหยาดด้วยน้ำจากฟางข้าวสาลีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ได้แก่ เกลือของกรดแอสติก (acetate) เกลือของกรดโพรพิโอนิก (propionate) และเกลือของกรดบิวไทริก (butyrate) เป็นต้น ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวสาลี (Tang and Waiss, 1978) รวมถึง Sun *et al.* (2002) รายงานว่าปริมาณสารประกอบ phenolic ในฟางข้าวมีปริมาณใกล้เคียงกันกับในฟางข้าวบาร์เลย์ ซึ่ง Chou and Lin (1976) และ Chung *et al.* (2002) รายงานว่าสารประกอบ phenolic บางชนิดในฟางข้าวมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชบางชนิด นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารสกัดหยาดด้วยน้ำจากฟางข้าวบาร์เลย์ มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรีย *Microsistis* sp. (Ball *et al.*, 2001) ไดโนแฟลกเจลเลตบางชนิด เช่น *Gyrodinium galatheanum*, *G. sanguineum*, *Heterocapsa triquetra* และ *H. pygmaea* (Terlizzi *et al.*, 2002) แพลงค์ตอนพืชบางชนิด เช่น *Isochrysis* sp. (Brownlee *et al.*, 2003) และสาหร่ายน้ำจืดหลายชนิด (Ferrier *et al.*, 2005)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชในวงศ์หญ้า สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น จัดเป็นพืชล้มลุก มีระบบรากแบบระบบรากฝอย (fibrous root system) ลำต้นกลม กลวง โดยทั่วไปจะตั้งตรง แต่อาจพบลำต้นในลักษณะเลื้อยหรือทอดนอน โดยโดยเฉพาะส่วนของยอดขึ้นตั้งตรงในข้าวป่า (wild rice) และข้าวขึ้นน้ำ (floating หรือ deepwater rice) ปกติแล้วต้นข้าวจะมีปล้องประมาณ 25-30 ปล้อง ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม มีตา (bud) ขั้วละ 1 ตา บริเวณซอกใบ ใบข้าวจัดเป็นใบเดี่ยว (simple leaf) มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบาง ค่อนข้างยาว รูปหอก (lanceolate) เส้นใบขนาน ช่อดอก (inflorescence) ประกอบด้วยดอกย่อยหลายดอก มาจัดเรียงบนแกนกลาง (rachis) ดอกข้าว (floret) ประกอบด้วยกาบล่าง และกาบบนประกบกัน ในแต่ละดอกจะมีเกสรเพศผู้จำนวน 6 อัน มีเกสรเพศเมียอยู่ใกล้กับฐานดอกด้านใน มักมีการผสมตัวเอง (self-pollination) เป็นส่วนใหญ่ เมื่อมีการผสมพันธุ์ในดอกข้าวระหว่างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมีย ออวูล (ovule) จะพัฒนาเป็นเมล็ดภายในดอกแต่ละดอก เรียกช่อดอกที่พัฒนาไปเป็นช่อเมล็ดว่ารวงข้าว (ทวี, 2544; บุญหงษ์, 2547)

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในฟางข้าว

ข้าวเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีพบว่าการปลดปล่อยสารอินทรีย์หลายกลุ่ม เช่น phenolic acids, fatty acids, indoles และ terpene ออกสู่สิ่งแวดล้อมทาง root exudates ทำให้พืชหลายชนิดมีการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเจริญเติบโตร่วมกับข้าว และพบว่า momilactone B ใน root exudate ของข้าว มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเพียนแดง (*Lepidium sativum* L.) และผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) (Kato-Noguchi, 2004) และจากการศึกษาของ Ella *et al.* (2007) พบว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในฟางข้าว มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายน้ำจืดหลายชนิด รวมถึงสารสกัดด้วยเมทานอลจากฟางข้าวและสารสกัดด้วยเมทานอลจากแกลบมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรีย *Microcystis aeruginosa* (Park *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2009)

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารสกัดด้วยน้ำจากส่วนต่างๆ ของข้าว มีฤทธิ์ในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด เช่น จากการศึกษาของ Chung *et al.* (2003) พบว่าสารสกัดด้วยน้ำจากใบ ฟาง และแกลบ มีผลทำให้การงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าหญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv) ลดลง จากการศึกษาของ Ahn and Chung (2000) พบว่า

สารสกัดด้วยน้ำจากแกลบของข้าวพันธุ์ S202 มีฤทธิ์ยับยั้งการงอกของเมล็ดหญ้าข้าวนก 48 % จากการศึกษาของ Eban et al., (2001) พบว่าสารสกัดด้วยน้ำจากใบ ลำต้น และรากของข้าวมีผลทำให้ความยาวรากของผักกาด (*Lactuca sativa* L.) ลดลง และจากการศึกษาของ Lin et al. (2000) พบว่าสารสกัดด้วยน้ำจากใบข้าวมีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ATP synthase และ amylase แต่มีผลในการส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ IAA oxidase ของหญ้าข้าวนก ซึ่ง Chou and Lin (1976) รายงานว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในฟางข้าวที่สกัดด้วยน้ำ จัดเป็นสารในกลุ่ม phenolic acids โดยพบว่า o-hydroxyphenylacetic acids ที่ความเข้มข้น 25 ppm มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของรากแรกเกิด (radicle) ของข้าวและผักกาดหอม แต่ไม่มีผลในการยับยั้งในถั่วเขียว รวมถึง Chung et al. (2002) รายงานว่า ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid, p-coumaric acid และ m-coumaric acid มีความสามารถยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าของหญ้าข้าวนกได้ดีกว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดอื่นๆ ที่พบในสารสกัดจากฟางข้าว โดยที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid, p-coumaric acid และ m-coumaric acid มีความสามารถในการยับยั้งการงอกของเมล็ดหญ้าข้าวนกเท่ากับ 92, 94, 94 และ 92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของต้นกล้าหญ้าข้าวนกลดลง 67, 77, 75 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ Zhou et al. (2004) รายงานว่าปริมาณ phenolic acids ในสารสกัดจากต้นข้าว มีมากกว่าในสารสกัดจากฟางข้าว

การควบคุมวัชพืช

การควบคุมวัชพืช หมายถึงการปฏิบัติเพื่อลดจำนวนวัชพืชลง ให้จำนวนวัชพืชไม่มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจ กล่าวคือ ผลผลิตของพืชปลูกที่เพิ่มขึ้นจากผลการควบคุมวัชพืชมีมูลค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายในการควบคุมวัชพืช แต่ไม่ได้หมายความว่าต้องกำจัดให้วัชพืชหมดสิ้นไป (ดวงพร, 2543; รังสิต, 2547) สามารถจำแนกวิธีการควบคุมวัชพืชได้หลายวิธี ได้แก่

การควบคุมโดยวิธีการป้องกัน (preventive control) เป็นหลักการพื้นฐานที่สำคัญในการควบคุมวัชพืช การควบคุมวัชพืชโดยวิธีนี้เป็นการป้องกันวัชพืชเข้าสู่พื้นที่ ตลอดจนการป้องกันการแพร่กระจายของวัชพืช ซึ่งอาจทำได้โดย การใช้เมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีเมล็ดวัชพืชปะปน การใช้เครื่องมือที่ไม่มีเมล็ดหรือส่วนขยายพันธุ์ของวัชพืชติดมา และการป้องกันการแพร่กระจายของเมล็ดวัชพืชที่ผ่านมาจากน้ำชลประทาน เป็นต้น

การควบคุมวัชพืชด้วยวิธีกล (mechanical control) หมายถึง การใช้แรงงานจากคน สัตว์ และเครื่องมือจักรกลต่างๆ เข้าช่วยทำลายวัชพืช เช่น การใช้มือถอน การใช้จอบฉา การไถพรวน การจัดการน้ำ การใช้วัสดุคลุมดิน การตัดโดยใช้เครื่องตัดหญ้า และการใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

การควบคุมโดยชีววิธี (biological control) หมายถึง การใช้สิ่งมีชีวิตต่างๆ เข้าช่วยทำลายวัชพืช ซึ่งอาจจะเป็นผลทางตรง คือ ใช้ศัตรูพืชทำลายวัชพืช หรือผลทางอ้อม คือ ทำให้วัชพืชนั้นอ่อนแอ จนไม่สามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ตามปกติ เช่น การใช้พืชแข่งขัน การใช้พืชที่สร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพไปรบกวนหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของวัชพืช และการใช้แมลงและโรคพืช เป็นต้น

การควบคุมด้วยสารเคมี (chemical control) หมายถึง การใช้สารกำจัดวัชพืชประเภทต่างๆ ในการควบคุมวัชพืช ถือว่าเป็นวิธีการควบคุมวัชพืชที่มีประสิทธิภาพสูง และมีต้นทุนค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการกำจัดวัชพืชด้วยวิธีอื่นๆ แต่อาจก่อให้เกิดปัญหาแกระบบเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม สุขภาพ และทรัพย์สิน หากไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำที่กำหนดไว้ หรือขาดความระมัดระวังในการใช้

สารกำจัดวัชพืชและกลไกการทำลายของสารกำจัดวัชพืช

ทศพล (2545); พรชัย (2531) และรังสิต (2547) รายงานว่าสารกำจัดวัชพืช (herbicide) หมายถึงสารเคมีชนิดใดๆ ก็ตามที่นำมาใช้เพื่อฆ่าทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของวัชพืช ไม่ว่าจะเป็นในกรณีที่วัชพืชงอกแล้วหรือยังเป็นเมล็ดอยู่ ตลอดจนชิ้นส่วนต่างๆ ของวัชพืชที่ขยายพันธุ์ได้ที่อยู่ในดิน หรือบนดิน โดยกลไกการทำลายของสารกำจัดวัชพืช (mode of action of herbicide) เป็นลำดับหรือขั้นตอนภายหลังจากที่พืชได้รับสารกำจัดวัชพืชไปแล้ว สารจะเข้าไปทำปฏิกิริยาโดยการยับยั้งหรือทำลายภายในต้นพืช รวมไปถึงบริเวณตำแหน่งหรือจุดทุกจุดที่สารกำจัดวัชพืชจะแสดงปฏิกิริยาภายในต้นพืช ส่งผลทำให้พืชแสดงอาการได้รับพิษและแสดงอาการผิดปกติ หรือตายในที่สุด ซึ่งสารกำจัดวัชพืชแต่ละชนิดมีกลไกยับยั้งกระบวนการที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกันออกไป เช่น

1. สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์กรดอะมิโน ทำให้พืชมีปริมาณกรดอะมิโนลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากพืชขาดกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์สำคัญในการเจริญเติบโตของพืช สารควบคุมกำจัดวัชพืชกลุ่มนี้เป็นสารที่มีผลใน

การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดอะมิโน โดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ 3 ชนิด ได้แก่

1.1 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีพีเอสพีเอส (5-enolpyruvyl-shikimate-3-phosphate synthase หรือ EPSPS) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนและกระบวนการสังเคราะห์กรดเตตระไฮโดรอะมิโนเลวูลินิก ทำให้มีผลยับยั้งการสังเคราะห์ aromatic amino acids ได้แก่ เบนซิลอะลานีน (phenylalanine) ทริปโตเฟน (tryptophan) และไทโรซีน (tyrosine) สารควบคุมกำจัดวัชพืชที่ยับยั้งเอนไซม์อีพีเอสพีเอสมีเพียงกลุ่มเดียว ได้แก่ สารกลุ่มไกลซีน เช่น ไกลโฟเสต (glyphosate) เป็นต้น

1.2 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอซีโทแลคเตส ซินเทส (acetolactase synthase) หรือแอซีโทไฮดรอกซีแอซิด ซินเทส (acetohydroxy acid synthase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ชนิดแรกในวิถีการสังเคราะห์ branched-chain amino acids ได้แก่ วาลีน (valine) ลูซีน (leucine) และไอโซลูซีน (isoleucine) โดยสารป้องกันกำจัดวัชพืชในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารกลุ่มอิมิดาโซลิโนน (imidazolinones) กลุ่มซัลโฟนิลยูเรีย (sulfonylureas) กลุ่มไตรเอโซโลไพริมิดีนซัลโฟนาไมด์ (triazolopyrimidine sulfonanilides) และ กลุ่มไพริมิดีนเบนโซเอต (pyrimidine benzoates)

1.3 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์กลูตามีน ซินเทเทส (glutamine synthetase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นกลูตามีนด้วยกระบวนการแอมโมเนียแอสซิมิลเลชัน (ammonia assimilation) สารป้องกันกำจัดวัชพืชที่ยับยั้งเอนไซม์กลูตามีน ซินเทเทส มีเพียงกลุ่มเดียว ได้แก่ สารกลุ่มกรดฟอสโฟนิค เช่น กลูโฟสิเนต (glufosinate) เป็นต้น

2. สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์รงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ทำให้พืชสร้างอาหารได้ลดลง สารควบคุมกำจัดวัชพืชในกลุ่มนี้ ได้แก่

2.1 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ เป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไฟโทอิน ดีแซททูเรส (phytoene desaturase) ทำให้ใบพืชเปลี่ยนเป็นสีขาว เนื่องจากพืชขาดแคโรทีนอยด์ซึ่งมีหน้าที่สำคัญในการป้องกันไม่ให้แสงทำลายคลอโรฟิลล์ (photooxidation) โดยสารควบคุมกำจัดวัชพืชในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารกลุ่มไพริดีนโนน (pyridinones) กลุ่มไพริดาซีนโนน

(pyridazinones) กลุ่มไอโซซาโซลิดิโนน (isoxazolidinones) และกลุ่มคาร์บอกซามายด์ (carboxamides) เป็นต้น

2.2 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรโทพอร์ไฟรินเจน ไนน์ ออกซิเดส (protoporphyrinogen IX oxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนโปรโทพอร์ไฟรินเจน ไนน์ (protoporphyrinogen IX) ไปเป็นโปรโทพอร์ไฟริน ไนน์ (protoporphyrin IX) เป็นผลให้เกิดออโตออกซิเดชัน (autooxidation) ของโปรโทพอร์ไฟรินเจน ไนน์ ทำให้เกิดการสะสมโปรโทพอร์ไฟริน ไนน์ ซึ่งเมื่อโปรโทพอร์ไฟริน ไนน์ ได้รับแสงในสภาพที่มี O_2 จะเปลี่ยน O_2 เป็น 1O_2 (singlet oxygen) ทำให้เกิดเพอร์ออกซิเดชันของไขมันในเมมเบรนต่างๆ ภายในเซลล์ โดยสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารกลุ่มไดเฟนิลอีเธอร์ (diphenylethers) กลุ่มแอริลไตรเอซีนอน (aryl triazinones) กลุ่มออกซาไดอะโซล (oxadiazoles) และกลุ่มไตรเอโซลอน (triazolones) เป็นต้น

3. สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่พืชเปลี่ยนรูปพลังงานแสงให้อยู่ในรูปพลังงานเคมี และเก็บสะสมพลังงานเคมีที่ได้ไว้ในสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ เช่น น้ำตาล หรือแป้ง เป็นต้น สารควบคุมกำจัดวัชพืชกลุ่มนี้ได้แก่

3.1 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง ที่ระบบแสง 1 (photosystem I; PS I) เป็นสารที่สามารถแย่งรับอิเล็กตรอนกับ $NADP^+$ จาก เพอร์รีดอกซิน (ferredoxin) ทำให้เกิด reactive oxygen species (ROS) ขึ้น สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารกลุ่มไบไพริดีเนียม (bipyridiniums) เช่น พาราควอต (paraquat) เป็นต้น

3.2 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง ที่ระบบแสง 2 (photosystem II; PS II) เป็นสารที่สามารถจับกับ binding site ของโปรตีน D_1 (D_1 protein) แทนพลาสโตควิโนน (plastoquinone) ทำให้พืชไม่สามารถเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจากโปรตีน D_1 ไปยังพลาสโตควิโนนได้ (Heldt and Piechulla, 2011) สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารกลุ่มยูเรีย (ureas) กลุ่มยูราซิล (uracils) กลุ่มไฮดรอกซีเบนโซไนทริล (hydroxybenzonitriles) กลุ่มบิสคาร์บาเมต (biscarbamates) กลุ่มเบนโซไทไดอะโซล (benzothiadiazoles) และกลุ่มทริเอซีน (triazines) เป็นต้น

4. สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ซึ่งเป็นกระบวนการเริ่มต้นที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเมื่อเซลล์พืชไม่สามารถแบ่งตัวได้ตามปกติ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชหยุดชะงัก และตายไปในที่สุด (Planchais *et al.*, 2000) สารกลุ่มนี้ ได้แก่

4.1 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของโปรตีนซีดีเค (CDK proteins) ซึ่งเป็นโปรตีนสำคัญที่ทำหน้าที่ควบคุมการแบ่งเซลล์ในระยะ G_1 (G_1 phase) หรือระยะ G_2 (G_2 phase) สารในกลุ่มนี้ได้แก่ กลุ่มสารอนุพันธ์ของเพียวรีน (purine derivatives) และกลุ่มสารอนุพันธ์ของไพริมิดีน (pyrimidine derivatives)

4.2 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการจำลองดีเอ็นเอ (DNA replication) ในระยะ S (S phase) ทำให้เซลล์ไม่สามารถเพิ่มจำนวนโครโมโซมได้ สารในกลุ่มนี้ได้แก่ สารกลุ่มมิโมซิน (mimocines) และกลุ่มไฮดรอกซียูเรีย (hydroxyureas) เป็นต้น

4.3 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของโปรตีนทูบูลิน (tubulin proteins) ทำให้เซลล์ไม่สามารถแยกโครโมโซมที่สังเคราะห์ขึ้นในระยะ S ไปยังแต่ละขั้วของเซลล์ได้ สารในกลุ่มนี้ได้แก่ สารกลุ่มไดไนโตรอะนิลีน (dinitroanilines) และกลุ่มอัลคาลอยด์ (alkaloids) เป็นต้น

นอกจากสารควบคุมกำจัดวัชพืชและกลไกการออกฤทธิ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว สารป้องกันกำจัดวัชพืชอีกหลายชนิดยังมีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการสำคัญอื่นๆ อีก เช่น สารกลุ่มฟีนอกซีคาร์บอกซิลิก (phenoxy carboxylic acids) กลุ่มไพรีดีนออกซีแอตติก (pyridine carboxylic acid) กลุ่มเบนโซอิก (benzoic acids) และกลุ่มควิโนลีนคาร์บอกซิลิก (quinoline carboxylic acids) มีฤทธิ์ทำให้เกิดสภาพความเป็นกรดที่ผนังเซลล์ สารกลุ่มไซโคลเฮกเซนไดโอล์ (cyclohexanediols) มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมัน สารกลุ่มไดฟีนีลอีเธอร์ (diphenylethers) กลุ่มออกซาไดเอโซล (oxadiazoles) มีฤทธิ์สัมผัสทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นต้น

กระบวนการทางสรีรวิทยา

กระบวนการทางสรีรวิทยา หมายถึง กระบวนการต่างๆ ภายในต้นพืชที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต และการเจริญเติบโตของต้นพืช ทั้งในสภาวะปกติ และกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อพืชอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Salisbury and Ross, 1992; Hopkins and Huner, 2009) โดยกระบวนการทางสรีรวิทยาที่ทำการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ได้แก่

การงอกของเมล็ด

การงอกของเมล็ด (seed germination) หมายถึง กระบวนการทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นภายในเมล็ด ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาทางสัณฐานวิทยาจนกระทั่งรากแรกเกิด (radicle) งอกออกมาจนเมล็ดเห็นได้ชัดเจน (จวงจันท์, 2529; ลิลลี่, 2549) เมื่อได้รับปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ด ได้แก่

1. น้ำ (water) เมล็ดจะต้องมีความชื้นสูงประมาณ 30-60 % เพื่อให้เยื่อหุ้มเมล็ดอ่อนตัวลง น้ำสามารถผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ ซึ่งน้ำจะเข้าไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดที่ช่วยในการย่อยอาหารสะสม เคลื่อนย้ายสารต่างๆ และสร้างพลังงานภายในเมล็ด (ลิลลี่, 2549; Mayer and Poljakoff-Mayber, 1982)

2. ออกซิเจน (oxygen) เมล็ดพืชต้องการออกซิเจนจากบรรยากาศรอบๆ เมล็ด เพื่อใช้ในการหายใจให้ได้พลังงานไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ โดยทั่วไปอัตราการงอกจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนมากกว่า 20 % แต่สำหรับพืชที่ปรับตัวกับการงอกในน้ำ เช่น เมล็ดข้าว จะงอกได้ดีในสภาพที่ขาดออกซิเจน หรือมีออกซิเจนต่ำกว่า 8 % (จวงจันท์, 2529; ลิลลี่, 2549)

3. อุณหภูมิ (temperature) เมล็ดของพืชแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกแตกต่างกันออกไป โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมคืออุณหภูมิที่เมล็ดพืชมีอัตราการงอกสูงสุด ซึ่งเมล็ดพืชทั่วไปจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 10-35 องศาเซลเซียส เมล็ดพืชบางชนิดงอกได้ที่อุณหภูมิคงที่ (constant temperature) ในขณะที่พืชบางชนิดต้องการอุณหภูมิสูงต่ำสลับกัน (alternating temperature) (จวงจันท์, 2529; ลิลลี่, 2549)

4. แสง (light) เมล็ดพืชทั่วไปเมื่อสภาพภายในเมล็ดพร้อม ก็จะงอกทันทีที่มีน้ำ ออกซิเจน และอุณหภูมิที่เหมาะสม แต่พืชบางชนิดต้องการแสงธรรมชาติหรือแสงที่มีความเข้มแสงประมาณ 75-100 วัตต์ ในการกระตุ้นการงอกของเมล็ด ในขณะที่พืชบางชนิดงอกได้ในที่มืดเท่านั้น (จวงจันท์, 2529; ลิลลี่, 2549)

กระบวนการเจริญเติบโตของต้นกล้า

กระบวนการเจริญเติบโตของต้นกล้า เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องจากการงอกของเมล็ด รากแรกเกิดเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่วนของลำต้นเริ่มมีการเจริญเติบโตและพัฒนา ส่วนของใบเลี้ยงอาจยังคงอยู่ภายในเปลือกที่หุ้มเมล็ดและตกค้างอยู่ในดิน (hypogeal germination) หรืออาจเจริญขึ้นมาเหนือผิวดิน (epigeal germination) จากนั้นจึงเกิดการพัฒนาของใบจริงชุดแรก เพื่อสังเคราะห์แสงต่อไป (จวงจันท์, 2529)

รงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง

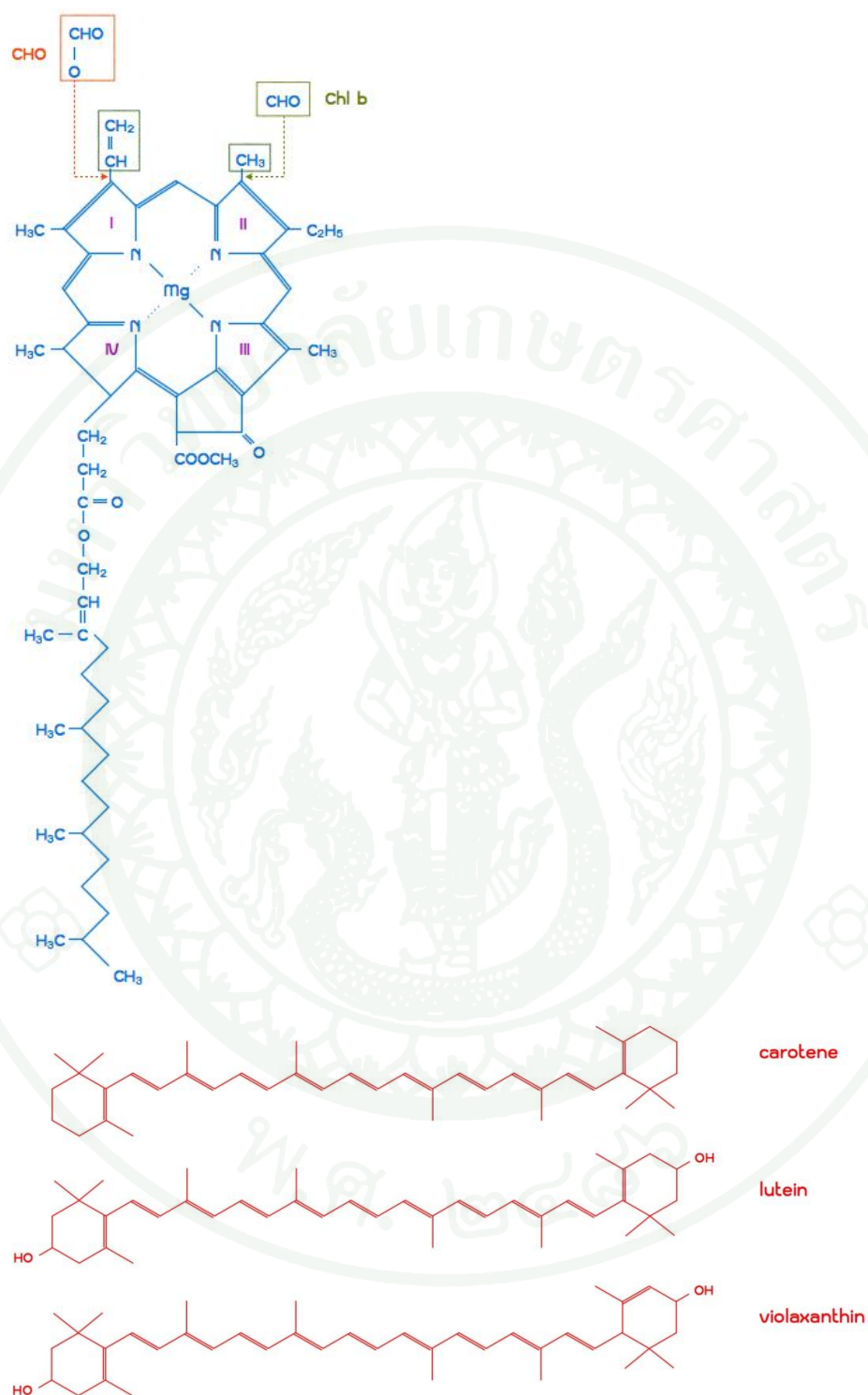
ศรีสม (2549) กล่าวว่า รงควัตถุชนิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นรงควัตถุที่มีความสามารถในการดูดซับพลังงานแสง กล่าวคือแสงสามารถกระตุ้นให้รงควัตถุในสถานะที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำ (ground state) เปลี่ยนไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า (excited state) และทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนได้ โดยรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง (ภาพที่ 1) ประกอบด้วย

1. รงควัตถุสำคัญ (primary pigment) คือ คลอโรฟิลล์ เอ ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) เป็นรงควัตถุที่มีสีเขียวอมน้ำเงิน (blue-green color) และดูดซับพลังงานแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร (แสงสีน้ำเงิน) และความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร (แสงสีแดง)

2. รงควัตถุประกอบ (accessory pigment) หมายถึง รงควัตถุอื่นๆ ที่ช่วยดูดซับพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่คลอโรฟิลล์ เอ ไม่สามารถดูดซับได้ แล้วส่งพลังงานดังกล่าวให้คลอโรฟิลล์ เอ เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงต่อไป รงควัตถุกลุ่มนี้ได้แก่

- 2.1 คลอโรฟิลล์ บี ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) เป็นรงควัตถุที่มีสีเขียวอมเหลือง (yellowish-green) และดูดซับพลังงานแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 454 และ 643 นาโนเมตร

- 2.2 แคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นรงควัตถุที่มีสีเหลือง ส้ม แดง ช่วยดูดซับพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่คลอโรฟิลล์ เอ ไม่สามารถดูดซับได้ และมีหน้าที่สำคัญในการป้องกันไม่ให้แสงทำลายคลอโรฟิลล์ สามารถแบ่งได้เป็น แคโรทีน (carotene) และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Taiz and Zeiger (2006) และ Heldt and Piechulla (2011)

การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง

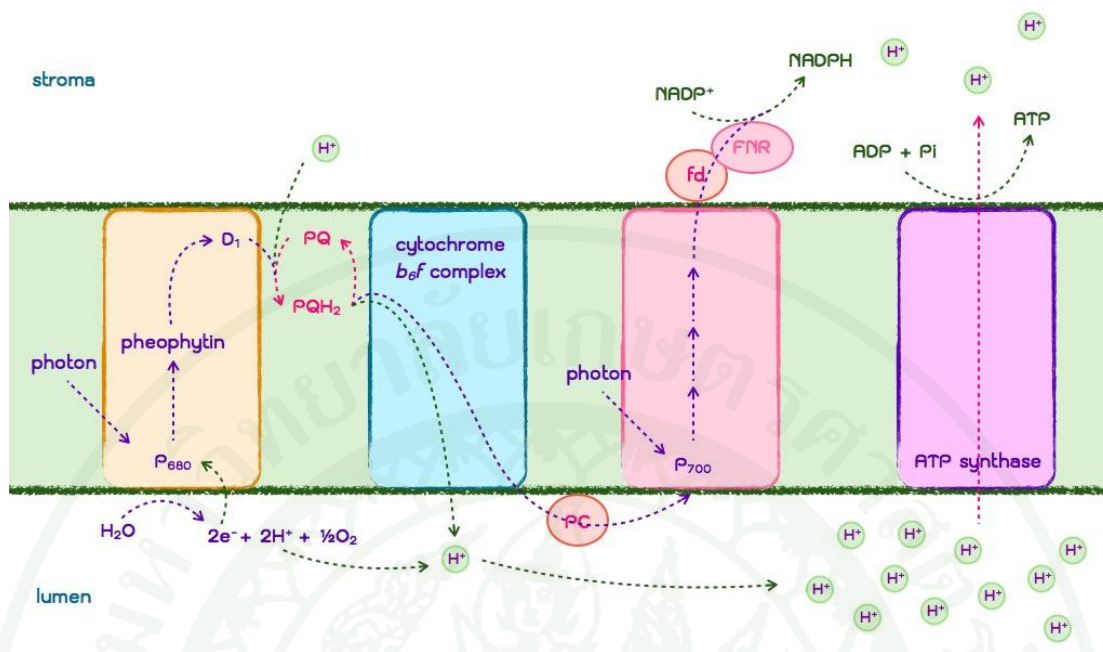
กระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงในพืช เกิดขึ้นที่บริเวณเยื่อไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) เป็นกระบวนการสำคัญในการเปลี่ยนรูปพลังงานแสง (light energy) ให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมี (chemical energy) เพื่อใช้ในสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตจากกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป (Smith *et al.*, 2010)

โดยทั่วไปแล้ว กระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช เป็นการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (non-cyclic electron transfer) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบแสง (photosystem) สองชนิด คือ ระบบแสง 1 (photosystem I, PSI) และระบบแสง 2 (photosystem II, PSII) (Smith *et al.*, 2010)

เมื่ออิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง (reaction center) ถูกกระตุ้นโดยอนุภาคแสง (photon) จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนผ่านโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน รวบรวมทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายโปรตอน (proton, H^+) เข้ามาสะสมภายในช่องในเยื่อไทลาคอยด์ (thylakoid lumen) ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างปริมาณโปรตอนภายในเยื่อไทลาคอยด์ และปริมาณโปรตอนภายนอกเยื่อไทลาคอยด์ (proton gradient) ความแตกต่างของปริมาณโปรตอนจะทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนโปรตอนจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของโปรตอนสูง ไปยังด้านที่มีความเข้มข้นของโปรตอนต่ำ ผ่านทางโปรตีนที่ทำหน้าที่เฉพาะ (ATP synthase) ทำให้เกิดการสังเคราะห์ ATP ขึ้น นอกจากนั้น การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรยังทำให้เกิดการสังเคราะห์ $NADPH + H^+$ ซึ่งเป็นสารสำคัญในการรีดิวซ์กรดอินทรีย์ให้เป็นน้ำตาลในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ รวมถึงเกิดแก๊สออกซิเจน (O_2) เป็นผลพลอยได้ (by product) จากการสลายตัวของน้ำ (ภาพที่ 2) (Heldt and Piechulla, 2011)

กระบวนการ ammonia assimilation

Hopkins and Huner (2009) และ Taiz and Zeiger (2006) กล่าวว่า ammonia assimilation เป็นกระบวนการที่พืชเปลี่ยนแอมโมเนียซึ่งเป็นสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจน ให้เป็นกรดอะมิโนซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน โดยสามารถพบแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) หรือแอมโมเนีย (NH_3) ได้ในพืชทุกชนิด ซึ่งพืชอาจได้มาจากกระบวนการ nitrogen fixation, photorespiration หรือจากดิน แต่พืชจะไม่สะสมแอมโมเนียหรือแอมโมเนียไอออนในเซลล์

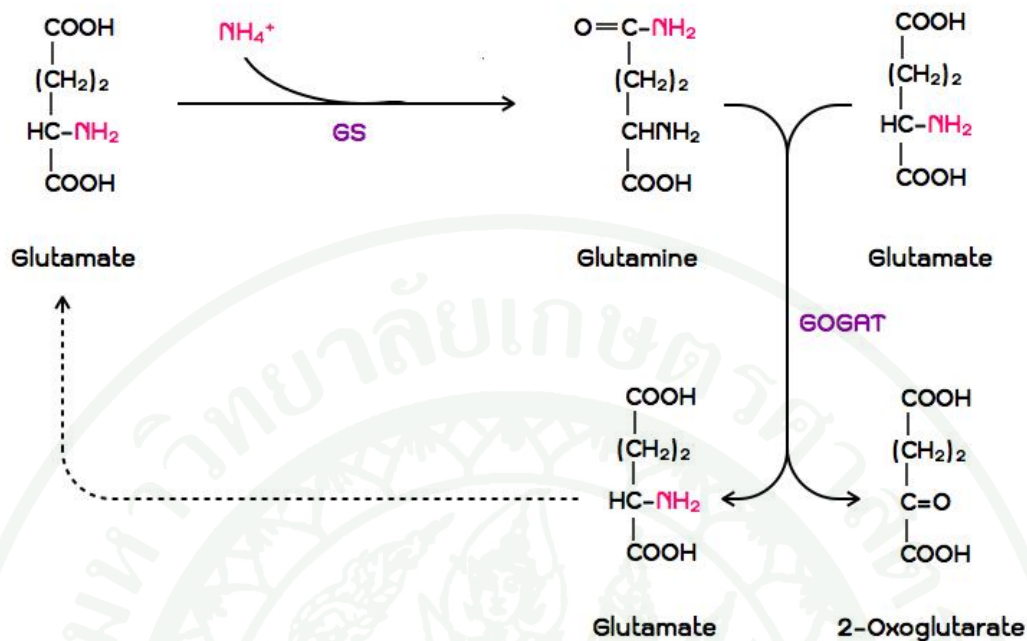


ภาพที่ 2 การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร

ที่มา: ดัดแปลงจาก Smith *et al.* (2010)

เนื่องจากแอมโมเนียมไอออนมีความสามารถในการยับยั้งการผลิตพลังงานของเซลล์ แม้ว่าเซลล์จะมีแอมโมเนียมไอออนในปริมาณน้อยก็สามารถยับยั้งการผลิต ATP จากกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนทั้งในไมโทคอนเดรียและในคลอโรพลาสต์ได้ และการสะสมแอมโมเนียที่มากเกินไปยังส่งผลให้พืชแสดงอาการผิดปกติหรือตายได้ ดังนั้นพืชจึงไม่สะสมแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมไอออนโดยพืชส่วนใหญ่หลีกเลี่ยงปัญหานี้ โดยการเปลี่ยนแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมไอออนให้กลายเป็นกรดอะมิโน ซึ่งมี 2 กลไก คือ

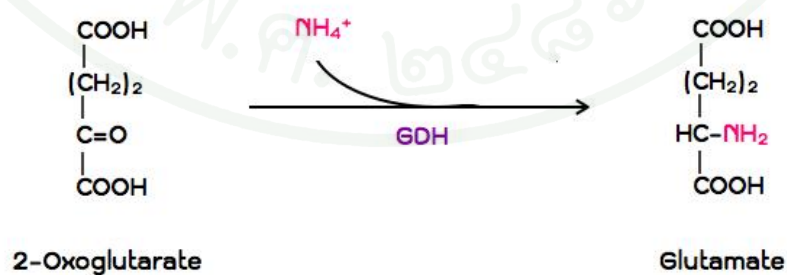
1. อาศัยการทำงานของเอนไซม์ glutamine synthetase (GS) ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์กลูตามีน (glutamine) จากการทำปฏิกิริยากันระหว่างแอมโมเนียและกลูตาเมต (glutamate) ซึ่งปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ต้องการพลังงานจาก ATP และกลูตามีนที่ได้จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับ 2-oxoglutarate โดยเอนไซม์ glutamate synthase (GOGAT) ได้กลูตาเมต 2 โมเลกุล ซึ่งพืชสามารถใช้กลูตามีนและกลูตาเมตที่ได้จากปฏิกิริยาดังกล่าวในการสังเคราะห์กรดอะมิโนชนิดอื่นต่อไป (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 กระบวนการ ammonia assimilation โดยเอนไซม์ GS/GOGAT

ที่มา: ดัดแปลงจาก Masclaux-Daubresse *et al.* (2006)

1. อาศัยการทำงานของเอนไซม์ glutamate dehydrogenase (GDH) ซึ่งพบในคลอโรพลาสต์ และไมโทคอนเดรีย โดยเร่งปฏิกิริยาการรวมกันระหว่างแอมโมเนียกับ 2-oxoglutarate โดยมี NADH หรือ NADPH เป็นสารให้อิเล็กตรอน (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 กระบวนการ ammonia assimilation โดยเอนไซม์ GDH

ที่มา: ดัดแปลงจาก Taiz and Zeiger (2006)

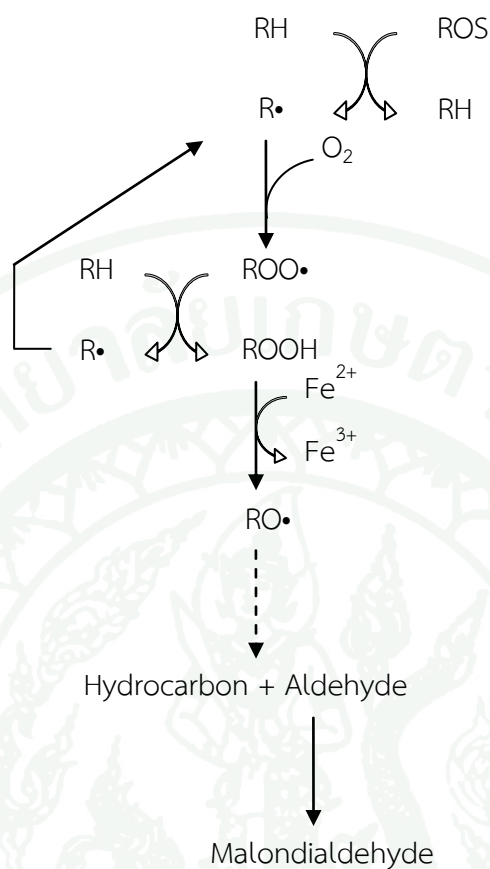
Lipid peroxidation

Lipid peroxidation เป็นกระบวนการที่ไขมัน (lipid) ถูกทำลายเมื่อเกิด oxidative stress ซึ่งเป็นความเครียดที่เกิดจากโมเลกุลของ reactive oxygen species (ROS) ได้แก่ superoxide anion radical ($O_2^{\cdot-}$), hydrogen peroxide (H_2O_2), hydroxyl radical ($\cdot OH$) และ singlet oxygen (1O_2) เป็นต้น (ภาพที่ 5) โดยโมเลกุลเหล่านี้จะไปออกซิไดซ์ polyunsaturated fatty acids ในเซลล์ เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์ (Inze and Montagu, 2002) กระบวนการเกิด lipid peroxidation ในพืชประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1. Initiation เป็นกระบวนการที่ ROS เช่น hydroxyl radical ($\cdot OH$) ไปออกซิไดซ์ polyunsaturated fatty acids โดยทำปฏิกิริยากับหมู่ methylene ($-CH_2-$) เกิดเป็น lipid radical ($R\cdot$) กับน้ำ

2. Propagation เกิดขึ้นเนื่องจาก lipid radical ($R\cdot$) ซึ่งเกิดจากกระบวนการ initiation เป็นสารที่ไม่เสถียร ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็น peroxy radical ($ROO\cdot$) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับ polyunsaturated fatty acids ตัวต่อไปได้เป็น lipid hydro-peroxide ($ROOH$) และ lipid radical ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนตัวอื่น ทำให้เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่อง

3. Termination เป็นขั้นตอนที่จะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของการเกิดอนุมูลอิสระดังกล่าว โดยการทำให้เกิดเป็น non-radical species (Watanabe *et al.*, 2000) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปจนกระทั่งได้เป็น hydrocarbon และ aldehydes ซึ่ง aldehydes ที่สำคัญ ได้แก่ malondialdehyde (MDA) (Hodge *et al.* 1999)



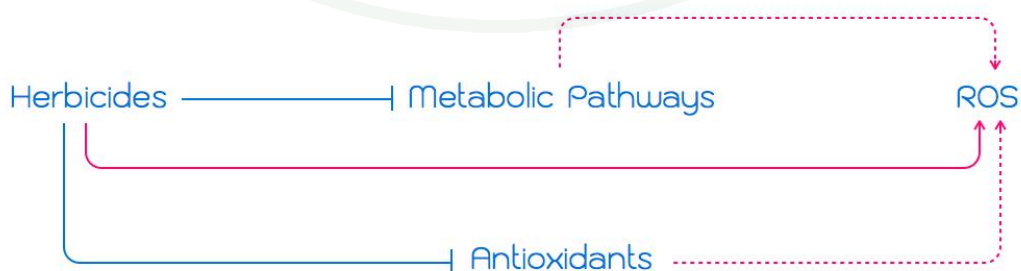
ภาพที่ 5 กลไกการเกิด lipid peroxidation ในพืช

ที่มา: ดัดแปลงจาก Halliwell and Gutteridge (1999)

ความสัมพันธ์ระหว่างการยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมและการเกิด ROS

โดยทั่วไปแล้ว สารที่มีความสามารถในการยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาพืช มักก่อให้เกิด reactive oxygen species (ROS) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิด lipid peroxidation ขึ้น (ภาพที่ 6) โดยสารอาจมีผลต่อการเกิด ROS โดยตรง เช่น Hess (2000) รายงานว่า สารกลุ่มไบไพริดีเลียม ได้แก่ พาราควอต ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง ที่ระบบแสง 1 สามารถทำให้เกิด ROS ขึ้นได้ โดยพาราควอตจะแย่งรับอิเล็กตรอนกับ $NADP^+$ จากเฟอร์รีดอกซิน (ferredoxin) เกิดเป็นอนุมูลพาราควอต ซึ่งอนุมูลพาราควอตจะมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูง และสามารถออกซิไดซ์ O_2 เป็น superoxide anion radical ($O_2\cdot^-$) ได้ หรือสารอาจมีผลต่อการเกิด ROS ทางอ้อม โดยสารอาจมีผลโดยตรงในการยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยา ซึ่งการ

ยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาดังกล่าวจะทำให้เกิด ROS ขึ้น เช่น Hess (2000) รายงานว่า เมื่อสารกลุ่มไดเฟนิลอีเธอร์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรโทพอร์ไฟรินเจน ไนน์ ออกซิเดส ในคลอโรพลาสต์ จะมีผลทำให้มีการเคลื่อนย้ายโปรโทพอร์ไฟรินเจน ไนน์ ที่สะสมในคลอโรพลาสต์ออกสู่ไซโตพลาสซึม ซึ่งเอนไซม์โปรโทพอร์ไฟรินเจน ไนน์ ออกซิเดส ในไซโตพลาสซึม จะทำให้เกิดออกซิเดชัน (auto-oxidation) ของโปรโทพอร์ไฟรินเจน ไนน์ เป็นโปรโทพอร์ไฟริน ไนน์ และทำให้เกิดการสะสมโปรโทพอร์ไฟริน ไนน์ ในไซโตพลาสซึม สุดท้ายจะทำให้เกิด ROS ขึ้น โดยเมื่อโปรโทพอร์ไฟริน ไนน์ ได้รับแสงในสภาพที่มี O_2 จะทำให้ O_2 เปลี่ยนเป็น 1O_2 (singlet oxygen) นอกจากนี้ สารกลุ่มทริเอซิน และกลุ่มฟีนิลยูเรีย ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ระบบแสง 2 เป็นสารที่สามารถจับกับ binding site ของโปรตีน D_1 (D_1 protein) แทนพลาสโตควิโนน (plastoquinone) ทำให้พืชไม่สามารถเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจากโปรตีน D_1 ไปยังพลาสโตควิโนนได้ สุดท้าย O_2 จะมารับอิเล็กตรอนในสภาวะกระตุ้น (excited electron) จากคลอโรฟิลล์ในสภาวะกระตุ้น (excited chlorophyll) ในรูปของ triplet chlorophyll ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการยับยั้งการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน เกิดเป็น 1O_2 ขึ้น หรือเมื่อสารกลุ่มโพซิเทียยับยั้งกระบวนการ ammonia assimilation โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์กลูตามีนซินเทเทส ทำให้ปริมาณแอมโมเนียมไอออนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแอมโมเนียมไอออนที่เพิ่มมากขึ้นจะมีผลในการยับยั้ง light reaction ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และทำให้เกิด lipid peroxidation ขึ้น รวมถึงสารอาจมีผลในการยับยั้งการสังเคราะห์สาร anitioxidant ซึ่งเมื่อปริมาณสาร anitioxidant ลดลง ทำให้เซลล์สูญเสียกลไกการควบคุมปริมาณ ROS ที่เกิดขึ้น เช่น เมื่อพืชได้รับสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไฟโทอิน ดีแซททูเรส (phytoene desaturase) จะทำให้ใบพืชเปลี่ยนเป็นสีขาว เนื่องจากพืชขาดแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็น anitioxidant ที่สำคัญในการควบคุมการเกิด ROS ดังนั้นเมื่อพืชขาดแคโรทีนอยด์ จึงทำให้พืชสูญเสียกลไกการควบคุม ROS ที่เกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ จึงทำให้ใบพืชเปลี่ยนเป็นสีขาวเนื่องจากการเกิด photooxidation ของคลอโรฟิลล์



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเกิด ROS

การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (Mitosis)

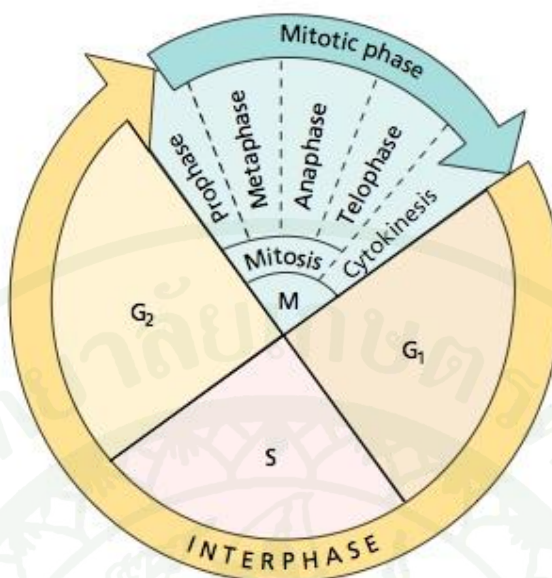
จากรายงานของดาวรุ่ง และคณะ (2546) ลัดดา (2547) Meijer and Murray (2001) และ Dewitte and Murray (2003) การแบ่งเซลล์ (cell division) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ใช้จำแนกสิ่งมีชีวิตออกจากสิ่งที่ไม่มีชีวิต โดยในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว (unicellular organism) การแบ่งเซลล์ถือเป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ รวมถึงเป็นกระบวนการที่สำคัญในการเจริญเติบโต การซ่อมแซมและทดแทนเซลล์เดิมที่ตายไปของสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ (multicellular organism)

ไมโทซิส จัดเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรเซลล์ โดยวัฏจักรเซลล์ (cell cycle) หมายถึง วงชีวิตของเซลล์ เริ่มตั้งแต่การแบ่งเซลล์จากเซลล์เพียงเซลล์เดียว จนแบ่งได้เซลล์สองเซลล์ที่สมบูรณ์ โดยกลไกการควบคุมวัฏจักรเซลล์ที่สำคัญประการหนึ่งของพืช คือ การอาศัยการทำงานของเอนไซม์ cyclin-dependent kinase (CDKs)

วัฏจักรเซลล์ประกอบด้วยเซลล์ในระยะต่างๆ ได้แก่ อินเตอร์เฟส (interphase) เป็นระยะที่เซลล์มีการเติบโต และมีการจำลองโครโมโซมสำหรับการแบ่งเซลล์ โดยพบว่าเซลล์ใช้เวลาในระยะนี้ประมาณ 90 % ของวัฏจักรเซลล์ ซึ่งสามารถแบ่งระยะนี้ออกเป็นระยะย่อยได้อีก 3 ระยะ คือ G₁ phase, S phase และ G₂ phase สำหรับอีกระยะของการแบ่งเซลล์ คือ ระยะไมโทซิส (mitotic phase) เป็นระยะที่เซลล์มีการแบ่งนิวเคลียส (karyokinesis) จนถึงแบ่งไซโทพลาสซึม (cytokinesis) ออกจากกัน สามารถแบ่งออกเป็น ระยะย่อยได้ 4 ระยะ คือ โปรเฟส (prophase) เมทาเฟส (metaphase) แอนาเฟส (anaphase) และ เทโลเฟส (telophase) (ภาพที่ 6)

ระยะอินเตอร์เฟส (Interphase)

เป็นระยะที่เชื่อมต่อการแบ่งเซลล์แต่ละครั้ง เมื่อย้อมสีเซลล์จะเห็นนิวเคลียสขนาดใหญ่ ลักษณะโครโมโซมเป็นเหมือนร่างแหเส้นเล็กๆ (chromatin network) ไม่สามารถจำแนกลักษณะและจำนวนโครโมโซม (chromosome) ได้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะย่อย (ภาพที่ 7) (ดาวรุ่ง และคณะ, 2546; ลัดดา, 2547; Meijer and Murray, 2001; Dewitte and Murray, 2003) ดังนี้



ภาพที่ 7 วัฏจักรเซลล์

ที่มา: Hopkins and Huner (2009)

1. ระยะ G_1 เป็นระยะตั้งแต่เสร็จสิ้นการแบ่งเซลล์จนกระทั่งเข้าสู่ระยะ S โดยระยะเวลาที่ใช้ในระยะ G_1 แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของสิ่งมีชีวิต และชนิดของเซลล์ เป็นระยะที่เซลล์มีการสังเคราะห์ RNA และโปรตีนที่จำเป็นสำหรับการจำลอง DNA โดยมีเอนไซม์ CDK-a และโปรตีน cyclin-d เป็นกลไกสำคัญในการควบคุมให้เซลล์เข้าสู่ระยะ S ในกรณีที่เซลล์หยุดการแบ่งตัว เซลล์ส่วนใหญ่จะหยุดอยู่ในระยะนี้ และเรียกระยะของเซลล์ที่หลุดออกจากวัฏจักรเซลล์นี้ว่า ระยะ G_0

2. ระยะ S เป็นระยะตั้งแต่เซลล์เริ่มมีการจำลอง DNA จนเสร็จสิ้น โดยแต่ละโครมาทิด (chromatid) ของแต่ละ chromosome จะยึดติดกันตรงส่วนของเซนโทรเมียร์ (centromere)

3. ระยะ G_2 ระยะนี้เซลล์มี DNA เป็น 2 เท่า นับตั้งแต่เสร็จสิ้นการจำลอง DNA จนถึงเริ่มต้นการแบ่งเซลล์ ระยะนี้เซลล์มีการสังเคราะห์ RNA และโปรตีนที่จำเป็นในการแบ่งเซลล์ มีการสังเคราะห์โปรตีนฮิสโตน และการจำลองไคนีโทคอร์ (kinetochore) โดยในระยะนี้พบว่าการทำงานของเอนไซม์ CDK-b และโปรตีน cyclin-b เป็นกลไกสำคัญในการควบคุมให้เซลล์เข้าสู่ระยะไมโทซิสต่อไป

ระยะไมโทซิส (Mitotic phase)

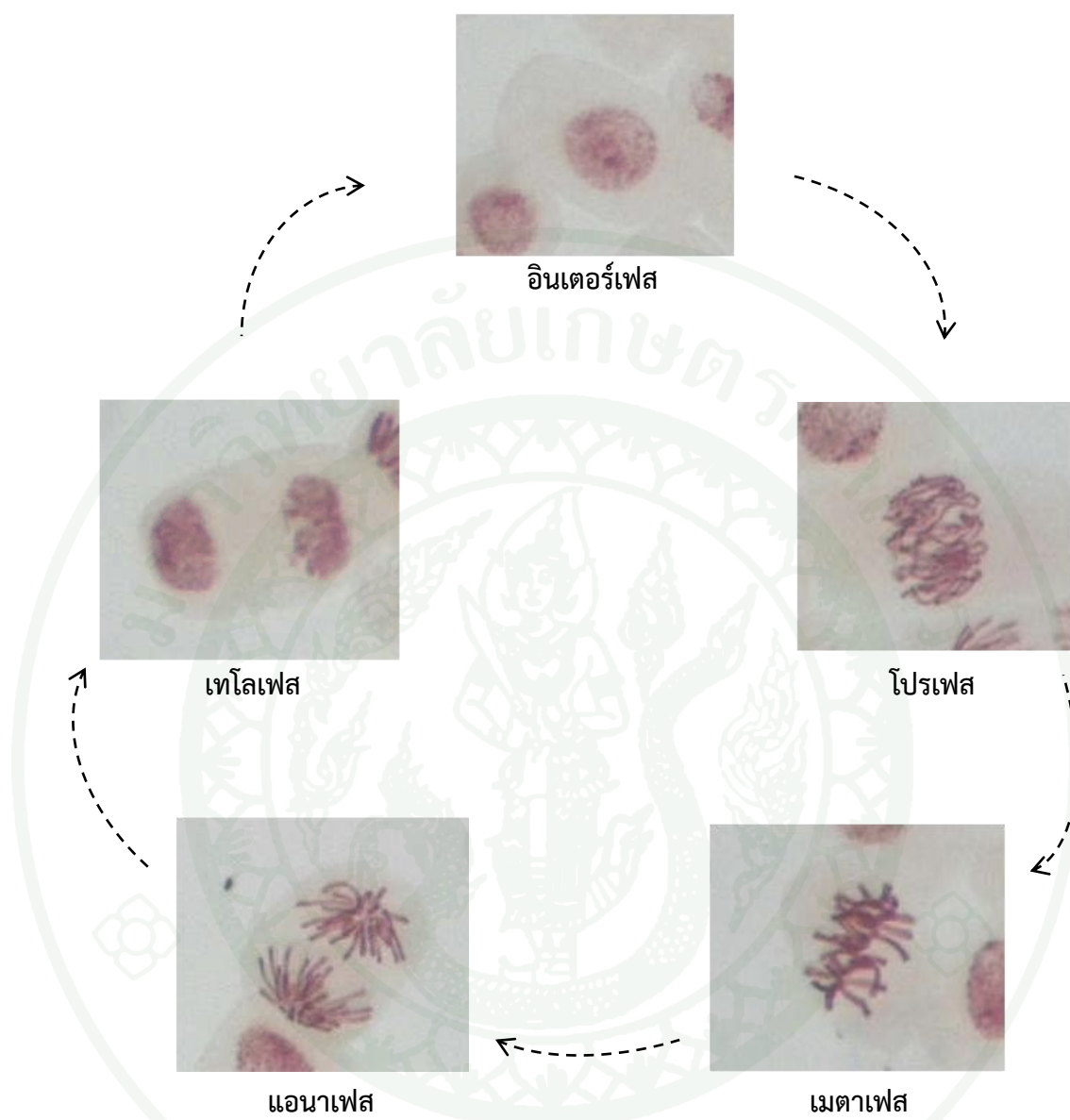
เป็นระยะที่โครโมโซมมีการเปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอนก่อนแบ่งออกจากกันประกอบด้วย 4 ระยะย่อย (ภาพที่ 8) (ดาวรุ่ง และคณะ, 2546; ลัดดา, 2547) ได้แก่

1. โปรเฟส (prophase) เป็นระยะแรกของการแบ่งเซลล์ โครโมโซมจะหดพันตัว ทำให้สั้นลง และหนาขึ้น จึงติดสีชัดเจนเห็นเป็นเส้น และมองเห็นนิวคลีโอลัส (nucleolus) เริ่มจางลง รวมทั้งมีการสลายของเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane, nuclear envelop) เนื่องจากการเกิดฟอสโฟริเลชัน (phosphorylation) ที่โปรตีนลามินส์ ทำให้นิวเคลียร์ลามินา (nuclear lamina) แตกหักหลุดออกจากเยื่อหุ้มนิวเคลียส ทำให้เยื่อหุ้มนิวเคลียสไม่เสถียร หลุดขาดออกมาเป็นกระเปาะเล็ก

2. เมทาเฟส (metaphase) เป็นระยะที่โครโมโซมหดตัวสั้นที่สุด ระยะนี้โครโมโซมเรียงตัวอยู่กลางเซลล์ โดยหลังจากที่เยื่อหุ้มนิวเคลียสสลายในระยะโปรเฟส เส้นใยสปินเดิล (spindle fiber) จะเข้าจับที่ไคเนโทคอร์ของแต่ละโครโมโซม

3. แอแนเฟส (anaphase) เป็นระยะที่เซนโทรเมียร์ของแต่ละโครโมโซมสังเคราะห์ตัวเองเสร็จสมบูรณ์และแยกออกจากกันเป็น 2 เซนโทรเมียร์ ทำให้ซิสเตอร์โครมาทิดของแต่ละโครโมโซมแยกจากกันไปยังแต่ละขั้วของเซลล์ เกี่ยวข้องกับ 2 กลไกสำคัญ คือ แอแนเฟส เอ (anaphase A) เป็นการลดความยาวของเส้นใยสปินเดิลระหว่างไคเนโทคอร์กับขั้ว และแอแนเฟส บี (anaphase B) เป็นการแยกขั้วทั้งสองให้ห่างกันมากขึ้น ในเซลล์บางชนิด แอแนเฟส เอ และแอแนเฟส บี เกิดขึ้นพร้อมกัน แต่ในเซลล์บางชนิดเกิดแอแนเฟส เอ ก่อนแล้วจึงตามด้วยแอแนเฟส บี ระยะนี้สามารถเห็นเซนโทรเมียร์ได้ชัดเจน หากดูจากรูปร่างโครโมโซม โครโมโซมชนิดเมทาเซนทริก (metacentric) จะเห็นเป็นรูปตัววี ชนิดซับเมทาเซนทริก (submetacentric) จะเห็นเป็นรูปตัวเจ และชนิดทีโลเซนทริก (telocentric) จะเห็นเป็นรูปตัวไอ โครโมโซม 2 กลุ่มที่แยกไปยังขั้วของเซลล์ จะมีรูปร่างเหมือนกัน จำนวนเท่ากัน และจำนวนเท่ากับโครโมโซมของเซลล์เริ่มต้น ระยะนี้มักใช้เวลาสั้นที่สุดเมื่อเทียบกับระยะอื่นๆ

4. เทโลเฟส (telophase) เป็นระยะสุดท้ายของการแบ่งเซลล์ ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ตรงข้ามกับโปรเฟส ระยะนี้โครโมโซมถูกดึงไปที่ขั้วมากขึ้น โครโมโซมเริ่มมีการคลายเกลียวเป็นเส้นใยโครมาติน และเริ่มมีเยื่อหุ้มนิวเคลียสล้อมโครมาติน รวมทั้งมีการสร้างนิวคลีโอลัสขึ้น



ภาพที่ 8 การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสที่ปลายรากหอมแดง (*Allium ascalonicum* L.)

การแบ่งไซโตพลาสซึม (Cytokinesis)

โดยทั่วไปเซลล์เริ่มต้นแบ่งไซโทพลาสซึมที่ปลายระยะแอนาเฟส จนเสร็จสิ้นในระยะเทโลเฟส โดยการสร้างโครงสร้างเป็นแผ่นกั้นกลาง เกิดจากไมโครทิวบูล (microtubule) ที่บริเวณกลางเซลล์ เรียกว่า แฟรคโมพลาสต์ (phragmoplast) ร่วมกับถุงเล็ก (vesicle) ของ ER (endoplasmic reticulum) และ dictyosome ต่อมาเมื่อไมโครทิวบูล ไมโครฟิลาเมนต์ (microfilament) และถุงเล็ก

ที่มีสารที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พวกเซลลูโลส (cellulose) และเพกติน (pectin) รวมกันมากขึ้นจนจดขอบเซลล์ทั้งสอง จะเรียกโครงสร้างที่กั้นเซลล์ลูก (daughter cell) ว่าแผ่นกั้นเซลล์ (cell plate) หลังจากนั้น เมื่อมีการสะสมเพกตินที่แผ่นกั้นเซลล์มากขึ้น จะเรียกโครงสร้างนี้ว่ามิดเดิลลามেলা (middle lamella) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ให้ติดกัน และเมื่อมีการพอกของส่วนประกอบของผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary wall) ได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) จึงเรียกว่าผนังเซลล์ (cell wall) (दारुंग และคณะ, 2546; ลัดดา, 2547)

การควบคุมวัฏจักรเซลล์

สิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ มีช่วงเวลาของวัฏจักรเซลล์แตกต่างกันในเซลล์แต่ละชนิด นอกจากนี้ เซลล์ไม่ได้แบ่งตัวตลอดเวลา แสดงให้เห็นว่าวัฏจักรเซลล์ต้องมีกลไกควบคุม ซึ่งมีหลายประการ (ลัดดา, 2547) ได้แก่

1. จุดชะงักของวัฏจักรเซลล์ (cell cycle checkpoint) มีอยู่ 3 จุด คือ ระยะ G_1 ระยะ G_2 และระยะเมทาเฟส

ระยะ G_1 โดยทั่วไป เซลล์จะมีการหยุดชะงักที่ปลายระยะนี้ เรียกว่าจุดเรสตริกชัน (restriction point) ถ้าเซลล์ผ่านจุดนี้ เซลล์ก็จะเกิดการแบ่งตัว ซึ่งในเซลล์บางชนิด ต้องการปัจจัยบางอย่างมากระตุ้น เซลล์จึงจะเข้าสู่การแบ่งเซลล์

ระยะ G_2 เป็นจุดที่ควบคุมการเข้าสู่ระยะไมโทซิส เซลล์บางชนิดอาจมีการหยุดชะงักที่ระยะนี้ และหากเกิดความเสียหายของ DNA ก็อาจทำให้วัฏจักรเซลล์หยุดชะงักได้

ระยะเมทาเฟส เป็นจุดชะงักที่เกี่ยวข้องกับการจับโครโมโซมของเส้นใยสปินเดิล เพื่อเข้าสู่ระยะแอนาเฟส

2. สารยับยั้งการแบ่งเซลล์ จากรายงานของ Taylor (1965), Plachais *et al.* (2000), Takahashi *et al.* (2001), Meijer and Murray (2001), Oliva *et al.* (2002) และ Dewitte and Murray (2003) พบว่าความสามารถในการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของสาร อาจเกิดได้ในหลายตำแหน่งของวัฏจักรเซลล์ เช่น ยับยั้งการแบ่งเซลล์ก่อนเซลล์จะเข้าสู่ระยะไมโทซิส โดยสารอาจมีผลยับยั้งการแบ่งเซลล์ระหว่างระยะ G_1/S หรือ ระหว่างระยะ G_2/M โดยยับยั้งการทำงานของ

เอนไซม์ CDKs สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ กลุ่มสารอนุพันธ์ของเพียวรีน เช่น olomoucine, roscovitine และ bohimine เป็นต้น หรือสารอาจมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในการจำลองดีเอ็นเอในระยะ S เช่น mimosine, aphidicolin และ hydroxyurea เป็นต้น นอกจากนี้สารอาจมีฤทธิ์ยับยั้งการแบ่งเซลล์ในระยะไมโทซิส ซึ่งอาจมีผลยับยั้งการทำงานของโปรตีน tubulins ซึ่งเป็นโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใย spindle ทำหน้าที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของโครโมโซม สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ colchicine, propyzamide และ amiprosphos-methyl เป็นต้น



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ จำนวน 11 พันธุ์ ได้แก่
 - 1.1 ฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105
 - 1.2 ฟางข้าวพันธุ์กข 6
 - 1.3 ฟางข้าวพันธุ์กข 10
 - 1.4 ฟางข้าวพันธุ์กข 27
 - 1.5 ฟางข้าวพันธุ์กข 29
 - 1.6 ฟางข้าวพันธุ์กข 41
 - 1.7 ฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1
 - 1.8 ฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 2
 - 1.9 ฟางข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง
 - 1.10 ฟางข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1
 - 1.11 ฟางข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60
2. พืชทดสอบ ได้แก่
 - 2.1 ข้าว พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa* L. cv. 'KDML 105')
 - 2.2 ถั่วเขียว (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek)
 - 2.3 หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.)
 - 2.4 ไมยราบยักษ์ (*Mimosa pigra* L.)
3. สารเคมี ได้แก่
 - 3.1 สารเคมีสำหรับสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากฟางข้าว ได้แก่ น้ำกลั่น
 - 3.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง ได้แก่ dimethyl sulfoxide (DMSO)
 - 3.3 สารเคมีสำหรับศึกษาการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง ได้แก่ ซอร์บิทอล (sorbitol) แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) แมงกานีสคลอไรด์

(MnCl_2) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) อีดีทีเอ (EDTA) และเฮปส์บัฟเฟอร์ (HEPES buffer)

3.4 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ได้แก่ ไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) กรดซัลโฟซาลิไซลิก (sulfosalicylic acid) ฟีนอล (phenol) โซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (sodium nitroprusside) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite)

3.5 สารเคมีสำหรับศึกษาการเกิด lipid peroxidation โดยการวัดปริมาณ MDA ได้แก่ กรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid, TCA) กรดไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid, TBA)

3.6 สารเคมีสำหรับการศึกษาการแบ่งเซลล์ ได้แก่ น้ำยาคงสภาพ (fixative solution) เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) อะซิโต-ออร์ซีน (aceto-orcein)

4. อุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ไมโครปิเปตต์ (micropipette) ตู้อบ (hot air oven) เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (oxygen monitor) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) โกร่งบด เครื่องซังไฟฟ้าอย่างละเอียด เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) และเครื่องแก้วต่างๆ

วิธีการ

1. การทดสอบเบื้องต้นของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการงอก และความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์

ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์กข 6 พันธุ์กข 10 พันธุ์กข 27 พันธุ์กข 29 พันธุ์กข 41 พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ชัยนาท 2 พันธุ์เหนียวสันป่าตอง พันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design; CRD) มีสิ่งทดลอง (treatment) คือสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่สกัดด้วยน้ำกลั่นโดยการต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม) ทำการทดลองสิ่งทดลองละ 10 ซ้ำ (replications) ซ้ำละ 1 หลอดทดลอง โดยเฉพาะเมล็ดไมยราบยักษ์บนวันที่มีสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ความเข้มข้น 0 และ 5 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นับจำนวนเมล็ดไมยราบยักษ์ที่มีรากแรกเกิด (radicle) ยาว

มากกว่า 2 มิลลิเมตร (จวงจันทร, 2529) วัดความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์หลังเพาะเมล็ดเป็นเวลา 5 วัน

นำค่าเปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

2. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์

ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1) ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มีสิ่งทดลอง คือ สารสกัดจากฟางข้าวความเข้มข้น 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ที่สกัดด้วยน้ำกลั่นโดยการต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม) ทำการทดลองสิ่งทดลองละ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 หลอดทดลอง โดยเพาะเมล็ดไมยราบยักษ์บนวุ้นที่มีสารสกัดจากฟางข้าวความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง นับจำนวนเมล็ดไมยราบยักษ์ที่มีรากแรกเกิดยาวมากกว่า 2 มิลลิเมตร (จวงจันทร, 2529) วัดความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์หลังเพาะเมล็ดเป็นเวลา 5 วัน

นำค่าเปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

3. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียว

ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1) ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียว โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มีสิ่งทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 ทำการทดลองสิ่งทดลองละ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 หลอดทดลอง โดยเพาะเมล็ด

ถั่วเขียวบนวันที่มีสารสกัดจากฟางข้าวความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง นับจำนวนถั่วเขียวที่มีรากแรกเกิดยาวมากกว่า 2 มิลลิเมตร (จวงจันท์, 2529) วัดความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียวหลังเพาะเมล็ดเป็นเวลา 5 วัน

นำค่าเปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียวที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

4. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนก

ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1) ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนก โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มีสิ่งทดลอง (treatment) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 ทำการทดลองสิ่งทดลองละ 10 ซ้ำ (replications) ซ้ำละ 1 หลอดทดลอง โดยเพาะเมล็ดหญ้าข้าวนกบนวันที่มีสารสกัดจากฟางข้าวความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง นับจำนวนหญ้าข้าวนกที่มีรากแรกเกิด (radicle) ยาวมากกว่า 2 มิลลิเมตร (จวงจันท์, 2529) วัดความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนกหลังเพาะเมล็ดเป็นเวลา 5 วัน

นำค่าเปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนกที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

5. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1) ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มีสิ่งทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 ทำการทดลองสิ่งทดลองละ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 หลอดทดลอง โดยเพาะเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บนวันที่มีสารสกัดจากฟางข้าวความเข้มข้นต่างๆ ที่

อุณหภูมิห้อง แล้วนับจำนวนข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีรากแรกเกิด ยาวมากกว่า 2 มิลลิเมตร (จวงจันทร, 2529) วัดความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หลังเพาะเมล็ดเป็นเวลา 5 วัน

นำค่าเปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

6. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง

ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวต่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง ในพืชที่ไวต่อสารสกัด และพืชที่ทนทานต่อสารสกัด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มีสิ่งทดลอง คือ สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1) มีสิ่งทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 ทำการทดลองสิ่งทดลองละ 5 ซ้ำ โดยเพาะเมล็ดพืชทดสอบบนวันที่มีสารสกัดจากฟางข้าวที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของใบพืชทดสอบหลังจากเพาะเป็นเวลา 5 วัน

ทำการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยชั่งใบพืชหนัก 0.5 กรัม ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ สกัดด้วย DMSO ปริมาตร 10 มิลลิลิตรในที่มีดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 664, 648 และ 470 นาโนเมตร (ดัดแปลงจากวิธีการของ Hiscox and Israelstam, 1978) คำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์จากสูตร (Chappelle and Kim, 1992)

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัม/กรัม)} = (12.25 A_{664} - 2.79 A_{648})(V/1000W)$$

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (มิลลิกรัม/กรัม)} = (22.9 A_{648} - 4.68 A_{664})(V/1000W)$$

$$\text{ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัม)} = \frac{(1000A_{470} - 1.82\text{Chl a} - 85.02\text{Chl b})(V/1000W)}{189}$$

โดย A_{664} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร
 A_{648} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 648 นาโนเมตร
 A_{470} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร
 V = ปริมาตรของ DMSO ที่ใช้สกัด หรือปริมาตรสุดท้ายที่ปรับปริมาตร (มิลลิลิตร)
 W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)

นำค่าปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชทดสอบที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

7. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง

ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวต่อกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มีสิ่งทดลอง คือ สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1) ความเข้มข้น 0, 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สกัดด้วยน้ำกลั่นโดยการต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม) สิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ

ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยใส่ leaf disks ของใบ spinach (*Spinacia oleracea* L.) ที่เจาะด้วยด้วย cork borer (เส้นผ่านศูนย์กลาง leaf disk ยาว 2 มิลลิเมตร) จำนวน 30 ชิ้น และ reaction medium pH 7.2 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วยซอร์บิทอล ความเข้มข้น 0.33 โมลาร์ (0.33 M sorbitol) แมกนีเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ (1.0 mM $MgCl_2$) แมงกานีสคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ (1.0 mM $MnCl_2$) อีดีทีเอ ความเข้มข้น 2.0 มิลลิโมลาร์ (2.0 mM EDTA) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ความเข้มข้น 20.0 มิลลิโมลาร์ (20.0 mM $NaHCO_3$) และเฮปส์บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 50.0 มิลลิโมลาร์ (50 mM HEPES buffer) ในหลอดปฏิกิริยา วัดปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (oxygen monitor) (Matsumoto *et al.*, 1991)

นำค่าปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้นที่จากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

8. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อกระบวนการ ammonia assimilation

ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวต่อกระบวนการ ammonia assimilation ในพืชที่ไวต่อสารสกัด และพืชที่ทนทานต่อสารสกัด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มีสิ่งทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 6 สิ่งทดลองละ 5 ซ้ำ โดยเฉพาะเมล็ดพืชทดสอบบนวุ้นที่มีสารสกัดจากฟางข้าวที่อุณหภูมิห้อง แล้ววิเคราะห์การเกิด ammonia assimilation ของพืชทดสอบหลังจากเพาะเป็นเวลา 5 วัน โดยแยกวิเคราะห์ในส่วนยอดและส่วนรากของพืช

ทำการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในตัวอย่างพืช โดยชั่งตัวอย่างพืชหนัก 2 กรัม บดตัวอย่างพืชด้วยไนโตรเจนเหลว เติมกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 6 มิลลิลิตร และกรดซัลโฟซาลิไซลิก 0.18 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที (rpm) นาน 15 นาที นำสารละลายใสส่วนบน (supernatant) ปริมาตร 20 ไมโครลิตร เติมสารละลาย A (ฟีนอล 1 กรัม และโซเดียมไนโตรพลัสไซด์ 5 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลาย B (โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 กรัม และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 0.84 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร และนำไปหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน ซึ่งใช้สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ เป็นสารละลายมาตรฐาน (Weatherburn, 1967) แล้วคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียในตัวอย่างพืช จากสูตร

$$\text{ปริมาณแอมโมเนียในตัวอย่างพืช (พีพีเอ็ม)} = \frac{C \times V_f \times V_e}{W \times V_a}$$

โดย C = ความเข้มข้นแอมโมเนียจากกราฟมาตรฐาน (พีพีเอ็ม)

V_f = ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร)

V_e = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการสกัด (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)

V_a = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ใช้ในการวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์การเกิด ammonia assimilation ของพืชทดสอบไปวิเคราะห์ทางสถิติ

9. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวความเข้มข้นต่างๆ พันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการเกิด lipid peroxidation

ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวต่อการเกิด lipid peroxidation ในพืชที่ไวต่อสารสกัด และพืชที่ทนทานต่อสารสกัด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มีสิ่งทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 6 สิ่งทดลองละ 5 ซ้ำ โดยเฉพาะเมล็ดพืชทดสอบบนวันที่มีสารสกัดจากฟางข้าวที่อุณหภูมิห้อง แล้ววิเคราะห์การเกิด lipid peroxidation ของพืชทดสอบหลังจากเพาะเป็นเวลา 5 วัน โดยแยกวิเคราะห์ในส่วนยอดและส่วนรากของพืช

ทำการทดสอบการเกิด lipid peroxidation โดยวัดปริมาณ MDA (malondialdehyde) ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดการเกิด lipid peroxidation โดยดัดแปลงจากวิธีของ Velikova *et al.* (2000) โดยใช้ตัวอย่างพืชหนัก 0.5 กรัม บดให้ละเอียดด้วยโกร่งบด เติมสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 10 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็ว 10,000 xg เป็นเวลา 20 นาที นำสารละลายส่วนบน (supernatant) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาเติมสารละลายกรดไทโอบาร์บิทริก ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปแช่ในน้ำอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นนำออกมาแช่ในน้ำแข็งทันที 5 นาที (ถ้ามีตะกอน ให้นำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่ความเร็วรอบ 5,000 xg นาน 5 นาที) นำสารละลายส่วนบนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร นำไปคำนวณหาปริมาณ MDA จากสูตร

$$\text{ปริมาณ MDA } (\mu\text{mol/g FW.}) = \frac{(A_{532} - A_{600}) \times V_f \times V_e}{W \times V_a \times 155}$$

โดย A_{532} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

A_{600} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

V_f = ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร) W = น้ำหนักพืชทดสอบ (กรัม)

V_e = ปริมาตร TCA ที่ใช้ในการสกัด (มิลลิลิตร)

V_a = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ใช้ในการวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์การเกิด lipid peroxidation ของพืชทดสอบไปวิเคราะห์ทางสถิติ

10. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์พันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการออก ความ ยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการแบ่ง เซลล์แบบไมโทซิส

ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าว ต่อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสบริเวณปลายรากหอมแดง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มทดลอง มีสิ่งทดลอง คือ สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการออก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1) ความเข้มข้น 0.00, 2.50 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ที่สกัดด้วยน้ำกลั่นโดยการต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม) สิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยเพาะเมล็ดหอมแดงบนบนูนที่มีสารสกัดจากฟางข้าวที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 วัน ตัดปลายรากหอมแดงแช่น้ำยาคงสภาพ (fixative solution) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปลี่ยนน้ำยาเป็นเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ (70% ethyl alcohol) สุ่มปลายรากหอมแดงมาย้อมโครโมโซม โดยตัดเอาเฉพาะปลายรากสีขาวขุ่นยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร วางบนสไลด์ที่สะอาด หยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล (1 N HCl) ทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อละลายส่วนของผนังเซลล์ที่ติดกัน ทำให้เซลล์อ่อนนุ่ม ง่ายต่อการขยี้ให้เซลล์หลุดออกจากกัน ล้างกรดด้วยน้ำกลั่น ย้อมโครโมโซมด้วยสียอะซิโต-ออร์ซิน (aceto-orcein dye) ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วใช้เข็มเขี่ยยี่รากให้ละเอียดเพื่อให้เซลล์แยกออกจากกันให้มากที่สุด ใช้ด้ามเข็มเขี่ยเคาะบนกระจกปิดสไลด์ ในตำแหน่งที่มีเซลล์กระจุกตัวกันแน่น (คณาจารย์ภาควิชาพันธุศาสตร์, 2544)

นำปลายรากหอมแดงที่ย้อมโครโมโซมมาตรวจสอบระยะต่างๆ ของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และถ่ายภาพ โดยให้จำนวนเซลล์รวมในแต่ละรากมีจำนวนประมาณ 1000 – 1100 เซลล์ ทำการนับระยะต่างๆ ของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส คือ อินเตอร์เฟส โพรเฟส เมทาเฟส แอนาเฟส และเทโลเฟส และนำมาคำนวณค่า mitotic index จากสูตร

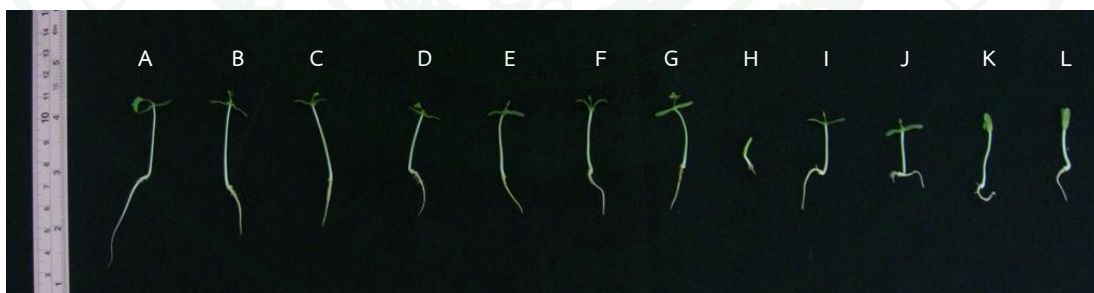
$$\text{Mitotic Index} = \frac{\text{จำนวนเซลล์ในระยะไมโทซิส}}{\text{จำนวนเซลล์ทั้งหมด}} \times 100 \quad (\text{Sanevas et al., 2006})$$

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การทดสอบเบื้องต้นของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์

จากการศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ พบว่าสารสกัดจากฟางข้าวทุกพันธุ์ที่ทำการศึกษานี้ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์กข 6 พันธุ์กข 10 พันธุ์กข 27 พันธุ์กข 29 พันธุ์กข 41 พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ชัยนาท 2 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์เหนียวสันป่าตอง และพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ไม่มีผลต่อการงอกของเมล็ดไมยราบยักษ์ แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่าสารสกัดมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าไมยราบยักษ์ โดยมีผลทำให้ความยาวยอดของต้นกล้าไมยราบยักษ์ที่ได้รับสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ มีค่าเท่ากับ 2.91, 3.73, 2.41, 2.87, 2.50, 2.23, 1.20, 2.48, 2.88, 1.98 และ 2.35 เซนติเมตรตามลำดับ และมีผลทำให้ความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ที่ได้รับสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ มีค่าเท่ากับ 2.23, 2.50, 2.07, 2.20, 1.96, 1.61, 0.83, 1.85, 2.07, 1.73, 1.57 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 9, ตารางที่ 1)



ภาพที่ 9 ต้นกล้าไมยราบยักษ์ที่ได้รับสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อความยาวยอด และความยาวรากของไมยราบยักษ์ โดย A คือชุดควบคุม B คือพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 C คือพันธุ์กข 6 D คือพันธุ์กข 10 E คือพันธุ์กข 27 F คือพันธุ์กข 29 G คือพันธุ์กข 41 H คือพันธุ์ชัยนาท 1 I คือพันธุ์ชัยนาท 2 J คือพันธุ์ปทุมธานี 1 K คือพันธุ์เหนียวสันป่าตอง และ L คือพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของ ต้นกล้าไมยราบยักษ์

สิ่งทดลอง	เปอร์เซ็นต์การงอก	ความยาวยอด (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)
ชุดควบคุม	100	3.33 ab ^{1/}	3.91 a
ขาวดอกมะลิ 105	100	2.91 abc	2.23 bc
กข 6	100	3.73 a	2.50 b
กข 10	100	2.41 cd	2.07 bc
กข 27	100	2.87 abcd	2.20 bc
กข 29	100	2.50 bcd	1.96 bc
กข 41	100	2.23 cd	1.61 c
ชัยนาท 1	100	1.20 e	0.83 d
ชัยนาท 2	100	2.48 bcd	1.85 bc
ปทุมธานี 1	100	2.88 abcd	2.07 bc
เหนียวสันป่าตอง	100	1.98 de	1.73 c
สุพรรณบุรี 60	100	2.35 cd	1.57 c
F-test	ns	**	**
CV (%)	0.00	40.7	45.6

1/ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

2. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการงอก และความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์

ผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด ได้แก่ สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1) ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ พบว่า สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลยับยั้งการงอกของเมล็ดไมยราบยักษ์ แต่มีผลในการยับยั้งความยาวยอดและความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ โดยมีผลทำให้ความยาวยอดของต้นกล้าไมยราบยักษ์ มีค่าเท่ากับ 3.13, 2.37, 1.25, 1.21 และ 0.87 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีผลทำให้ความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ มีค่าเท่ากับ 3.47, 2.17, 1.60, 1.39, และ 1.07 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 10, ตารางที่ 2) รวมถึงพบว่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ทำให้ความยาวต้นกล้า (ความยาวยอด + ความยาวราก) ของไมยราบยักษ์ลดลงครึ่งหนึ่ง มีค่าเท่ากับ 2.95 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 10 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์

ตารางที่ 2 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์

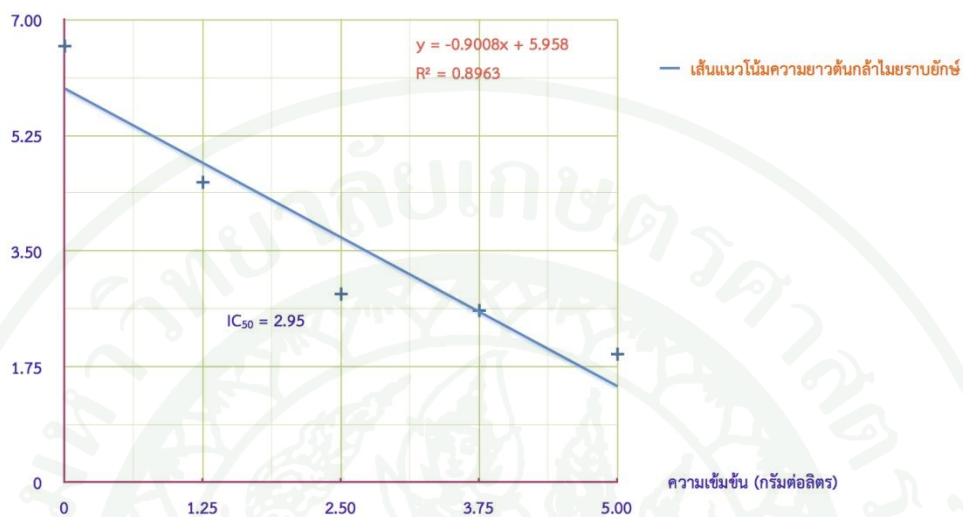
ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	เปอร์เซ็นต์การงอก	ความยาวยอด (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)
0.00	100	3.13 a ^{1/}	3.47 a
1.25	100	2.37 b	2.17 b
2.50	100	1.25 c	1.60 b
3.75	100	1.21 cd	1.39 c
5.00	100	0.87 d	1.07 c
F-test	ns	**	**
CV (%)	0.00	53.8	49.6

1/ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ความยาวต้นกล้า (เซนติเมตร)



ภาพที่ 11 ความเข้มข้นของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของกล้าไมยราบยักษ์ 50 เปอร์เซ็นต์

3. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียว

เมื่อนำสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งสามารถยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1) มาทดสอบการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียวพบว่า สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลยับยั้งการงอกของเมล็ดถั่วเขียว แต่มีผลในการยับยั้งความยาวยอดและความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียว โดยมีผลทำให้ความยาวยอดของต้นกล้าถั่วเขียว มีค่าเท่ากับ 12.03, 12.10, 10.64, 8.78 และ 7.59 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีผลทำให้ความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียว มีค่าเท่ากับ 4.21, 2.72, 2.73, 2.00, และ 1.83 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 12, ตารางที่ 3) รวมถึงพบว่าความเข้มข้นที่ทำให้ความยาวต้นกล้าของถั่วเขียวลดลงครึ่งหนึ่ง มีค่าเท่ากับ 5.91 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 12 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียว

ตารางที่ 3 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตรต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าถั่วเขียว

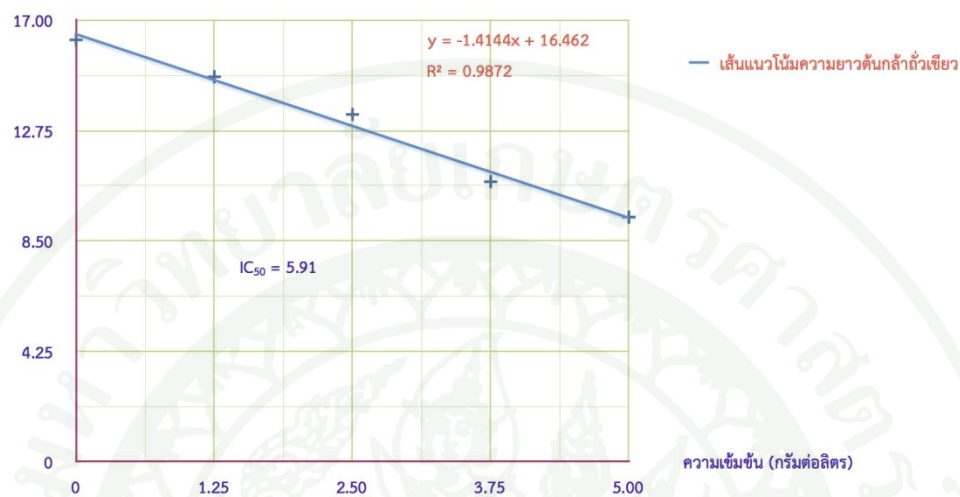
ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	เปอร์เซ็นต์การงอก	ความยาวยอด (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)
0.00	100	12.03 a ^{1/}	4.21 a
1.25	100	12.10 a	2.72 b
2.50	100	10.64 a	2.73 b
3.75	100	8.78 b	2.00 c
5.00	100	7.59 b	1.83 c
F-test	ns	**	**
CV (%)	0.00	24.4	40.9

1/ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

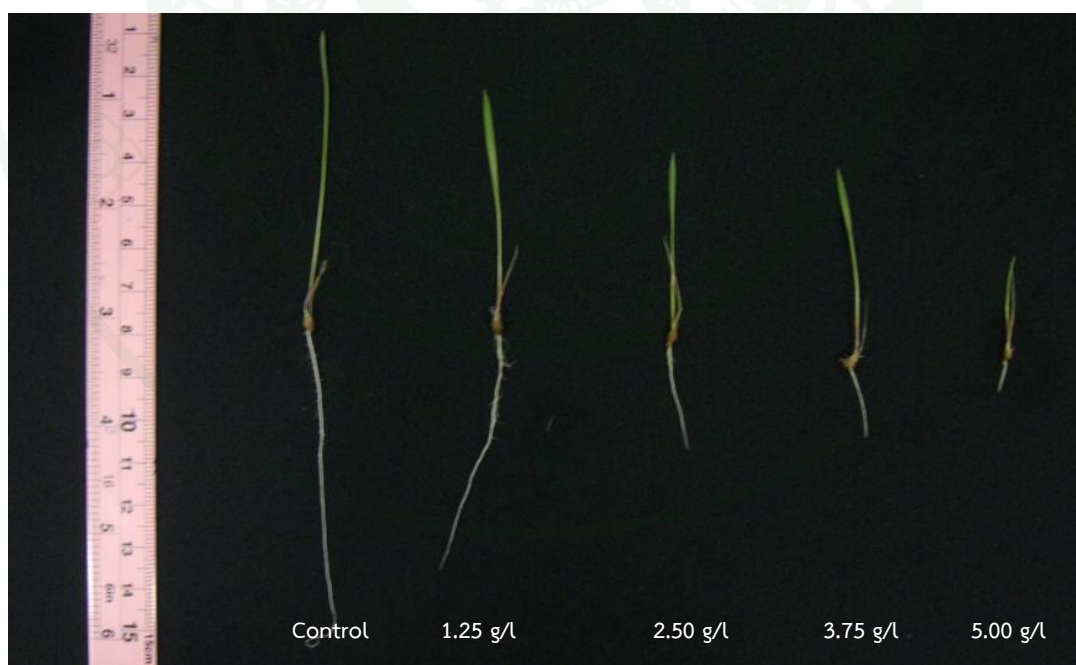
ความยาวต้นกล้า (เซนติเมตร)



ภาพที่ 13 ความเข้มข้นของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของกล้าถั่วเขียว 50 เปอร์เซ็นต์

4. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าววนก

ผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1) ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าววนกพบว่า สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลยับยั้งการงอกของเมล็ดหญ้าข้าววนก แต่มีผลในการยับยั้งความยาวยอดและความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าววนก โดยมีผลทำให้ความยาวยอดของต้นกล้าหญ้าข้าววนก มีค่าเท่ากับ 5.23, 4.90, 4.52, 3.88 และ 3.38 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีผลทำให้ความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าววนก มีค่าเท่ากับ 7.42, 4.23, 3.86, 1.99, และ 1.36 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 14, ตารางที่ 4) รวมถึงพบว่าความเข้มข้นที่ทำให้ความยาวต้นกล้าของหญ้าข้าววนกลดลงครึ่งหนึ่ง มีค่าเท่ากับ 3.69 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 14 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าววนก

ตารางที่ 4 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตรต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนก

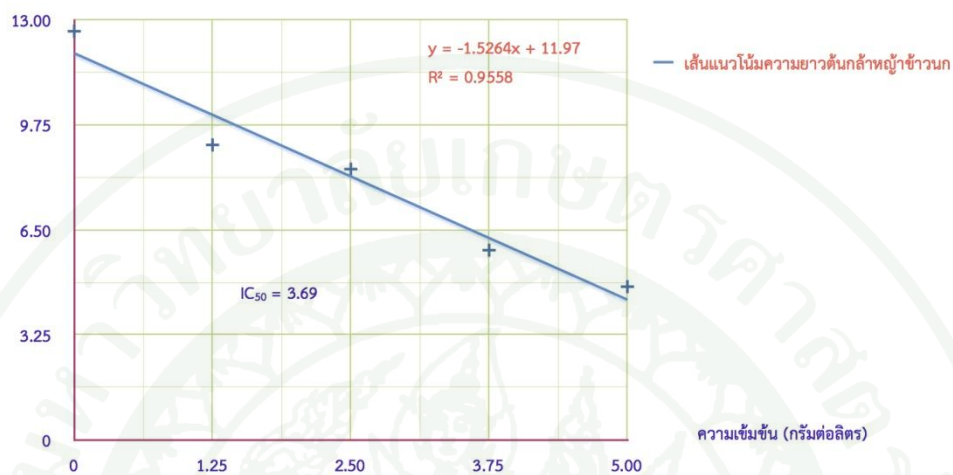
ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	เปอร์เซ็นต์การงอก	ความยาวยอด (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)
0.00	100	5.23 a ^{1/}	7.42 a
1.25	100	4.90 a	4.23 b
2.50	100	4.52 ab	3.86 b
3.75	100	3.88 bc	1.99 c
5.00	100	3.38 c	1.36 c
F-test	ns	**	**
CV (%)	0.00	25.3	62.9

1/ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ความยาวต้นกล้า (เซนติเมตร)



ภาพที่ 15 ความเข้มข้นของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของกล้าหญ้าข้าวนก 50 เปอร์เซ็นต์

5. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด ได้แก่ สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1) ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลยับยั้งการงอกของเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แต่มีผลในการยับยั้งความยาวยอดและความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยทำให้ความยาวยอดของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าเท่ากับ 5.70, 5.69, 4.74, 4.70 และ 3.91 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีผลทำให้ความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าเท่ากับ 5.52, 5.52, 3.42, 2.72, และ 2.23 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 16, ตารางที่ 5) รวมถึงพบว่าความเข้มข้นที่ทำให้ความยาวต้นกล้าของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ลดลงครึ่งหนึ่ง มีค่าเท่ากับ 5.37 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 16 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ตารางที่ 5 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตรต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

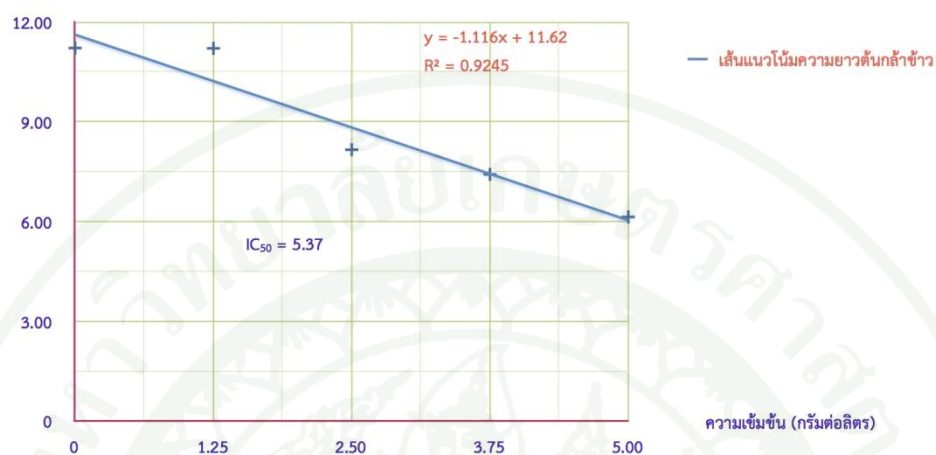
ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	เปอร์เซ็นต์การงอก	ความยาวยอด (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)
0.00	100	5.70 a ^{1/}	5.52 a
1.25	100	5.69 a	5.52 b
2.50	100	4.74 b	3.42 b
3.75	100	4.70 b	2.72 c
5.00	100	3.91 c	2.23 c
F-test	ns	**	**
CV (%)	0.00	20.8	43.5

1/ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ความยาวต้นกล้า (เซนติเมตร)



ภาพที่ 17 ความเข้มข้นของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 50 เปอร์เซ็นต์

6. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง

ผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงในพืชที่ไวต่อสารสกัด ได้แก่ ไมยราบยักษ์ (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5) พบว่า สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของไมยราบยักษ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของไมยราบยักษ์ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ มีค่าเท่ากับ 0.628, 0.633, 0.638, 0.615 และ 0.609 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี มีค่าเท่ากับ 0.296, 0.297, 0.298, 0.307 และ 0.311 มิลลิกรัมต่อกรัม และปริมาณแคโรทีนอยด์ มีค่าเท่ากับ 0.227, 0.245, 0.241, 0.229 และ 0.221 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 6)

จากผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงในพืชที่ทนทานต่อสารสกัด ได้แก่ ถั่วเขียว (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5) พบว่า สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของถั่วเขียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของถั่วเขียว ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ มีค่าเท่ากับ 1.259, 1.142, 1.119, 1.192 และ 1.094 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี มีค่าเท่ากับ 0.446, 0.402, 0.416, 0.426 และ 0.383 มิลลิกรัมต่อกรัม และปริมาณแคโรทีนอยด์ มีค่าเท่ากับ 0.436, 0.430, 0.411, 0.455 และ 0.408 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของไมยราบยักษ์

ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	คลอโรฟิลล์ บี (มิลลิกรัมต่อกรัม)	แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
0.00	0.628	0.296	0.227
1.25	0.633	0.297	0.245
2.50	0.638	0.298	0.241
3.75	0.615	0.307	0.229
5.00	0.609	0.311	0.221
F-test	ns	ns	ns
CV (%)	3.5	7.0	6.3

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 7 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของถั่วเขียว

ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	คลอโรฟิลล์ บี (มิลลิกรัมต่อกรัม)	แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
0.00	1.259	0.446	0.436
1.25	1.142	0.402	0.430
2.50	1.119	0.416	0.411
3.75	1.192	0.426	0.455
5.00	1.094	0.383	0.408
F-test	ns	ns	ns
CV (%)	8.3	9.1	7.5

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

7. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง

ผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง พบว่าสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0, 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง หลังทดสอบด้วยสารสกัดมีค่าเท่ากับ 100.00, 97.64 และ 94.28 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0, 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม)
0	100
25	97.64
50	94.28
F-test	ns
CV (%)	8.4

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

8. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อกระบวนการ ammonia assimilation

ผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อกระบวนการ ammonia assimilation ในพืชที่ไวต่อสารสกัด ได้แก่ ไมยราบยักษ์ (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5) พบว่า สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อกระบวนการ ammonia assimilation ของไมยราบยักษ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณแอมโมเนียมไอออนที่สะสมในยอดไมยราบยักษ์ มีค่าเท่ากับ 0.874, 0.772, 0.784, 0.772 และ 0.968 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปริมาณแอมโมเนียมไอออนที่สะสมในรากไมยราบยักษ์ มีค่าเท่ากับ 1.519, 1.545, 1.491, 1.760 และ 1.531 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อกระบวนการ ammonia assimilation ในพืชที่ทนทานต่อสารสกัด ได้แก่ ถั่วเขียว (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5) พบว่า สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อกระบวนการ ammonia assimilation ของถั่วเขียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณแอมโมเนียมไอออนที่สะสมในยอดถั่วเขียว มีค่าเท่ากับ 0.842, 0.931, 0.955, 0.932 และ 0.844 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปริมาณแอมโมเนียมไอออนที่สะสมในรากถั่วเขียว มีค่าเท่ากับ 0.182, 0.157, 0.182, 0.181 และ 0.159 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อปริมาณแอมโมเนียมไอออนในไมยราบยักษ์และถั่วเขียว

ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณแอมโมเนียมไอออน (เปอร์เซ็นต์)			
	ไมยราบยักษ์		ถั่วเขียว	
	ยอด	ราก	ยอด	ราก
0.00	0.874	1.519	0.842	0.182
1.25	0.772	1.545	0.931	0.157
2.50	0.784	1.491	0.955	0.182
3.75	0.772	1.760	0.932	0.181
5.00	0.968	1.531	0.844	0.159
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	19.4	15.3	27.1	71.4

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

9. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการเกิด lipid peroxidation

ผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อกระบวนการ lipid peroxidation ในพืชที่ไวต่อสารสกัด ได้แก่ ไมยราบยักษ์ (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5) พบว่า สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อกระบวนการ lipid peroxidation ของไมยราบยักษ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณ MDA ที่สะสมในยอดไมยราบยักษ์ มีค่าเท่ากับ 0.022, 0.023, 0.022, 0.022 และ 0.020 ไมโครโมลต่อกรัม ตามลำดับ และปริมาณ MDA ที่สะสมในรากไมยราบยักษ์ มีค่าเท่ากับ 0.020, 0.018, 0.016, 0.014 และ 0.018 ไมโครโมลต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อกระบวนการ lipid peroxidation ในพืชที่ทนทานต่อสารสกัด ได้แก่ ถั่วเขียว (ผลที่ได้จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5) พบว่า สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อกระบวนการ lipid peroxidation ของถั่วเขียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณ MDA ที่สะสมในยอดถั่วเขียว มีค่าเท่ากับ 0.056, 0.053, 0.051, 0.061 และ 0.055 ไมโครโมลต่อกรัม ตามลำดับ และ MDA ที่สะสมในรากถั่วเขียว มีค่าเท่ากับ 0.027, 0.029, 0.023, 0.022 และ 0.026 ไมโครโมลต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อปริมาณ MDA ของไมยราบยักษ์และถั่วเขียว

ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณ MDA (ไมโครโมลต่อกรัม)			
	ไมยราบยักษ์		ถั่วเขียว	
	ยอด	ราก	ยอด	ราก
0.00	0.022	0.020	0.056	0.027
1.25	0.023	0.018	0.053	0.029
2.50	0.022	0.016	0.051	0.023
3.75	0.022	0.014	0.061	0.022
5.00	0.020	0.018	0.055	0.026
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	50.1	22.4	10.3	16.5

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

10. ศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

ผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 2.50 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสบริเวณปลายรากหอมแดง พบว่าสารสกัดมีฤทธิ์ยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของปลายรากหอมแดง โดยค่า mitotic index ของปลายรากหอมแดงที่ได้รับสารสกัดความเข้มข้นต่างๆ มีค่าเท่ากับ 4.26, 2.43 และ 1.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่า mitotic index ของปลายรากหอมแดงที่ได้รับสารสกัดแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 2.50 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสบริเวณปลายรากหอมแดง

ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	อินเตอร์เฟส (เปอร์เซ็นต์)	ระยะไมโทซิส (เปอร์เซ็นต์)				Mitotic Index
		โพรเฟส	เมทาเฟส	แอนาเฟส	เทโลเฟส	
0.00	95.74 b ^{1/}	1.65 a	0.83 a	0.77 a	1.02 a	4.26 a
2.50	97.57 b	0.82 ab	0.51 b	0.47 b	0.63 ab	2.43 b
5.00	98.39 a	0.50 b	0.41b	0.38 b	0.32 b	1.61 b
F-test	**	*	*	*	*	**
CV (%)	1.13	67.4	40.6	37.2	57.7	44.5

1/ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

วิจารณ์

จากผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์กข 6 พันธุ์กข 10 พันธุ์กข 27 พันธุ์กข 29 พันธุ์กข 41 พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ชัยนาท 2 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์เหนียวสันป่าตอง และพันธุ์สุพรรณบุรี 60 พบว่าสารสกัดจากฟางข้าวทุกพันธุ์ที่ทำการศึกษามีผลต่อการงอกของเมล็ดไมยราบยักษ์ (ตารางที่ 1) ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ Chung *et al.* (2001) ที่พบว่าสารสกัดจากฟางข้าวหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์ Gin Shun พันธุ์ IR 1044-56 พันธุ์ Juma และพันธุ์ Kasarwala Mundara มีฤทธิ์ในการยับยั้งการงอกของเมล็ดหญ้าข้าวนกมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารสกัดจากฟางข้าวทุกพันธุ์ที่ทำการศึกษามีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอกของเมล็ดไมยราบยักษ์ เนื่องจากสารสกัดทางชีวภาพของฟางข้าวแต่ละพันธุ์มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ที่มีฤทธิ์ต่อการงอกแตกต่างกัน เช่น จากการศึกษาของ Chung *et al.* (2003) พบว่าสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ Dorae พันธุ์ Donna พันธุ์ Eunjo พันธุ์ Guando พันธุ์ Hongdodo และพันธุ์ Danganeuibangju สามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดหญ้าข้าวนกได้ 1.5, 6.9, 13.7, 23.7, 68.7 และ 86.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรืออาจเนื่องจากส่วนของข้าวที่ใช้ในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพครั้งนี้ ได้แก่ ฟางข้าว ไม่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีความสามารถในการยับยั้งการงอก โดยมีรายงานว่า ส่วนต่างๆ ของข้าวมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการงอกแตกต่างกัน เช่น จากการศึกษาของ Chung *et al.* (2003) พบว่าสารสกัดจากฟาง แกลบ และใบข้าวพันธุ์ Dorae มีความสามารถในการยับยั้งการงอกของเมล็ดหญ้าข้าวนก 1.5, 5.6 และ 36.0 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สารสกัดจากฟาง แกลบ และใบข้าวพันธุ์ Danganeuibangju มีความสามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดหญ้าข้าวนกได้ 86.9, 8.6 และ 42.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ การที่สารสกัดไม่มีผลต่อการงอกของเมล็ดไมยราบยักษ์ ยังอาจเกิดเนื่องจากเมล็ดไมยราบยักษ์ไม่ไวต่อสารสกัดจากฟางข้าว โดยจากการศึกษาของ Moyer and Huang (1997) พบว่าเมล็ดวัชพืชแต่ละชนิดมีความไวต่อสารสกัดจากฟางข้าวบาร์เลย์แตกต่างกัน โดยสารสกัดจากฟางข้าวบาร์เลย์ไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการงอกของเมล็ด *Amaranthus retroflexus* L., *Kochia scoparia* L., *Salsola pestifer* A. Nels และ *Setari viridis* (L.) Beauv. แต่มีผลในการยับยั้งการงอกของเมล็ด *Bromus tectorum* L. และ *Thlaspi arvense* L.

แม้ว่าผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าไมยราบยักษ์ จะพบว่าสารสกัดจากฟางข้าวทุกพันธุ์ที่ทำการศึกษามีความสามารถในการยับยั้งการงอกของเมล็ดไมยราบยักษ์ แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสารสกัดจากฟางข้าวมีฤทธิ์ในการยับยั้งความยาวยอดและความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ และพบว่าสารสกัด

จากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าไมยราบยักษ์มากที่สุด โดยความยาวยอดและความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์มีค่าเท่ากับ 1.20 และ 0.83 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Moyer and Huang (1997) ที่รายงานว่าสารสกัดจากฟางข้าวบาร์เลย์ ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งการงอกของเมล็ด *Kochia scoparia* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Salsola pestifer* A. Nels และ *Setari viridis* (L.) Beauv. แต่มีผลในการยับยั้งความยาวรากของ *Amaranthus retroflexus* L. และ *Salsola pestifer* A. Nels และมีผลในการยับยั้งทั้งความยาวยอดและความยาวรากของ *Kochia scoparia* L. และ *Setari viridis* (L.) Beauv.

นอกจากนี้ จากการศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์ ถั่วเขียว หน่อข้าวนก และข้าว พบว่าสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษามีผลต่อการงอกของพืชทดสอบทุกชนิด แต่มีผลในการยับยั้งความยาวยอดและความยาวรากของพืชทดสอบ รวมถึงพบว่าเมื่อสารสกัดมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความสามารถในการยับยั้งความยาวยอดและความยาวรากของสารสกัดเพิ่มมากขึ้น โดยในการทดลองนี้พบว่าสารสกัดมีผลต่อทั้งพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Chung *et al.* (2003), Ebana *et al.* (2001) และ Kawaguchi *et al.* (1997) ที่พบว่าสารสกัดจากส่วนต่างๆ ของข้าว มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของทั้งพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยพบว่าสารสกัดจากใบและสารสกัดจากลำต้นของข้าวมีฤทธิ์ยับยั้งความยาวรากของ *Heteranthera limosa* (Sw.) Willd. และผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) และสารสกัดจากฟางข้าวมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าหน่อข้าวนก (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.) และต้นกล้าผักเขียว (*Monochoria vaginalis* (Burm. f.) C. Presl & Kunth)

และจากผลการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าวัชพืชและพืชปลูกบางชนิดครั้งนี้ พบว่าสารสกัดมีฤทธิ์ยับยั้งความยาวรากของต้นกล้าพืชทดสอบส่วนใหญ่ ได้แก่ ถั่วเขียว หน่อข้าวนก และข้าวมากกว่าความยาวยอด ทั้งนี้เนื่องจากรากพืชทดสอบเป็นส่วนที่สัมผัสสารสกัดโดยตรง สารสกัดจึงมีผลยับยั้งความยาวรากมากกว่าความยาวยอด (ตารางที่ 3, 4 และ 5) รวมถึงเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นที่ทำให้พืชทดสอบเจริญเติบโตเป็นครึ่งหนึ่งของชุดควบคุม (IC_{50}) พบว่าไมยราบยักษ์เป็นพืชที่ไวต่อสารสกัดมากที่สุด ในขณะที่ถั่วเขียวเป็นพืชที่ทนทานต่อสารสกัดมากที่สุด โดยค่า IC_{50} ของไมยราบยักษ์ ถั่วเขียว หน่อข้าวนก และข้าว มีค่าเท่ากับ 2.95, 5.91, 3.69 และ 5.37 กรัมต่อลิตรตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม แม้ผลจากการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชทดสอบ จะแสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จากการศึกษาผลของสารสกัดต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาบางประการ ได้แก่ ผลของสารสกัดจากฟางข้าวต่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการ ammonia assimilation แสดงให้เห็นว่าความสามารถในของสารสกัดในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชทดสอบที่ทำการศึกษา ไม่ได้มาจากกระบวนการที่กล่าวไว้ข้างต้น เนื่องจากปริมาณของรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง ปริมาณ O_2 ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง และปริมาณแอมโมเนียมไอออนของพืชทดสอบที่ได้รับสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6, 7, 8 และ 9)

การที่สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาบางประการที่ทำการศึกษา อาจเนื่องจากสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ทำการศึกษามีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีความสามารถในการยับยั้งกระบวนการดังกล่าว หรืออาจเกิดเนื่องจากพืชทดสอบมีกลไกต้านทานสารสกัด ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในหลายระดับ เช่น การเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเป้าหมายที่สารเข้าทำลาย (target site) โดยอาจเปลี่ยนแปลงให้ตำแหน่งเป้าหมายตอบสนองต่อสารน้อยลง เช่น จากการศึกษาของ Jung and Kuk (2007) พบว่า ความต้านทานสารในกลุ่มไดเฟนิลอีเธอร์ของข้าวปรับปรุงพันธุ์ให้ต้านทานสารในกลุ่มไดเฟนิลอีเธอร์ เกิดจากเอนไซม์โปรโทพอร์ไฟรีโนเจน ไนน์ ออกซิเดส ซึ่งเป็นเอนไซม์เป้าหมาย ตอบสนองต่อสารในกลุ่มไดเฟนิลอีเธอร์น้อยกว่าเอนไซม์โปรโทพอร์ไฟรีโนเจน ไนน์ ออกซิเดส ของข้าวที่ไวต่อสาร และจากการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างข้าวสาเล่ ซึ่งเป็นพืชที่ทนทานต่อสารออกซิฟลูออร์เฟน กับข้าวบาร์เลย์ ซึ่งเป็นพืชที่ไวต่อสารออกซิฟลูออร์เฟน โดย Chun *et al.* (2001) พบว่าความสามารถในการต้านทานสารออกซิฟลูออร์เฟนของข้าวสาเล่ ไม่ได้เกิดจากความสามารถในการจำกัดการดูดซึม การลำเลียง หรือความสามารถในการสลายสารออกซิฟลูออร์เฟน แต่อาจเกิดเนื่องจากเอนไซม์โปรโทพอร์ไฟรีโนเจน ไนน์ ออกซิเดสของข้าวสาเล่ มีความทนทานต่อสารออกซิฟลูออร์เฟนมากกว่าเอนไซม์โปรโทพอร์ไฟรีโนเจน ไนน์ ออกซิเดส ของข้าวบาร์เลย์ และจากการศึกษาของ Sigematsu *et al.* (1989) และ Devine and Shukla (2000) พบว่า พืชที่มีความต้านทานต่อสารในกลุ่มทริเอซิน จะมีการเปลี่ยนแปลงกรดอะมิโนในโปรตีน D₁ ลำดับที่ 264 จาก serine เป็น glycine ทำให้ความสามารถในการจับกับโปรตีน D₁ ของสารในกลุ่มทริเอซินลดลง รวมถึงจากการศึกษาของ Usui *et al.* (1993) และ Suwanwong

(1994) พบว่าเอนไซม์ acetolactate synthase ของแครอทที่ทนทานต่อสารสกัด มีความไวต่อสารเบนซิลฟอรอนน้อยกว่าแครอทที่ไวต่อสารสกัด

หรืออาจเกิดขึ้นเนื่องจากพืชทดสอบมีความสามารถในการสังเคราะห์เอนไซม์เป้าหมาย ในปริมาณมากกว่าปกติ (overproduction) เช่น จากการศึกษาความสามารถในการต้านทานสารกลูโฟซิเนทของเซลล์แขวนลอย (cell suspension) ของหญ้าแฝก (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash ex Small) โดย Prasertsongsun *et al.* (2002) พบว่าความสามารถในการทนทานสารกลูโฟซิเนทของเซลล์แขวนลอยของหญ้าแฝกสัมพันธ์กับกิจกรรม (activity) ของเอนไซม์กลูตามีนเรสที่เพิ่มขึ้น และจากการศึกษาเซลล์แขวนลอยของแครอท โดย Suwanwong *et al.* (1990) และ Suwanwong (1994) พบว่าเซลล์แขวนลอยแครอทที่ทนทานต่อสารกลูโฟซิเนท มีการสังเคราะห์เอนไซม์ glutamine synthetase มากกว่าแครอทที่ไวต่อสารกลูโฟซิเนท

รวมถึงความสามารถในการต้านทานสารสกัดของพืชทดสอบ อาจเกิดเนื่องจากการจำกัดไม่ให้สารเคลื่อนที่ไปยังบริเวณตำแหน่งเป้าหมาย โดยอาจเกี่ยวข้องกับการจำกัดการดูดซึมสารเข้าสู่ต้นพืช (limit absorption) หรือการจำกัดการเคลื่อนย้ายของสารไปยังตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยา (limit translocation) เช่น จากการศึกษาของ Mersey *et al.* (1990) พบว่าความสามารถในการทนทานกลูโฟซิเนทของข้าวบาร์เลย์สูงกว่า *Setaria viridis* (L.) Beauv. เนื่องจากข้าวบาร์เลย์มีความสามารถในการจำกัดการดูดซึมและเคลื่อนย้ายของสารไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้ดีกว่า *Setaria viridis* (L.) Beauv.

หรืออาจเนื่องจากพืชทดสอบมีความสามารถในการจำกัดสารออกฤทธิ์ไว้ในส่วนของเซลล์พืช (sequestration) เช่น จากการศึกษาของ Lasat *et al.* (1997) พบว่า *Hordeum glaucum* Steud. พันธุ์ที่ต้านทานต่อพาราควอท และพันธุ์ที่ไวต่อพาราควอท ยอมให้พาราควอทแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้ามาภายในเซลล์ และยอมให้พาราควอทแพร่จากในเซลล์ออกไปยังสารละลายภายนอกในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่ *H. glaucum* พันธุ์ที่ต้านทานต่อพาราควอท มีการเก็บสะสมพาราควอทในแวคิวโอลมากกว่าพันธุ์ที่ไวต่อพาราควอท ในขณะที่มีปริมาณพาราควอทในไซโตพลาสซึมน้อยกว่าพันธุ์ที่ไวต่อพาราควอท และ Yu *et al.* (2004) รายงานว่าความสามารถในการต้านทานพาราควอทของ *Lolium rigidum* Gaud. ขึ้นกับความสามารถในการเก็บสารออกฤทธิ์ไว้ในส่วนของเซลล์พืช และการจำกัดการเคลื่อนย้ายของสารไปยังตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยา แต่ไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเป้าหมายที่สารเข้าทำลาย เนื่องจากพบว่าการตอบสนองต่อพาราควอทของระบบแสงหนึ่ง

ของประชากรของ *L. rigidum* ที่ต้านทานต่อพาราควอทใกล้เคียงกันกับของประชากรของ *L. rigidum* ที่ไวต่อพาราควอท

นอกจากนี้ ความสามารถในการต้านทานสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชทดสอบ ยังอาจเกิดขึ้นเนื่องจากพืชทดสอบมีกลไกในการสลายสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (degradation of herbicidal agents) เช่น จากการศึกษาของ Suwanwong *et al.* (1990) และ Suwanwong (1994) พบว่ากลไกการสลายสารเป็นกลไกหนึ่งซึ่งช่วยให้เซลล์แคโรทที่ทนทานต่อกลูโฟซิเนท สามารถทนทานต่อสารกลูโฟซิเนทได้ดีกว่าเซลล์แคโรทที่ไวต่อสาร หรือเนื่องจากพืชมีกลไกในการสลายสารพิษที่เกิดขึ้น (degradation of toxic products) เช่น จากการศึกษาของ Matsumoto *et al.* (1999) พบว่าความทนทานสารออกซิฟลูออร์เฟนของ *Stellaria media* (L.) Vill. เกิดขึ้นเนื่องจากพืชทดสอบมีกลไกป้องกันการสะสมโปรโทพอร์ไฟรินเจน ไนน์ และจากการศึกษา ของ Li *et al.* (2004) พบว่าความต้านทานสารในกลุ่มไดเฟนิลอีเธอร์ของ *Amaranthus rudis* Sauer เกิดจากความสามารถในการสลายโปรโทพอร์ไฟริน ไนน์ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชัน ของโปรโทพอร์ไฟรินเจน ไนน์ เนื่องจากการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรโทพอร์ไฟรินเจน ไนน์ ออกซิเดส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนโปรโทพอร์ไฟรินเจน ไนน์ ไปเป็นโปรโทพอร์ไฟริน ไนน์

จากการศึกษาผลของสารสกัดจากฟางข้าวต่อกระบวนการ lipid peroxidation พบว่า สารสกัดจากฟางข้าวไม่มีผลต่อกระบวนการ lipid peroxidation ในพืชทดสอบ โดยพบว่าปริมาณ MDA ในพืชทดสอบที่ได้รับสารสกัดความเข้มข้นต่างๆ ไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 10) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาบางประการที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นผลจากการทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวต่อกระบวนการ lipid peroxidation ครั้งนี้ จึงอาจยืนยันได้อีกทางหนึ่งว่า สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ทำการศึกษา ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาที่ทำการศึกษา

จากการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.00, 2.50 และ 5.00 กรัมต่อลิตร ต่อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสบริเวณปลายรากหอมหอม พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ของเซลล์ที่อยู่ในระยะต่างๆ ทุกระยะที่อยู่ในระยะไมโทซิสลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 11) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Oliva *et al.* (2002) ที่พบว่าสารที่มีความสามารถในการยับยั้งการแบ่งเซลล์ ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของโปรตีน tubulins จะยับยั้งการแบ่งเซลล์ในระยะเมทาเฟส แอนาเฟส และเทโลเฟส ซึ่งจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ของเซลล์ที่อยู่ในระยะโปรเฟสมีค่าสูง แต่จะลดลงในระยะเมทาเฟส แอนาเฟส และ

เทโลเฟส และจากการศึกษาของ Taylor (1965) ที่พบว่า colchicine มีผลทำให้ mitotic index ของเซลล์ที่ได้รับสารเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ของเซลล์ที่อยู่ในระยะเมทาเฟสลดลง รวมถึงจากการศึกษาของ Takahashi *et al.* (2001) พบว่านอกจากสารที่มีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของโปรตีน tubulins จะยับยั้งการแบ่งเซลล์ในระยะเมทาเฟสแล้ว สารบางชนิดยังมีความสามารถในการยับยั้งการแบ่งเซลล์ในระยะแอนาเฟสด้วย โดยทำให้จำนวนเซลล์ในระยะเมทาเฟสเพิ่มขึ้น ในขณะที่จำนวนเซลล์ในระยะแอนาเฟส และเทโลเฟสลดลง ดังนั้นความสามารถในการยับยั้งการแบ่งเซลล์ของสารสกัดจึงอาจเกิดขึ้นเนื่องจากสารสกัดมีฤทธิ์ยับยั้งการแบ่งเซลล์ ก่อนที่เซลล์จะเข้าสู่ระยะไมโทซิส โดยสารสกัดอาจมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CDKs ซึ่งทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมการแบ่งเซลล์ระหว่างระยะ G_1/S หรือระหว่างระยะ G_2/M หรืออาจมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่จำลอง DNA ในระยะ S

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. สารสกัดจากฟางข้าวทุกพันธุ์ที่ทำการศึกษานี้ ไม่มีความสามารถในการยับยั้งการงอกของเมล็ดไมยราบยักษ์ แต่มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าไมยราบยักษ์ โดยพบว่าสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าไมยราบยักษ์ได้ดีที่สุด
2. สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ไม่มีความสามารถในการยับยั้งการงอกของพืชทดสอบทุกชนิดที่ทำการศึกษา แต่มีผลยับยั้งการเจริญของต้นกล้าพืชทดสอบ โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการยับยั้งของสารสกัดเพิ่มมากขึ้น
3. สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ไม่มีความสามารถในการยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาพืชบางประการที่ทำการศึกษานี้ ได้แก่ ปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการ ammonia assimilation และการเกิด lipid peroxidation
4. สารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความสามารถในการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสบริเวณปลายรากหอมแดง โดยสารสกัดมีผลทำให้ระยะต่างๆ ในระยะไมโทซิส ได้แก่ โปรเฟส เมทาเฟส แอแนเฟส และ เทโลเฟส ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ข้อเสนอแนะ

1. การทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดทั้งต่อการงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชทดสอบ และต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาบางประการ ควรเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเพื่อให้เห็นผลชัดเจนมากยิ่งขึ้น
2. แนวทางการศึกษาต่อไป ควรมีการทดลองในสภาพแปลง เพื่อทดสอบว่าสารสกัดมีผลในสภาพแปลงหรือไม่ อย่างไร

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ก่องกานดา ชยามฤต. 2551. **ลักษณะประจำวงศ์พรรณไม้ 3**. โรงพิมพ์สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2544. **พันธุศาสตร์ปฏิบัติการ**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. **การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์**. โรงพิมพ์ทั้งฮั่วชิน, กรุงเทพฯ”

ดวงพร สุวรรณกุล. 2543. **ชีววิทยาพืช พื้นฐานการจัดการวัชพืช**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ดาวรุ่ง กังวานพงศ์, ทิพนมณี ภาวตะศิลป์, ปรีศนา จริยวิทยาวัฒน์, ศิริสุลักษณ์ ธีรานุกพัฒนา และ หทัยา กาวีวงศ์. 2546. **พันธุศาสตร์**. แผนงวิชาพันธุศาสตร์และอนุชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ทวี คุปต์กาญจนากุล. 2544. **ความรู้เรื่องข้าวและเทคโนโลยีการผลิต**, น. 1-20. ใน สุเทพ ลิ้มทองกุล, ผู้รวบรวม. **ความรู้เรื่องข้าว**. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

ทศพล พรพรหม. 2545. **สารกำจัดวัชพืช: หลักการและกลไกการทำลาย**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุญหงษ์ จงคิด. 2547. **ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2531. **สารกำจัดวัชพืช**. เชียงใหม่คอมพิวเตอร์กราฟฟิค, เชียงใหม่.

- รังสิต สุวรรณเขตนิคม. 2547. สารป้องกันกำจัดวัชพืช : พื้นฐานและวิธีการใช้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ลัดดา เอกสมทราเมษฐ์. 2547. **ชีววิทยาของเซลล์**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ลิลลี่ กาวิตะ. 2549. พัฒนาการทางลำต้นและสืบพันธุ์, น. 187-199. ใน ลิลลี่ กาวิตะ, มาลี ฌ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และ สุรียา ตันติวิวัฒน์, ผู้รวบรวม. **สรีรวิทยาของพืช**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2549. คาร์บอนเมแทบอลิซึม, น. 97-152. ใน ลิลลี่ กาวิตะ, มาลี ฌ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และ สุรียา ตันติวิวัฒน์, ผู้รวบรวม. **สรีรวิทยาของพืช**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Ahn, J. K. and I. M. Chung. 2000. Allelopathic potential of rice hulls on germination and seedling growth of barnyard grass. **Agronomy Journal** 92: 1162-1167.
- Ball, A. S., M. Williams, D. Vincent and J. Robinson. 2001. Algal growth control by a barley straw extract. **Bioresource Technology** 77: 177-181.
- Brownlee, E. F., S. G. Sellner and K. G. Sellner. 2003. Effects of barley straw (*Hordeum vulgare*) on freshwater and brackish phytoplankton and cyanobacteria. **Journal of Applied Phycology** 15: 525-531.
- Chappelle, E. W. and M. S. Kim. 1992. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for the remote estimation of the concentration of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids in soybean leaves. **Remote sensing of environment** 39: 239-247
- Chou, C. H. and H. J. Lin . 1976. Autointoxication mechanism of *Oryza sativa* L. phytotoxic effects of decomposing rice residues in soil. **Journal of Chemical Ecology** 2: 353-367.

- Chun, J. C., H. J. Lee, S. J. Lim, S. E. Kim and J. O. Guh. 2001. Comparative absorption, translocation, and metabolism of foliar-applied oxifluorfen in wheat and barley. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 70: 118-125.
- Chung, I.M., J. K. Ahn and S. J. Yun. 2001. Assessment of allelochemical potential of barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) on rice (*Oryza sativa* L.) cultivar. **Crop Protection** 20: 921-928.
- _____, K. H. Kim, J. K. Ahn, S. C. Chun, C. S. Kim, J. T. Kim and S. H. Kim. 2002. Screening of allelochemicals on barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) and identification of potentially allelopathic compounds from rice (*Oryza sativa*) variety hull extracts. **Crop Protection** 21: 913-920.
- _____, _____, _____, S. B. Lee, S. H. Kim and S. J. Hahn. 2003. Comparison of allelopathic potential of rice leaves, straw, and hull on barnyard grass. **Agronomy Journal** 95: 1063-1070.
- Devine, M. D. and A. Shukla. 2000. Altered target sites as a mechanism of herbicide resistance. **Crop Protection** 19: 881-889.
- Dewitte, W. and J. M. A. H. Murray. 2003. The plant cell cycle. **Annual Review of Plant Biology** 54: 235-264.
- Ebana, K., W. Yan, R. H. Dilday, H. Namai and K. Okuno. 2001. Variation in the allelopathic effect of rice with water soluble extract. **Agronomy Journal** 93: 12-16.
- Ella, S. M. A. E., M. H. Magdy and G. B. Mohamed. 2007. Growth Inhibition of bloom-forming using rice straw in water course (case study). **Eleventh International Water Technology Conference** 11: 105-111

- Ferrier, M. D., B. R. Butler, D. E. Terlizzi and R. V. Lacouture. 2005. The effects of barley straw (*Hordeum vulgare*) on growth of freshwater algae. **Bioresource Technology** 96: 1788-1795.
- Halliwell, B. and J. M. C. Gutteridge. 1999. **Free Radicals in Biology and Medicine**. Oxford Science Publication, London.
- Heldt, H. and B. Piechulla. 2011. **Plant Biochemistry**. 4th Edition. Elsevier Inc., London.
- Hess, F. D. 2000. Light-dependent herbicides: an overview. **Weed Science** 48: 160-170
- Hiscox, J. D. and G. F. Israelstam. 1978. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany** 57: 1332-1334.
- Hodges, D. M., J. M. Delong, C. F. Forney and R. K. Prange. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substance assay for estimating lipid peroxidation in plant tissue containing anthocyanin and other interfering compounds. **Planta** 207: 604-611.
- Hopkins, W. G. and N. P. A. Huner. 2009. **Introduction to Plant Physiology**. 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Inze, D. and M. V. Montagu. 2002. **Oxidative Stress in Plants**. Taylor & Francis, London.
- Jung, H. I. and Y. I. Kuk. 2007. Resistance mechanism in protoporphyrinogen oxidase (PROTOX) inhibitor-resistance transgenic rice. **Journal of Plant Biology** 50: 586-594.

- Kato-Noguchi, H. 2004. Allelopathic substance in rice root exudates: rediscovery of momilactone B as an allelochemical. **Journal of Plant Physiology** 161: 271-276.
- Kawaguchi, S., K. Yoneyama, T. Yokota, Y. Takeuchi, M. Ogasawara and M. Konnai. 1997. Effect of aqueous extract of rice plants (*Oryza sativa* L.) on seed germination and radicle elongation of *Monochoria vaginalis* var. plantaginea. **Plant Growth Regulation** 23: 183-189.
- Lasat, M. M., J. M. Ditomasa, J. J. Hart and L. V. Kochain. 1997. Evidence for vacuolar paraquat in roots of a paraquat-resistant *Hordeum glaucum* biotype. **Physiologia Plantarum** 99: 255-262.
- Li, J., R. J. Smeda, K. A. Nelson and F. E. Dayan. 2004. Physiological basis for resistance to diphenylether herbicides in common waterhemp (*Amaranthus rudis*). **Weed Science** 52: 333-338.
- Liebl, R. A. and A. D. Worsham. 1983. Inhibition of pitted morning glory (*Ipomoea lacunosa* L.) and certain and other weed species by phytotoxic components of wheat (*Triticum aestivum* L.) straw. **Journal of Chemical Ecology** 9: 1027.
- Lin, W. X., K. U. Kim and D. H. Shin. 2000. Rice allelopathic potential and its modes of action on barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). **Allelopathy Journal** 18: 247-254.
- Masclaux-Daubresse, C., M. Reisdorf-Cren, K. Pageau, M. Lelandais, O. Grandjean, J. Kronenberger, M. L. Valadier, M. Feraud, T. Jouglet, and A. Suzuki. 2006. Glutamine synthetase-glutamate synthase pathway and glutamate dehydrogenase play distinct roles in the sink-source nitrogen cycle in tobacco. **American Society of Plant Biologists** 44: 444-456.

- Matsumoto, H., S. Nishi and K. Ishizuka. 1991. Action of thiacatbamate herbicide dimepiperate on plant metabolism. **Weed Research** 36: 257-265.
- _____, Y. Kashimoto and E. Warabi. 1999. Basis for common chickweed (*Stellaria media*) tolerance to oxyfluorfen. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 64: 47-53.
- Mayer, A. M. and A. Poljakoff-Mayber. 1982. **The Germination of Seeds**. 3rd ed. Pergamon Press Ltd., Great Britain.
- Meijer, M. and J. A. H. Murray. 2001. Cell cycle controls and the development of plant form. **Current Opinion in Plant Biology** 4: 44-49.
- Mersey, B. G., J. C. Hall, D. M. Anderson and C. J. Swanton. 1990. Factors affecting the herbicidal activity of glufosinate-ammonium: absorption, translocation, and metabolism in barley and green foxtail. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 37: 90-98.
- Moyer, J. R. and H. C. Huang. 1997. Effect of aqueous extract of crop residues on germination and seedling growth of ten weed species. **Botanical Bulletin of Academia Sinica** 38: 131-139.
- Oliva, A., R. M. Moraes, S. B. Watson, S. O. Duke and F. E. Dayan. 2002. Aryltetralin lignans inhibit plant growth by affecting the formation of mitotic microtubular organizing centers. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 72: 45-54.
- Park, M. H., M. S. Han, C. Y. Ahn, H. S. Kim, B. D. Yoon and H. M. Oh. 2006. Growth inhibition of bloom-forming cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* by rice straw extract. **Applied Microbiology** 43: 307-312.

- Park, M. H., I. M. Chung, A. Ahmad, B. H. Kim and S. J. Hwang. 2009. Growth inhibition of unicellular and colonial *Microcystis* strains (Cyanophyceae) by compounds isolated from rice (*Oryza sativa*) hulls. **Aquatic Botany** 90: 309-314.
- Plachais, S., N. Glab, D. Inze and C. Bergounioux. 2000. Chemical inhibitors: a tool for plant cell cycle studies. **Federation of European Biochemical Societies** 476: 78-83.
- Prasertsongkun, S., N. Sangduen, S. Suwanwong, v. Santisopasri and H. Matsumoto. 2002. Increased activity and reduced sensitivity of glutamine synthetase in glufosinate-resistant vetiver (*Vetiveria zizaniodes* Nash) cells. **Weed Biology and Management** 2: 171-176.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1992. **Plant Physiology**. 4th Edition. Wadsworth, Inc., California.
- Sanevas, N., Y. Sunohara and H. Matsumoto. 2006. Crude extract of cyanobacterium, *Hapalosiphon* sp., cause a cessation of root elongation and cell division in several plant species. **Weed Biology and Management** 6: 25-29
- Sigematsu, Y., F. Sato and Y. Yamada. 1989. The mechanism of herbicide resistance in tobacco cells with a new mutation in the Q_B protein. **Plant Physiology** 89: 986-992.
- Smith, A. L., G. Coupland, L. Dolan, N. Harberd, J. Jones, C. Martin, R. Sablowski and A. Amey. 2010. **Plant Biology**. Garland Science, New York.

- Sun, R. C., X. F. Sun, S. Q. Wang, W. Zhu and X. Y. Wang. 2002. Ester and ether linkages between hydroxycinnamic acids and lignins from wheat, rice and barley straws, maize stem and fast-growing poplar wood. **Industrial Crops and Products** 15: 179-188.
- Suwanwong, S. 1994. Selection and mechanism of tolerance to herbicides inhibiting amino acid metabolism in carrot cell suspension culture. **Weed Research** 39: 79-84.
- _____, K. Usui and K. Ishizuka. 1990. Glufosinate tolerance in carrot cell suspension culture. **Weed Research** 35: 53-60.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. **Plant Physiology**. 4th Edition. Sinauer Associates, Inc., Sunderland.
- Takahashi, A., S. Yamada, H. Yamada and T. Kawana. 2001. Mitotic disruption by a novel pyrimidine herbicide, NS-245852, in oat (*Avena sativa* L.) roots. **Weed Biology and Management** 1: 182-188.
- Tang, C. S. and A. C. Waiss. 1978. Short-chain fatty acids as growth inhibitors in decomposing wheat straw. **Journal of Chemical Ecology** 2: 225-232.
- Taylor, E. W. 1965. The mechanism of colchicines inhibition of mitosis. **Journal of Cell Biology** 25: 145-160.
- Terlizzi, D. E., M. D. Ferrier, E. A. Ambrester and K. A. Anlauf. 2002. Inhibition of dinoflagellate growth by extracts of barley straw (*Hordeum vulgare*). **Journal of Applied Phycology** 14: 275-280.
- Usui, K. S. Suwanwong, A. Ohno and K. Ishizuka. 1993. Absorption and metabolism of bensulfuron methyl in resistant carrot cell. **Weed Research** 38: 7-11.

Velikova, V., I. Yordanov and A. Edreva. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants protective role of exogenous polyamines. **Plant Science** 151: 59-66.

Watanabe, T., S. Katayama, M. Enoki, Y. Honda and M. Kuwahara. 2000. Formation of acyl radical in lipid peroxidation of linoleic acid by manganese-dependent peroxidase from *Ceriporiopsis subvermispota* and *Bjerkandera adusta*. **European Journal of Biochemistry** 267: 4222-4231.

Weatherburn, M. W. 1967. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. **Analytical Chemistry** 39 (8): 971-974.

Yu, Q., A. Cairns. and S. B. Powles. 2004. Paraquat resistance in a population of *Lolium rigidum*. **Functional Plant Biology** 31: 247-254.

Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. 2004. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry** 87: 401-406.



ตารางผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการงอกของเมล็ดไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	11	0.000	0.000	0.000
Error	108	0.000	0.000	
Total	119	0.000		

ตารางผนวกที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อความยาวยอดของต้นกล้าไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	11	46.52	4.229	5.437
Error	108	84.02	0.778	
Total	119	130.54		

ตารางผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	11	57.80	5.255	12.39
Error	108	45.79	0.424	
Total	119	103.60		

ตารางผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการออกของเมล็ดไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.000	0.000	0.000
Error	45	0.000	0.000	
Total	49	0.000		

ตารางผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวยอดของต้นกล้าไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	36.04	9.009	49.69
Error	45	8.157	0.181	
Total	49	44.19		

ตารางผนวกที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวรากของต้นกล้าไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	35.69	8.922	41.34
Error	45	9.712	0.216	
Total	49	45.40		

ตารางผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการออกของเมล็ดถั่วเขียว

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.00	0.00	0.00
Error	45	0.00	0.00	
Total	49	0.00		

ตารางผนวกที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวยอดของต้นถั่วเขียว

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.00	0.00	0.00
Error	45	0.00	0.00	
Total	49	0.00		

ตารางผนวกที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ความยาวรากของต้นถั่วเขียว

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.00	0.00	0.00
Error	45	0.00	0.00	
Total	49	0.00		

ตารางผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการงอกของเมล็ดหญ้าข้าวนก

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.00	0.00	0.00
Error	45	0.00	0.00	
Total	49	0.00		

ตารางผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวยอดของต้นกล้าหญ้าข้าวนก

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.00	0.00	0.00
Error	45	0.00	0.00	
Total	49	0.00		

ตารางผนวกที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนก

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.00	0.00	0.00
Error	45	0.00	0.00	
Total	49	0.00		

ตารางผนวกที่ 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการออกของเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.00	0.00	0.00
Error	45	0.00	0.00	
Total	49	0.00		

ตารางผนวกที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวยอดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.00	0.00	0.00
Error	45	0.00	0.00	
Total	49	0.00		

ตารางผนวกที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อความยาวรากของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.00	0.00	0.00
Error	45	0.00	0.00	
Total	49	0.00		

ตารางผนวกที่ 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.002	0.000	0.886
Error	10	0.005	0.000	
Total	14	0.007		

ตารางผนวกที่ 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.001	0.000	0.244
Error	10	0.006	0.001	
Total	14	0.006		

ตารางผนวกที่ 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณแคโรทีนอยด์ของไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.001	0.000	1.690
Error	10	0.002	0.000	
Total	14	0.003		

ตารางผนวกที่ 19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของถั่วเขียว

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.051	0.013	1.623
Error	10	0.079	0.008	
Total	14	0.131		

ตารางผนวกที่ 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของถั่วเขียว

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.007	0.002	1.250
Error	10	0.013	0.001	
Total	14	0.020		

ตารางผนวกที่ 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณแคโรทีนอยด์ของถั่วเขียว

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.004	0.001	1.125
Error	10	0.010	0.001	
Total	14	0.014		

ตารางผนวกที่ 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในกระบวนการสังเคราะห์แสง

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	2	48.67	24.33	0.305
Error	6	479.3	79.89	
Total	8	528.0		

ตารางผนวกที่ 23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณแอมโมเนียมไอออน ในยอดไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.090	0.022	0.806
Error	10	0.278	0.028	
Total	14	0.368		

ตารางผนวกที่ 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อปริมาณแอมโมเนียมไอออน ในรากไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.142	0.035	0.529
Error	10	0.669	0.067	
Total	14	0.810		

ตารางผนวกที่ 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณแอมโมเนียมไอออน ในยอดถั่วเขียว

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.034	0.009	0.107
Error	10	0.799	0.080	
Total	14	0.833		

ตารางผนวกที่ 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณแอมโมเนียมไอออน ในรากถั่วเขียว

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.002	0.001	0.025
Error	10	0.209	0.021	
Total	14	0.211		

ตารางผนวกที่ 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณ MDA ในยอดไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.000	0.000	0.022
Error	10	0.002	0.000	
Total	14	0.002		

ตารางผนวกที่ 28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณ MDA ในรากไมยราบยักษ์

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.000	0.000	1.156
Error	10	0.000	0.000	
Total	14	0.000		

ตารางผนวกที่ 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณ MDA ในยอดถั่วเขียว

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.000	0.000	1.291
Error	10	0.000	0.000	
Total	14	0.000		

ตารางผนวกที่ 30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อ ปริมาณ MDA ในรากถั่วเขียว

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	0.000	0.000	1.782
Error	10	0.000	0.000	
Total	14	0.000		

ตารางผนวกที่ 31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของสารสกัดจากฟางข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ต่อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitotic index) ที่ปลายรากหอมแดง

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	F
Treatment	4	11.06	5.530	30.699
Error	10	1.081	0.180	
Total	14	12.14		

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นายพิทวัส วิชัยดิษฐ์
เกิดวันที่	11 กุมภาพันธ์ 2530
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทาง วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.)