

ผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโต ชนิดและปริมาณสารสำคัญ
ในข้าวสายพันธุ์ไทย

Effect of Gamma Irradiation on Growth, Variety and the
Content of Bio-active compounds of Thai rice cultivars



กรรณิการ์ อาชนะชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโต ชนิดและปริมาณสารสำคัญ
ในข้าวสายพันธุ์ไทย

กรรณิการ์ อาชนะชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโต ชนิดและปริมาณสารสำคัญในข้าว
สายพันธุ์ไทย
Effect of Gamma Irradiation on Growth, Variety and the Content
of Bio-active Compounds of Thai Rice Cultivars

ชื่อ - นามสกุล นางสาวกรรณิการ์ อาชนะชัย
สาขาวิชา เคมีประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์สมพงษ์ แสนเสนยา, วท.ด.
ปีการศึกษา 2564

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์จ้าวรรณ ศิริเทพทวี, วท.ด)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภาวดี ปาทานานนท์, ปร.ด)

สมพงษ์ แสนเสนยากรรมการ
(รองศาสตราจารย์สมพงษ์ แสนเสนยา, วท.ด)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิพัทธ์ จงสวัสดิ์, ปร.ด.)

วันที่ 5 เดือน เมษายน พ.ศ. 2565

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโต ชนิดและปริมาณสารสำคัญในข้าว สายพันธุ์ไทย
ชื่อ - นามสกุล	นางสาวกรรณิการ์ อาชนะชัย
สาขาวิชา	เคมีประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สมพงษ์ แสนเสนยา, วท.ด.
ปีการศึกษา	2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนในข้าวและทำการศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวสายพันธุ์ไทยทั้งหมด 5 ชนิด ที่ผ่านเทคนิคการฉายรังสีแกมมาในข้าว การฉายรังสีแกมมาเป็นเทคนิคที่ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดการกลายพันธุ์ของพืชและมีผลต่อสารสำคัญและทางสรีรวิทยาของพืช ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบผลของการฉายรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโตของพืช สารระเหยและฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดข้าวที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาเปรียบเทียบกับสารสกัดข้าวที่ไม่ผ่านการฉายรังสีแกมมา

ผลการวิจัยพบว่าการเจริญเติบโตของข้าวที่ฉายรังสีแกมมามีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีน เนื่องจากการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่ำทำให้ข้าวเจริญเติบโตได้ดีและเพิ่มการสะสมของปริมาณโปรตีนในข้าวที่ฉายรังสีแกมมา นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถชักนำให้เกิดสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งรวมถึงปริมาณฟลาโวนอยด์และปริมาณฟีนอลิก ของข้าวฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่ำที่ 60 เกรย์ ถึง 100 เกรย์ สิ่งที่น่าสนใจคือปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมทางชีวภาพฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ (เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส และ เอนไซม์ไทโรซิเนส) ของสารสกัดข้าวที่ฉายรังสีแกมมาที่ถูกระตุ้นด้วยปริมาณรังสีที่คล้ายกัน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดข้าวที่ฉายรังสีแกมมามีความสัมพันธ์กับปริมาณฟลาโวนอยด์และฟีนอลิกของข้าว นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ระบุความหลากหลายของชนิดสารระเหย ในข้าวที่ฉายรังสีแกมมาและรายงานเกี่ยวกับฤทธิ์ทางชีวภาพของสารระเหย

จากผลลัพธ์ที่ได้ เทคนิคการฉายรังสีแกมมาสามารถผลิตข้าวสายพันธุ์ใหม่ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นและอุดมไปด้วยสารประกอบ ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางชีวภาพเพื่อสุขภาพที่ดีขึ้นของมนุษย์ต่อไป

คำสำคัญ: เทคนิคการฉายรังสีแกมมา ข้าวสายพันธุ์ไทย สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สารต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์

Thesis Title	Effects of Gamma Irradiation on Growth, Variety and the Content of Bioactive Compounds of Thai Rice Cultivars
Name – Surname	Miss Kannika Archanachai
Program	Applied Chemistry
Thesis Advisor	Associate Professor Sompong Sansenya, Ph.D.
Academic Year	2021

ABSTRACT

The objectives of this research were to study the effects of gamma irradiation on the growth and proline content in rice, and study the effects of gamma radiation on bioactive compounds of five rice cultivars underwent gamma irradiation technique in rice. Gamma irradiation is the technique used to induce plant mutation and its effects are both in bioactive compounds and physiological of the plant. The researcher investigated the effects of gamma irradiation on plant growth, volatile compounds, and the biological activity of gamma-irradiated rice extract in comparison to non-gamma-irradiated rice extract.

The research results revealed that the gamma-irradiated rice growth was related to the proline content as a low gamma dose effectively induced rice growth and proline accumulation in gamma-irradiated rice. It was also found that gamma irradiation influenced bioactive compounds including the contents of flavonoid and phenolic of gamma-irradiated rice that was irradiated at the low gamma rate of 60 to 100 Gy. Interestingly, bioactive compounds and activities were stimulated by a gamma dose similar to those of the biological activity, antioxidant activity and enzyme inhibition (α -glucosidase, α -amylase and tyrosinase) of gamma-irradiated rice. The results suggested that gamma-irradiated rice extract's biological activity was closely related to the flavonoid and the phenolic contents of rice. The researcher identified the variety of volatile compounds and biological activities in gamma-irradiated rice.

From the results, gamma irradiation can generate new species of rice containing high growth rates. Rice containing rich compounds are related to the biological activity that can benefit human health.

Keywords: gamma irradiation technique, Thai rice cultivar, bioactive compound, antioxidant, enzyme inhibition

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จากรองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ แสนเสนยา คือ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำ ดูแลเอาใจใส่ในการทำวิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ทนพญ. ดร. จารุวรรณ ศิริเทพทวี ประธานกรรมการในการสอบ วิทยานิพนธ์และกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี ปาทยานานนท์ ที่ได้เสียสละเวลามาเป็นกรรมการ ในการสอบครั้งนี้และยังกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบการทำงานวิจัย ตลอดจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้การสนับสนุน ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการชีวเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ สถานที่และสมาชิกด้านชีวเคมีที่คอยให้ความสนับสนุนในด้านต่าง ๆ ทำให้งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ดำเนินไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวและบุคคลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ตลอดจนส่งเสริมการศึกษาด้วยดีเสมอมา ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ หากมีข้อผิดพลาด หรือบกพร่องประการใด ผู้วิจัยกราบขอขมา ณ โอกาสนี้ด้วย

กรรณิการ์ อาชนะชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	13
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	15
1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	15
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	15
บทที่ 2 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 ข้าว.....	16
2.2 องค์ประกอบหลักของข้าว.....	17
2.2.1 คาร์โบไฮเดรต.....	17
2.2.2 โปรตีน.....	17
2.2.3 ไขมัน.....	17
2.3 การเจริญเติบโตของข้าว.....	18
2.3.1 ลักษณะที่สำคัญของข้าว.....	18
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการการเจริญเติบโตของข้าว.....	19
2.4.1 ปัจจัยทางด้านพันธุกรรม.....	19
2.4.2 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม.....	19
2.5 สารสำคัญในข้าว.....	20
2.5.1 สารที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต.....	20
2.5.2 สารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ.....	22
2.6 โรคเบาหวาน.....	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 การรักษาโรคเบาหวาน.....	26
2.6.2 ยาที่ใช้รักษาโรคเบาหวาน.....	26
2.6.3 ยาจากธรรมชาติ.....	27
2.7 การสร้างเม็ดสีเมลานิน.....	27
2.7.1 กระบวนการสร้างเม็ดสีเมลานิน.....	27
2.7.2 การยับยั้งการสร้างเม็ดสีเมลานิน.....	29
2.8 อนุมูลอิสระ.....	30
2.9 เทคนิคการเพิ่มสารสำคัญในข้าว.....	31
2.9.1 ไคโตซาน.....	31
2.9.2 เทคนิคการตัดต่อยีน.....	31
2.9.3 การฉายรังสีแกมมา.....	31
2.10 เทคนิคการฉายรังสีแกมมา.....	32
2.10.1 รังสีแกมมา.....	32
2.10.2 ข้อดีการฉายรังสีแกมมา.....	33
2.10.3 การฉายรังสีแกมมา.....	33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	36
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	36
3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	36
3.1.2 สารเคมี.....	36
3.1.3 เอนไซม์.....	38
3.1.4 ตัวอย่าง.....	38
3.2 วิธีการทดลอง.....	39
3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง.....	39
3.2.2 การเจริญเติบโตของข้าว.....	39
3.2.3 ขั้นตอนการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ.....	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.4 ทดสอบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ.....	41
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	48
4.1 การเจริญเติบโตของข้าว.....	48
4.2 การหาปริมาณโพสลิน.....	56
4.3 การตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้น.....	63
4.4 การหาปริมาณฟลาโวนอยด์.....	69
4.5 การหาปริมาณฟีนอลิก.....	70
4.6 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ.....	71
4.6.1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช.....	71
4.6.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีเอบีทีเอส.....	72
4.7 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์.....	73
4.7.1 การวิเคราะห์ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส.....	73
4.7.2 การวิเคราะห์ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส.....	75
4.7.3 การวิเคราะห์ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ไทโรซิเนส.....	76
4.8 การศึกษาชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าว.....	77
4.9 การศึกษาฤทธิ์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวสายพันธุ์ไทย.....	106
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	110
บรรณานุกรม.....	112
ภาคผนวก ผลงานเผยแพร่ทางวิชาการ.....	123
ประวัติผู้เขียน.....	134

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยวิธีเอปทีเอส.....	43
ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยวิธีดีพีพีเอช.....	44
ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ร้อยละของการยับยั้ง เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส.....	45
ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ร้อยละของการยับยั้ง เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส.....	45
ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ร้อยละของการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส.....	47
ตารางที่ 4.1 แสดงการตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเมทานอลจาก ข้าวมะลิ 105.....	64
ตารางที่ 4.2 แสดงการตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเมทานอลจาก ข้าวปทุมธานี 1.....	65
ตารางที่ 4.3 แสดงการตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเมทานอลจาก ข้าว กข.31.....	66
ตารางที่ 4.4 แสดงการตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเมทานอลจาก ข้าว กข.41.....	67
ตารางที่ 4.5 แสดงการตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเมทานอลจาก ข้าว กข.57.....	68
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการศึกษานิตของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวมะลิ 105.....	77
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการศึกษานิตของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวปทุมธานี 1.....	82
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการศึกษานิตของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าว กข.31.....	89
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการศึกษานิตของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าว กข. 41.....	94
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการศึกษานิตของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าว กข. 57.....	100
ตารางที่ 4.11 แสดงกิจกรรมในทางชีวภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในตัวอย่างข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57.....	105

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของข้าว.....	16
รูปที่ 2.2 การเจริญเติบโตของข้าว.....	18
รูปที่ 2.3 แสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์โพสตรีน.....	22
รูปที่ 2.4 โครงสร้างสารประกอบฟีนอล.....	23
รูปที่ 2.5 โครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก.....	23
รูปที่ 2.6 โครงสร้างฟลาโวนอยด์.....	24
รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส.....	25
รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	26
รูปที่ 2.9 แสดงกระบวนการสังเคราะห์เมลานินโดยมีเอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	29
รูปที่ 2.10 เครื่องฉายรังสีแกมมา.....	32
รูปที่ 4.1 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน.....	49
รูปที่ 4.2 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน.....	50
รูปที่ 4.3 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 7 วัน.....	51
รูปที่ 4.4 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 7 วัน.....	52
รูปที่ 4.5 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน.....	53
รูปที่ 4.6 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน.....	54
รูปที่ 4.7 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน.....	55
รูปที่ 4.8 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9 แสดงการหาปริมาณโพสตรีนจากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน.....	57
รูปที่ 4.10 แสดงการหาปริมาณโพสตรีนจากลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 7 วัน.....	58
รูปที่ 4.11 แสดงการหาปริมาณโพสตรีนจากรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 7 วัน.....	59
รูปที่ 4.12 แสดงการหาปริมาณโพสตรีนจากลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน.....	60
รูปที่ 4.13 แสดงการหาปริมาณโพสตรีนจากรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน.....	61
รูปที่ 4.14 แสดงการหาปริมาณโพสตรีนจากลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน.....	62
รูปที่ 4.15 แสดงการหาปริมาณโพสตรีนจากรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน.....	63
รูปที่ 4.16 แสดงปริมาณฟลาโวนอยด์จากสารสกัดหยาบจากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน.....	69
รูปที่ 4.17 แสดงปริมาณฟีนอลิกจากสารสกัดหยาบจากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน.....	70
รูปที่ 4.18 แสดงร้อยละการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอชจากสารสกัดหยาบจาก ข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน.....	71
รูปที่ 4.19 แสดงร้อยละการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีเอบีทีเอส จากสารสกัดหยาบจาก ข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน.....	72
รูปที่ 4.20 แสดงร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส จากสารสกัดหยาบจาก ข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน.....	73
รูปที่ 4.21 แสดงร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จากสารสกัดหยาบจาก ข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน.....	75

รูปที่ 4.22 แสดงร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ไทโรซิเนสจากสารสกัดหยาบจาก

ข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน.....76



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ข้าว (Rice) เป็นพืชในสกุลหญ้า มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือออไรซา ซาติวา (*Oryza sativa*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญและประชากรทั่วโลกนิยมบริโภคเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย [1] เนื่องจากในข้าวมีองค์ประกอบหลักคือ คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) โปรตีน (Protein) และวิตามิน (Vitamin) ที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย เกษตรกรจึงนิยมการปลูกข้าวเป็นส่วนใหญ่ ด้วยเหตุนี้ข้าวจึงเป็นพืชเกษตรที่ตลาดภายในประเทศและตลาดระหว่างประเทศมีความต้องการสูง ในกระบวนการเจริญเติบโตของข้าวนั้นมีปัจจัยภายนอกที่ส่งผลโดยตรงคือ น้ำ อุณหภูมิ แสงสว่าง อากาศ พันธุกรรมพืชและรังสี เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรทั่วโลก ส่งผลให้การบริโภคข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น [2] เกษตรกรจึงจำเป็นต้องพัฒนาการปลูกข้าวให้ได้ผลผลิตมากขึ้น เช่น การใช้ปุ๋ยเร่งให้ข้าวโตเร็วและได้ผลผลิตที่มีคุณภาพมากขึ้นเช่นเดียวกัน ในช่วงที่ข้าวมีการเจริญเติบโต จะมีการผลิตสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งขึ้นเพื่อรักษาเซลล์พืชให้ทำงานได้อย่างปกติเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลง คือ โพรลีน (Proline) ซึ่งโพรลีนเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช โดยทำหน้าที่เป็นตัวปรับค่าแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) ในเซลล์พืช [3] พืชจะมีการสังเคราะห์โพรลีนเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาโครงสร้างของเซลล์ให้คงเดิม และรักษากิจกรรมของเอนไซม์ให้ทำงานได้อย่างปกติ ทำให้พืชสามารถทนต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสมได้ [4] หากพืชอยู่ในสภาวะเช่นนี้เป็นเวลานานจะมีการสะสมของโพรลีนมากขึ้นเช่นเดียวกัน มีรายงานว่า การสะสมของโพรลีน ถือเป็น การสะสมสารประกอบไนโตรเจนในพืช [5] และพืชจะสามารถนำไนโตรเจนมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ เมื่ออยู่ในสภาวะปกติแล้ว อย่างไรก็ตามในเมล็ดข้าวยังมีสารสำคัญอีกหลายชนิดที่ทำให้ข้าวมีกลิ่นหอม น่ารับประทาน เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวที่มีชื่อเสียงที่สุดในโลก เนื่องจากมีกลิ่นหอมที่เป็นลักษณะเฉพาะจึงทำให้ข้าวหอมได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และสารสำคัญกลุ่มนี้บางชนิดอาจจะเป็น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอีกด้วย

ในปัจจุบันผู้คนให้ความสนใจเกี่ยวกับสารสำคัญในข้าวที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากขึ้น อาทิ เช่น สารประกอบฟีนอล (Phenol) ฟีนอลิก (Phenolic) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) [6] ซึ่งเป็น สารที่น่าสนใจในด้านเภสัชกรรมและเครื่องสำอาง โดยสารเหล่านี้มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) โดยจะลดการเสื่อมสภาพของเซลล์ในร่างกายอันทำให้เกิดการแก่ก่อนวัย ช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง ลดระดับของไขมันในเลือด ลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจอุดตัน เป็นต้น เนื่องจาก สารสำคัญในข้าวที่ได้จากธรรมชาติมีปริมาณน้อยจึงได้มีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มปริมาณสารสำคัญ

โดยเทคนิคต่าง ๆ อาทิเช่น การใช้โคโตซาน [7] การตัดแปลงพันธุพืชด้วยวิธีการตัดแปลงพันธุกรรม (GMOs-Genetically Modified Organisms; GMO) [8] และเทคนิคการปรับปรุงพันธุกรรมด้วยการใช้รังสีแกมมา

ปัจจุบันเทคนิคการฉายรังสีแกมมา (Gamma Irradiation) เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้เพื่อพัฒนาพันธุ์พืช โดยรังสีแกมมาสามารถสร้างอนุมูลออกซิเจนที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Reactive oxygen species; ROS) และไปทำลายดีเอ็นเอ (DNA) ทำให้ดีเอ็นเอเกิดความเสียหาย จึงเกิดการปรับเปลี่ยนส่วนที่สำคัญของเซลล์ [9] แล้วทำให้โครงสร้างของเซลล์และลักษณะทางกายภาพของพืชเปลี่ยนแปลง [10], [11] ปัจจุบันมีการใช้เทคนิคการฉายรังสีแกมมาอย่างแพร่หลายสำหรับปรับปรุงพันธุกรรมของพืชเพื่อพัฒนาให้ได้พันธุ์ใหม่ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่าย สะดวกและรวดเร็ว [12] โดยมีรายงานว่า การฉายรังสีแกมมาที่ความเข้มข้นต่ำสามารถปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดข้าว ส่งผลให้มีการกระตุ้นอัตราการงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของข้าวได้ อีกด้วย [13], [14] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีที่ค่อนข้างต่ำ ช่วยเพิ่มความเข้มข้นของกลิ่นหอม [15] ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และองค์ประกอบทางเคมีบางส่วนของพืช [16] อาทิเช่น สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) แต่การฉายรังสีแกมมาในปริมาณรังสีที่สูงจะมีผลกระทบต่อการผลิตสารในระหว่างการเจริญเติบโต และทำให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และองค์ประกอบทางเคมีลดลง

งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนซึ่งเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของข้าว นอกจากนี้ ยังสนใจศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อสารที่ทำให้ข้าวมีกลิ่นหอมและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าว เช่น สารต้านอนุมูลอิสระและสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทั้งสามชนิด ได้แก่ เอนไซม์แอลฟาไกลโคซิเดส เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและเอนไซม์ไทโรซิเนส เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีลักษณะพิเศษต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโตของข้าว
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อปริมาณโพสสินของข้าว
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อชนิด และปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ
- 1.2.4 เพื่อศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อสารต้านอนุมูลอิสระ และสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และเอนไซม์ไทโรซิเนส

1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

รังสีแกมมาเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช ในงานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคการฉายรังสีแกมมาเพื่อมาใช้ในการกระตุ้นการเจริญเติบโตและศึกษาอิทธิพลของรังสีแกมมาต่อชนิด และปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์ข้าว ต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ปริมาณรังสีแกมมาที่เหมาะสมในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าว
- 1.4.2 ได้ปริมาณรังสีแกมมาที่เหมาะสมในการกระตุ้นปริมาณโพสสินของข้าว
- 1.4.3 ได้ปริมาณรังสีแกมมาที่เหมาะสมในการกระตุ้นชนิด และกระตุ้นการเพิ่มปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ
- 1.4.4 ได้ปริมาณรังสีแกมมาที่เหมาะสมในการกระตุ้นการเพิ่มกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และเอนไซม์ไทโรซิเนส
- 1.4.5 สามารถนำเทคนิคการฉายรังสีแกมมาไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีลักษณะพิเศษต่อไป

บทที่ 2

วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว (Rice)



รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของข้าว [17]

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Oryza sativa* L.

ชื่อวงศ์ : Poaceae

ข้าวเป็นธัญพืชที่ใช้เป็นอาหารสำคัญอย่างหนึ่งของโลก อยู่ในสกุลหญ้า และจัดอยู่ในวงศ์หญ้า (Poaceae หรือ Gramineae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือออไรซา ซาทิวา (*Oryza sativa*) และเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย เป็นหนึ่งในพืชอาหารชั้นนำที่ประชากรทั่วโลกนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นอาหารหลักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย ข้าวมักปลูกทั่วไปทุกประเทศและข้าวชนิดนี้ยังแยกได้เป็นพันธุ์อินดิกา (*indica*) มีปลูกมากในเขตร้อน พันธุ์เจโปนิกา (*japonica*) มีปลูกมากในเขตอบอุ่นและพันธุ์เจวานิกา (*Javanica*) [18]

2.2 องค์ประกอบหลักของข้าว

สาเหตุหลักที่ข้าวถูกนิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารหลักของประชากรคือองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่

2.2.1 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรต เป็นสารชีวโมเลกุลที่สำคัญที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เป็นสารอาหารหลักซึ่งให้พลังงาน ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน คาร์โบไฮเดรต แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

2.2.1.1 น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) ได้แก่ กลูโคส ฟรุคโตส กาแลคโตส

2.2.1.2 น้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharides) ได้แก่ มอลโตส, แลคโตส, ซูโครส คือ น้ำตาลสองโมเลกุลของโมโนแซ็กคาไรด์มีพันธะต่อกันโดยปฏิกิริยาการควบแน่น ถ้าโมโนแซ็กคาไรด์ทั้งสองเป็นโมเลกุลชนิดเดียวกัน เช่น กลูโคส การเชื่อมต่อดังนี้ที่ต่างกันจะทำให้คุณสมบัติทั้งทางฟิสิกส์และเคมีแตกต่างกันด้วย ไดแซ็กคาไรด์ จะมีลักษณะเป็นผลึกของแข็งละลายน้ำได้ดีมีรสหวาน เช่นเดียวกับโมโนแซ็กคาไรด์

2.2.1.3 พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) ได้แก่ แป้ง, ไกลโคเจน, เซลลูโลส เกิดจากการต่อกันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจนเป็นสายยาว โพลีแซ็กคาไรด์แบ่งเป็นสองชนิด คือ โอลิโกแซ็กคาไรด์ ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดเดียวกับเฮเทอโรโพลีแซ็กคาไรด์และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด

2.2.2 โปรตีน

โปรตีน (Protein) เป็นสารประกอบชีวเคมี ซึ่งประกอบด้วยพอลิเพปไทด์หนึ่งสายหรือมากกว่า พักกันเป็นรูปทรงกลม หรือเส้นใยทำหน้าที่เร่งกระบวนการทางชีววิทยา พอลิเพปไทด์เป็นพอลิเมอร์สายเดี่ยวที่เป็นเส้นตรงของกรดอะมิโนที่เชื่อมเข้ากันด้วยพันธะเพปไทด์ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของโมเลกุลและหมู่เอมิโนของอีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ติดกันและโครงสร้างโปรตีนเป็นสื่อกลางซึ่งเป็นตัวกำหนดหน้าที่ของโปรตีน หรือกิจกรรมของเอนไซม์ที่สำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม นอกจากนี้โปรตีนยังเป็นแหล่งอาหารที่จำเป็นต่อสัตว์ เนื่องจากสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนทั้งหมดตามที่ต้องการได้

2.2.3 ไขมัน

ไขมัน หมายถึง สารประกอบหลายชนิดซึ่งมีลักษณะร่วมกัน คือ ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์แต่ไม่ละลายน้ำ ไขมันในทางเคมี คือ ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นไตรเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมันและในร่างกายไขมัน หรือ ลิพิดถูกย่อยโดยเอนไซม์ชื่อไลเปส ซึ่งสร้างจากตับอ่อนสามารถจำแนกไขมันจำแนกได้เป็นไขมันอิ่มตัวกับไขมันไม่อิ่มตัว

ไขมันในอาหารคือสารอาหารชนิดนี้เป็นแหล่งของกรดไขมันซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโต ควบคุมการเผาผลาญคอเลสเตอรอล จำเป็นสำหรับการทำงานของร่างกาย ไขมันมีหน้าที่ในการลำเลียงและการดูดซึมของวิตามินชนิดที่ละลายในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินอี และวิตามินเค รวมทั้ง แครอทีนอยด์ด้วย ในบางกรณีไขมันจากอาหารยังเป็นวิตามินอี เช่น น้ำมันถั่วเหลืองเป็นแหล่งสำคัญของวิตามินอี [19]

2.3 การเจริญเติบโตของข้าว (Rice Growth)



รูปที่ 2.2 การเจริญเติบโตของข้าว [20]

2.3.1 ลักษณะที่สำคัญของข้าว

2.3.1.1 ราก รากใช้ยึดลำต้นกับดินเพื่อไม่ให้ต้นล้ม

2.3.1.2 ลำต้น มีลักษณะเป็นโพรงตรงกลางและแบ่งออกเป็นปล้องๆ โดยมีข้อกั้นระหว่างปล้อง ความยาวของปล้องนั้นแตกต่างกัน จำนวนปล้องจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว

2.3.1.3 ใบ มีไว้สำหรับสังเคราะห์แสงเพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุ อาหาร น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นแป้งเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเมล็ดของต้นข้าว ประกอบด้วยกาบใบและแผ่นใบ

2.3.1.4 ต้นข้าว ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดซึ่งเกิดจากการผสมระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย ลักษณะที่สำคัญเกี่ยวกับการขยายพันธุ์ ได้แก่ รวง ดอกข้าวและเมล็ดข้าว

2.3.1.5 รวงข้าว เป็นช่อดอกของข้าวซึ่งเกิดขึ้นที่ข้อของปล้องอันสุดท้ายของต้นข้าว ระยะระหว่างข้ออันบนของปล้องอันสุดท้ายกับข้อต่อของใบ เรียกว่า คอรวง

2.2.1.6 ดอกข้าว เป็นส่วนที่เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียเพื่อผสมพันธุ์ ดอกข้าวประกอบด้วย เปลือกนอกใหญ่สองแผ่นประสานกันเพื่อห่อหุ้มส่วนที่อยู่ภายในไว้ ทั้งสองเปลือกภายนอกของมันเป็นไขมัน หรือไม่มีไขมันก็ได้

2.3.1.7 เมล็ดข้าว เป็นส่วนที่เป็นแป้ง เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม (Endosperm) และส่วนที่เป็นคัพภะซึ่งห่อหุ้มไว้โดยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่น เอ็นโดสเปิร์มเป็นแป้งที่เรอบริโภค คัพภะเป็นส่วนที่มีชีวิตและงอกออกมาเป็นต้นข้าวเมื่อเอาไปเพาะ

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการการเจริญเติบโตของข้าว

2.4.1 ปัจจัยทางด้านพันธุกรรม

เป็นการควบคุมลักษณะของต้นพืช ควบคุมการเจริญเติบโตและพัฒนาการ โดยพันธุกรรมจะเป็นตัวกำหนดให้พืชแต่ละพันธุ์ มีอัตราการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่ไม่เหมือนกัน โดยพืชแต่ละพันธุ์จะมีความสามารถในการดำเนินกระบวนการทางสรีรวิทยาในอัตราที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสร้างสารที่ควบคุมการเจริญเติบโตข้าวแต่ละพันธุ์มีลักษณะประจำของพันธุ์แตกต่างกัน เช่น การตอบสนองต่อธาตุอาหารแต่ละพันธุ์ การแตกกอของพันธุ์ข้าวที่ได้ปรับปรุงพันธุ์ส่วนใหญ่จะแตกกอได้ดีกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมือง [24]

2.4.2 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

2.4.2.1 แสงสว่าง ข้าวต้องการแสงสว่างเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงสร้างอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนาการช่วงเวลาที่ปลูกข้าว หรือปลูกข้าวแต่ละฤดูกาล หรือช่วงแสง ฤดูแล้งของไทยมีปริมาณรังสีของแสงมากกว่าฤดูฝน โดยเฉพาะระยะตั้งท้องและเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตข้าวในเขตอบอุ่นมีผลผลิตมากกว่าเขตร้อน

2.4.2.2 ดิน ข้าวจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดีต้องมีดินที่ดี พีเอช (pH) ของดินที่เหมาะสมเพื่อให้ลำต้นทรงอยู่ในลักษณะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะทำให้ส่วนต่าง ๆ ทำหน้าที่ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่

2.4.2.3 อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมจะส่งเสริมให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่ดี อุณหภูมิที่สูงเกินไปและต่ำเกินไปในช่วงที่มีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ เป็นต้น

อุณหภูมิที่เหมาะสมตามช่วงระยะการเจริญเติบโต มีดังนี้

- 1) เมล็ดงอก 18 - 40 องศาเซลเซียส
- 2) ต้นอ่อน 25 - 30 องศาเซลเซียส
- 3) ราก 25 - 28 องศาเซลเซียส

- 4) ใบขยายตัว 31 องศาเซลเซียส
- 5) ผสมพันธุ์ 30 - 33 องศาเซลเซียส
- 6) เมล็ดแก่ 20 - 29 องศาเซลเซียส

2.4.2.4 อากาศ ในการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของข้าวต้องการพลังงานที่ได้จากการหายใจจึงต้องมีอากาศอย่างเพียงพอเพื่อให้ข้าวการหายใจได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ข้าวยังต้องการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงด้วย

2.4.2.5 น้ำ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต ทำหน้าที่ดูดแร่ธาตุอาหาร ลำเลียงอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ ทั้งคุณภาพน้ำ ปริมาณน้ำ ซึ่งจะเกี่ยวข้องต่อเนื่องกับดิน ธาตุอาหาร ความชื้นในดิน หรือน้ำ เป็นต้น [21], [22]

2.5 สารสำคัญในข้าว (Compound in rice)

2.5.1 สารที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต

2.5.1.1 โพรลีน (Proline)

โพรลีนเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่ถูกสร้างขึ้นจากกลูตาเมต (Glutamate) เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเมื่อพืชได้รับความเครียดโพรลีนจะเป็นตัวปรับค่าแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) [23] ของเซลล์ เมื่อพืชอยู่ในสภาวะดินเค็มทำให้พืชนำน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง พืชจะมีการสังเคราะห์โพรลีนเพื่อรักษากิจกรรมของเอนไซม์ให้ทำงานอย่างปกติ ช่วยรักษาโครงสร้างของเซลล์ให้ยังคงเหมือนเดิม [24] ทำให้พืชสามารถทนต่อภาวะความเครียดของพืชที่เกิดขึ้นระหว่างการเติบโตได้ [25] พืชแต่ละชนิดจะสามารถทนสภาวะความเค็มที่เกิดขึ้นแต่ละระยะต่างกัันดังนี้ [26]

2.5.1.1.1 ระยะงอก ความเค็มจะทำให้เมล็ดพืชงอกช้ากว่าปกติ

2.5.1.1.2 ระยะกล้าอ่อน พืชจะมีผลกระทบจากสภาวะเค็มมากในช่วงระยะนี้ และร้อยละการตายของพืชจะสูงกว่าระยะ

2.5.1.1.3 ระยะก่อนออกดอก ระยะสามารถทนต่อสภาวะความเค็มได้สูง แต่มีการเจริญเติบโตช้า

2.5.1.1.4 ระยะออกดอก ความเค็มมีผลต่อเกสรตัวผู้ ทำให้การผสมเกสรติน้อยลง มีลักษณะเมล็ดลีบลง ส่งผลเสียต่อผลผลิต

2.5.1.1.5 ระยะเก็บเกี่ยว เป็นผลกระทบจากระยะที่ได้รับก่อนหน้า

ในกระบวนการสร้างโพรลีนจะมีส่วนประกอบของไนโตรเจนอยู่ หากอยู่ในสภาวะนี้เป็นเวลานานพืชจะมีการสังเคราะห์โพรลีนเพิ่มมากขึ้น ถือว่าเป็นการเพิ่ม

สารประกอบไนโตรเจนด้วยและจะสามารถนำไนโตรเจนมาใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้เมื่อพืชอยู่ในสภาวะปกติแล้ว การสะสมโพรลีนเมื่อพืชพบเกิดภาวะความเครียดเกิดจาก 3 สาเหตุ ดังนี้

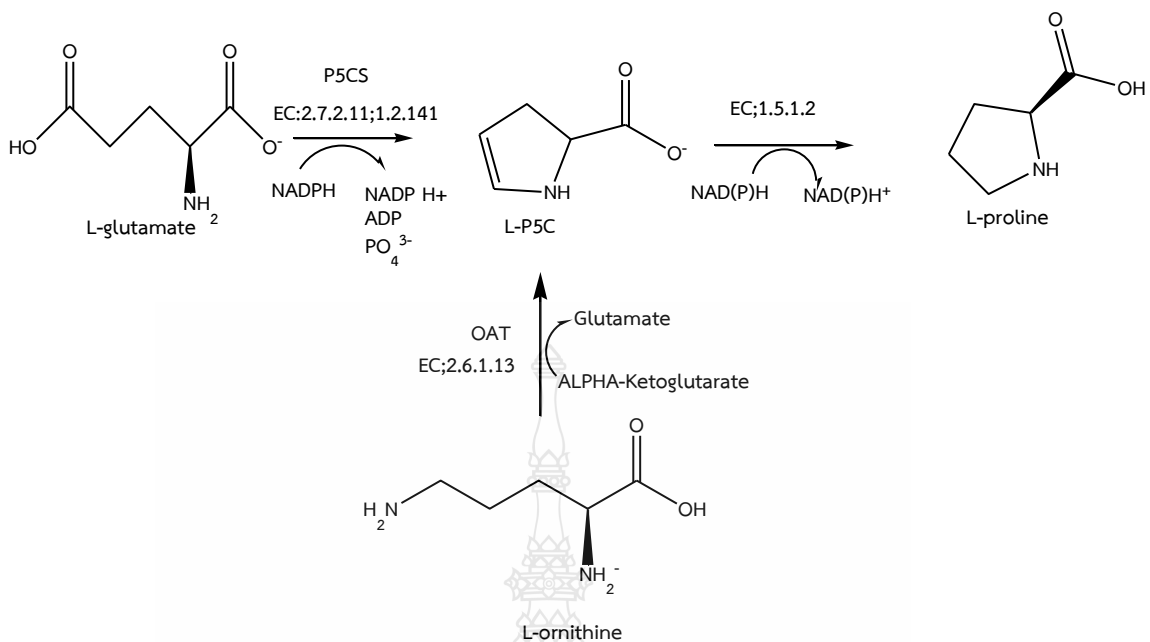
ก) กระบวนการสร้างโพรลีนจะมีการสร้างกลูตามิล-แกมมา-เซมิอัลดีไฮด์ (Glutamyl-gamma-semialdehyde) และสร้างได้ดีขึ้นเมื่อพืชได้รับความเครียด แต่จะมีการยับยั้งการเปลี่ยนกลูตาเมต (Glutamate) ให้เป็น 2-ออกซากลูตาเลท (2-oxoglutarate) แล้วทำให้เกิดการสร้างไพโรลีน-5-คาร์บอกซิเลท (Pyrroline-5-carboxylate; P5C) เพิ่มมากขึ้น และทำให้เกิดการสังเคราะห์โพรลีนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ข) กระบวนการสร้างโพรลีน โพรลีนออกซิเดชัน (Proline oxidation) ถูกยับยั้ง โพรลีนจะเปลี่ยนกลับไปเป็นกลูตาเมตได้ช้าลงเมื่อพืชได้รับความเครียด

ค) กระบวนการสร้างโพรลีนในพืชจะช้าลง เมื่อพืชได้รับความเครียดจึงทำให้โพรลีนเพิ่มมากขึ้นสภาพความเครียด ทำให้กระบวนการสร้างโพรลีนช้าลงจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการสะสมโพรลีน และโพรลีนจะมีการสะสมก่อนพืชเจริญเติบโต

2.5.1.2 กระบวนการสร้างโพรลีน

การสังเคราะห์โพรลีนเริ่มต้นจากกลูตาเมต โดยมีเอนไซม์แกมมา-กลูตามิลไคเนส (gamma-glutamyl kinase) และเอนไซม์แกมมา-กลูตามิล เซมิอัลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนส (Gamma-glutamyl semialdehyde dehydrogenase) เป็นเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ปฏิกิริยานี้จะได้สารกลูตามิลแกมมาเซมิอัลดีไฮด์ (glutamyl-gamma-semialdehyde) หลังจากนั้นเกิดกระบวนการดึงน้ำออก (Dehydration) จากปฏิกิริยานี้ทำให้ได้ไพโรลีน-5-คาร์บอกซิเลท (Pyrroline-5-carboxylate; P5C) แล้วเกิดกระบวนการรีดักชัน (Reduction) โดยเอนไซม์ไพโรลีน-5-คาร์บอกซิเลทรีดักเทส (Pyrroline-5-carboxylate reductase; P5CR) เป็นเอนไซม์ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้สารโพรลีน แล้วโพรลีนจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้างโพรลีนเพื่อการเจริญเติบโตของพืช [27]



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์โพรลีน

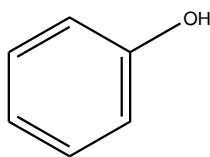
2.5.1.3 การสลายตัวของโพรลีน

โพรลีนเกิดการสลายตัวจากกระบวนการโพรลีนออกซิเดชัน โดยเอนไซม์คือ เอนไซม์โพรลีนออกซิเดส (Enzyme proline oxidase) เป็นเอนไซม์ที่ทำปฏิกิริยา แล้วจะได้สารโพรลีน-5-คาร์บอกซิเลท แล้วจากโพรลีน-5-คาร์บอกซิเลทจะเกิดปฏิกิริยาอีกขั้นตอนหนึ่งโดยมีเอนไซม์โพรลีน-5-คาร์บอกซิเลทดีไฮโดรจีเนส (1-pyrroline-5-carboxylate dehydrogenase) มาเกี่ยวข้อง ในปฏิกิริยาแล้วได้เป็นกลูตาเมท ในกระบวนการนี้โพรลีนจะเกิดขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาวะปกติ แต่ถ้าในระหว่างเกิดกระบวนการพืชได้รับความเครียดอีก กระบวนการโพรลีนออกซิเดชันจะถูกยับยั้งแล้วทำให้โพรลีนไม่สามารถสลายตัวได้ [28]

2.5.2 สารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมีความสำคัญต่อสุขภาพมนุษย์ ปัจจุบันการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น และการสกัดเหล่านั้นสามารถไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร และยา เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ [29] สารสกัดจากข้าวมีประโยชน์มากมายต่อสุขภาพเนื่องจากความหลากหลายด้านสารต้านอนุมูลอิสระ อาทิเช่น ฟีนอล, แอนโทไซยานิน แคโรทีนอยด์ และวิตามิน และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ อาทิเช่น ธาตุอาหารและส่วนประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ส่งผลให้การบริโภคผลิตภัณฑ์จากข้าวแต่ละชนิดแตกต่างกันมาก สารสำคัญที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ อาทิเช่น สารประกอบฟีนอล (Phenol) ฟีนอลิก (Phenolic) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) [30] ซึ่งสารจำพวกนี้เป็นสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ อธิบายได้ดังนี้

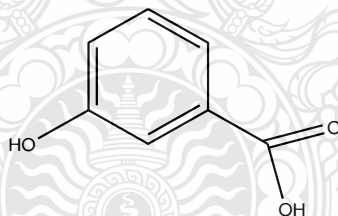
2.5.2.1 สารประกอบฟีนอล (Phenol)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างสารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอล (Phenol) เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่ผลิตได้จากสารประกอบอะโรมาติก อาทิเช่น เบนซีน โทลูอิน มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซีนมีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ต่อกับกลุ่มอะโรมาติกในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ เป็นที่รู้จักกันในอีกรูปแบบ เช่น ฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ [31] สารฟีนอลเป็นสารประกอบทั่วไปที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ [32] สารนี้มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถต้านมะเร็ง ต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านเชื้อไวรัสและต้านการอักเสบได้และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

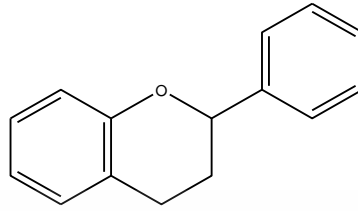
2.5.2.2 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกสามารถพบได้อย่างกว้างขวางในพืช มีคุณประโยชน์ที่หลากหลายต่อสุขภาพ สารประกอบฟีนอลิกหลายตัวที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว เช่น กรดฟีนอลิกและฟีนอลิกอัลดีไฮด์ [33] มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและมีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพสามารถป้องกันโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือดและโรคมะเร็ง สำหรับพืชสมุนไพรที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกจะมีสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสซึ่งเกี่ยวข้องการสร้างเม็ดสีของผิวหนังทำให้ผิวหนังคล้ำเสีย

2.5.2.3 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์เป็นสารพฤกษเคมีที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในร่างกายของเรา คือ ไอโซฟลาโวนอยด์พบในสารที่มีสีจากผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช ใบไม้และเปลือกไม้ พืชแต่ละชนิดจะมีฟลาโวนอยด์แต่ละประเภทในความเข้มข้นที่ต่างกัน ฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบฟีนอลประเภทพอลิฟีนอล (polyphenol) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนแอรอมาติกที่มีหมู่ไฮดรอกซิลรวมอยู่ในโมเลกุล 2 วงขึ้นไป สามารถละลายในน้ำได้ ส่วนใหญ่มักพบอยู่รวมกับน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) สารประกอบฟลาโวนอยด์ ได้แก่ ฟลาโวนอน ฟลาโวน ไอโซฟลาโวน ฟลาโวนอลและแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์บางชนิดสามารถต้านอนุมูลอิสระเหนือกว่าวิตามินซี หรือวิตามินอีถึง 50 เท่า และต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าวิตามินอีกว่าหนึ่งพันเท่า นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ต้านไวรัส ต้านอาการแพ้และต้านการอักเสบได้ [34]

2.6 โรคเบาหวาน

โรคเบาหวาน (Diabetes mellitus) เกิดจากร่างกายสร้างฮอร์โมนอินซูลินได้ไม่เพียงพอ เนื่องจากมีความผิดปกติในระดับเซลล์ ส่งผลต่อการสลายคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมันในร่างกาย ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติและถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ องค์การอนามัยโลกแบ่งประเภทของโรคเบาหวานออกเป็น 4 ประเภทตามสาเหตุของการเกิด [35] แต่ที่เป็นปัญหามากด้านสาธารณสุขมี 2 ประเภท คือ

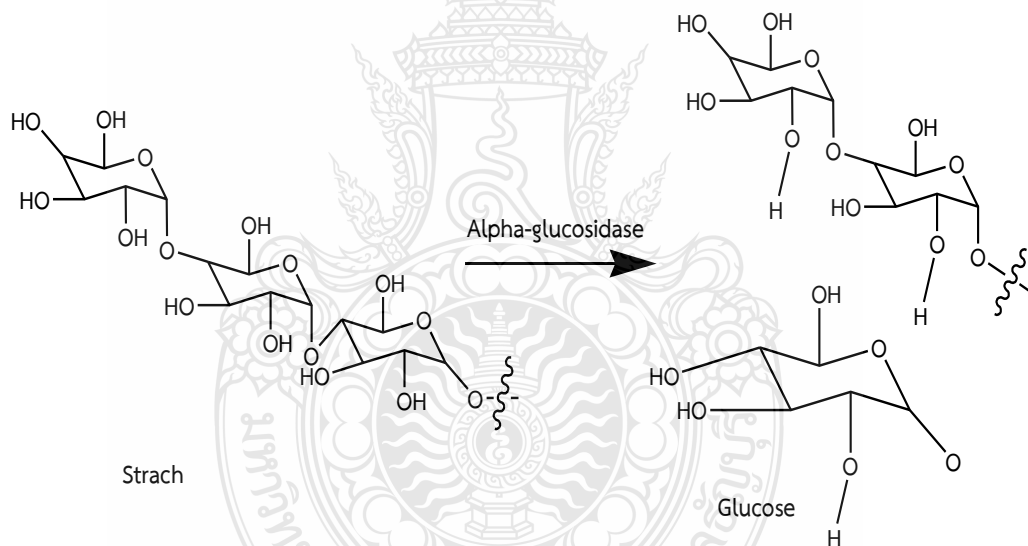
โรคเบาหวานชนิดที่ 1 (Type 1 diabetes mellitus) ซึ่งเกิดจากเซลล์ในตับอ่อนผลิตฮอร์โมนอินซูลินไม่ได้ หรือผลิตได้แต่ไม่เพียงพอ พบว่ามีผู้ป่วยโรคเบาหวานประเภทนี้ประมาณร้อยละ 5-10 ของผู้ป่วยเบาหวานทั้งหมด

โรคเบาหวานอีกประเภทหนึ่ง คือ โรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 diabetes mellitus) ซึ่งเกิดจากการที่เซลล์ในตับอ่อนผลิตฮอร์โมนอินซูลินได้แต่ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากตัวรับสัญญาณฮอร์โมนในระดับเซลล์เกิดความผิดปกติ ทำให้เซลล์ไม่สามารถนำกลูโคสไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน รวมไปถึง

ถึงการสังเคราะห์ไขมันและโปรตีนในร่างกายได้ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูง ผู้ป่วยกว่าร้อยละ 90 เป็นโรคเบาหวานประเภทนี้ การรักษาก็เน้นไปที่การลดระดับน้ำตาลในเลือดด้วยวิธียับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase) จากลำไส้เล็ก และเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -Amylase) จากตับอ่อน [36]

เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase)

เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส เป็นเอนไซม์ที่อยู่บริเวณของผนังเซลล์ของลำไส้เล็ก เอนไซม์ชนิดนี้จะย่อยน้ำตาลโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายโมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟาไกลโคซิดิกด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลกลูโคส เข้าสู่กระแสเลือด และไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ในร่างกาย[37] โดยปกติน้ำตาลจะเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้เป็นพลังงานภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนอินซูลิน หากการผลิตอินซูลินไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จะทำให้อินซูลินทำงานได้ไม่เต็มที่ส่งผลให้น้ำตาลในเลือดสูงตลอดเวลา ทำให้ร่างกายมีความผิดปกติแล้วเกิดโรคเบาหวานได้

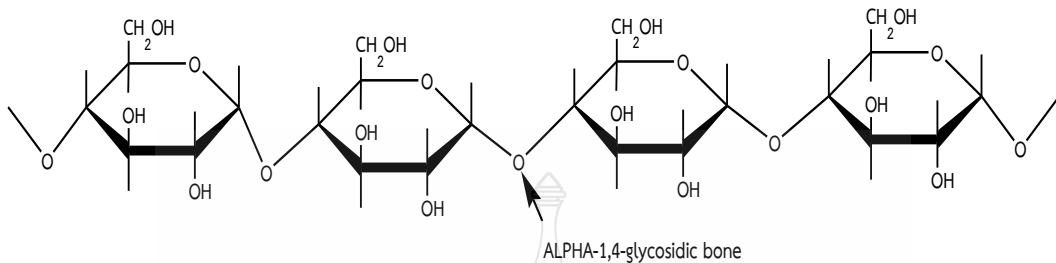


รูปที่ 2.7 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส

เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -Amylase)

แอลฟาอะไมเลสเป็นเอนไซม์สำคัญที่พบในตับอ่อน และน้ำลายซึ่งแบ่งโมเลกุลแป้งที่ไม่ละลายน้ำขนาดใหญ่ออกเป็นโมเลกุลที่สามารถดูดซึมได้ ซึ่งจะไฮโดรไลซ์พันธะในโมเลกุลของแป้ง (Starch) ให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง ทำให้ได้เป็นเดกซ์ทริน (Dextrin) และน้ำตาล (Sugar) ไตแซ็กคาไรด์ เช่น มอลโทส (Maltose) อัลฟาอะไมเลส จะไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิดิกภายในสายพอลิเมอร์ของโมเลกุลของแป้ง และไกลโคเจน (Glycogen) ที่ตำแหน่งอัลฟา 1 และ 4 แบบสุ่มทำให้

โมเลกุลของสตาร์ชและไกลโคเจนถูกไฮโดรไลซ์ได้น้ำตาล เช่น น้ำตาลมอลโทส (Maltose) และมอลโท-เดกซ์ทริน (Maltodextrin) อย่างรวดเร็ว [38]



รูปที่ 2.8 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

การรักษาโรคเบาหวานนั้นจะเป็นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทั้งสองชนิด ซึ่งจะช่วยลดการย่อยคาร์โบไฮเดรตจึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลง ซึ่งปัจจุบันมีวิธีการรักษา ดังนี้

2.6.1 การรักษาโรคเบาหวาน

ผู้ป่วยโรคเบาหวานประเภทที่ 1 เนื่องจากตับอ่อนไม่สามารถสร้างฮอร์โมนอินซูลินได้เพียงพอต่อการนำน้ำตาลเข้าสู่เส้นเลือด ผู้ป่วยจำเป็นต้องได้รับฮอร์โมนอินซูลินเข้าไปทดแทนในร่างกาย ตั้งแต่ในระยะแรก ๆ ไปจนตลอดชีวิตการฉีดอินซูลิน ควบคู่ไปกับการคุมอาหารและออกกำลังกายที่เหมาะสม ซึ่งแพทย์จะพิจารณาตามอาการของผู้ป่วยแต่ละราย

ผู้ป่วยโรคเบาหวานประเภทที่ 2 การรักษาผู้ป่วยโรคเบาหวานประเภทที่ 2 จะใช้ยาที่มีฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดโดยการเพิ่มการตอบสนองของฮอร์โมนอินซูลินให้ดีขึ้นและเพิ่มการใช้น้ำตาลกลูโคสในร่างกายมากขึ้น เช่น ยาเมทฟอร์มิน (Metformin) ยาในกลุ่มซัลโฟนิลยูเรีย (Sulfonylureas) ไบควัวไนด์ (Biguanide) ยาในกลุ่มโรอะโซลิดีนไดโอน (Thiazolidinediones) ยายับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase Inhibitor) เป็นต้น นอกจากนี้ในบางรายอาจมีการฉีดอินซูลินในกรณีที่การรับประทานยาไม่ได้ผล

2.6.2 ยาที่ใช้รักษาโรคเบาหวาน

สำหรับยาที่ช่วยรักษาโรคเบาหวานจัดเป็นยาที่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสและเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ซึ่งช่วยลดการดูดซึมกลูโคสจากลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือด ตัวอย่างยาที่ใช้ทั่วไปและมีประสิทธิภาพมาก คืออะคาร์โบส (Acarbose)

ยารักษาโรคเบาหวานมี 2 รูปแบบ คือ ยากินและยาฉีดอินซูลิน ดังนี้

2.6.2.1 เมทฟอร์มิน (Metformin) มีตัวยา 500 มิลลิกรัมต่อเม็ดจัดอยู่ในกลุ่มยาไบควัวไนด์ (Biguanide)

2.6.2.2 ไกลพิไซด์ (Glipizide) มีตัวยา 5 มิลลิกรัมต่อเม็ด จัดอยู่ในกลุ่มยาไกลเบน-คลาไมด์ (Sulfonylurea)

2.6.2.3 ไพโอกลิตาโซน (Pioglitazone) มีตัวยา 30 มิลลิกรัมต่อเม็ด จัดอยู่ในกลุ่มยาไพโอกลิตาโซน (Thiazolidinedione)

2.6.2.4 ยาฉีดอินซูลิน (Insulin) สำหรับผู้ป่วยเบาหวานที่ดื้ออินซูลินไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายและผู้ป่วยเบาหวานที่มีโรคแทรกซ้อนทางตับ ไตและรักษาโดยยาชนิดรับประทานไม่ได้ผล [39]

2.6.3 ยาจากธรรมชาติ

ยามธุระเมหะ ประกอบด้วยสมุนไพรทั้งหมดจำนวน 29 ชนิด ยาดำรับสมุนไพรชนิดนี้เป็นรูปแบบยาต้มประกอบด้วยสมุนไพร กำแพงเจ็ดชั้น ข้าวเย็นเหนือ ข้าวเย็นใต้ รากคนทา ครอบจักรวาล โศกกระสุน ชะเอมไทย หัวเต่าเกียด หัวเต่าร้าง ทองพันชั่ง บอระเพ็ด ฟ้าทะเลยาใจรวมกว ขาว มวกแดง มะแว้งเครือ รากลำเจียก สมอไทย สมอพิเภก สมอเทศ ส้มม้าทะเลยา หัวร้อยรู หัวหมู เหงือกปลาหมอ รากหญ้าคา หญ้าหนวดแมว ใบอินทนิล ปลาไหลเผือก ขมิ้นเครือ กระแตไต่ไม้ หนักร้อยอย่างละเท่ากัน [39]

2.7 การสร้างเม็ดสีเมลานิน

กระบวนการสร้างเม็ดสีเมลานิน เรียกว่า เมลาโนเจนีซิส (melanogenesis) เมลาโนเจนเป็นเม็ดสีที่สร้างมาจากเมลานोไซท์โดยมีแสงยูวีเป็นตัวกระตุ้นผ่านกระบวนการเมลาโนเจนีซิส โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนแอล-ไทโรซีนเป็นแอล-โดปาและโดปาคิวโนน แล้วสังเคราะห์เป็นเม็ดสีเมลานินสองชนิด ได้แก่ ยูเมลานินและฟีโอเมลานิน โดยมีเอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการนี้ หากเอนไซม์ชนิดนี้ทำงานมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางผิวหนังได้แก่ รอยด่างดำ ผื่นและกระ ในทางชีวเคมีการสังเคราะห์เมลานิน [40] มีกระบวนการดังนี้

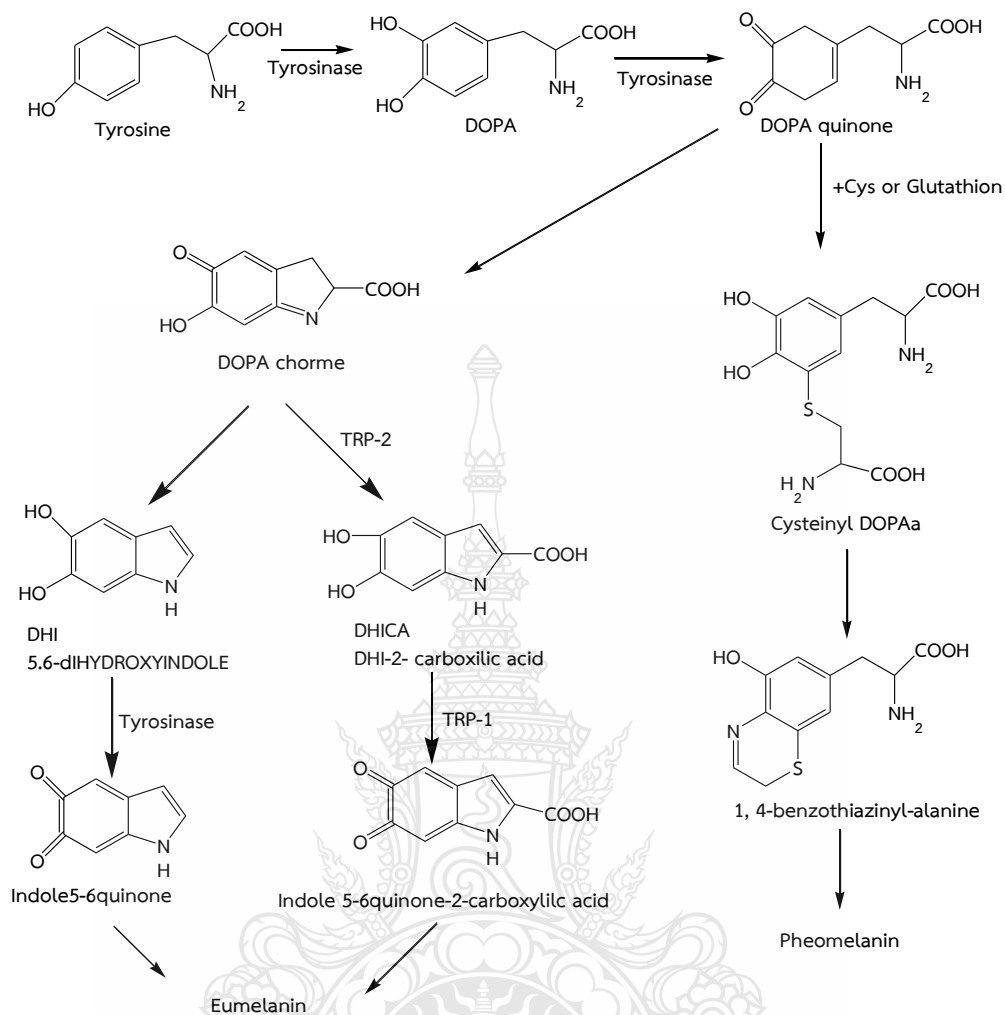
2.7.1 กระบวนการสร้างเม็ดสีเมลานิน

เอนไซม์ไทโรซิเนสเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันเปลี่ยนแอลไทโรซีน (L-tyrosine) เป็น 3,4-ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานินหรือแอล-โดปา (3,4-dihydroxyphenylalanine, L-DOPA) จากนั้นแอล-โดปาถูกออกซิไดซ์ไปเป็นโดปาคิวโนน (DOPAquinone) จากนั้นจึงสังเคราะห์ต่อเป็นเมลานิน ซึ่งมีด้วยกันสองชนิด ได้แก่ ยูเมลานิน (Eumelanin) และฟีโอเมลานิน (Pheomelanin) ทั้งนี้เม็ดสีเมลานินทั้งสองชนิดมีวิธีการสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน หลังจากนั้นเม็ดสีเมลานินเหล่านี้จะถูกขนส่งไปเก็บไว้ที่เมลานโซม เพื่อส่งเม็ดสีเหล่านี้ไปที่เคราติโนไซท์ซึ่งอยู่ที่ชั้นผิวหนัง [40]

เอนไซม์ไทโรซิเนส (Tyrosinase)

เอนไซม์ไทโรซิเนส เป็นเอนไซม์ที่พบในสิ่งมีชีวิตหลายชนิดในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เอนไซม์นี้มีหน้าที่สร้างเม็ดสีให้ผิวหนัง ผม และตาในพืชผักผลไม้เกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดสีหมองคล้ำเมื่อถูกกระทบ หรือขีดข่วน ซึ่งเป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของสารประกอบฟีนอล โดยทั่วไปเอนไซม์ไทโรซิเนสจะพบในธรรมชาติ ภายในโครงสร้างของเอนไซม์มีทองแดง (Cu) ซึ่งมีหน้าที่ทำงานร่วมกับออกซิเจนเพื่อเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น ซึ่งไทโรซิเนสเป็นเอนไซม์หลักที่ในกระบวนการสังเคราะห์เมลานินซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับสีผิวของมนุษย์ โดยเอนไซม์ชนิดนี้จะเร่งปฏิกิริยาในขั้นเริ่มต้นของกระบวนการคือ เร่ง ปฏิกิริยาของแอลไทโรซินและ 3,4-ไดไฮดรอกซิล-แอลฟีนิลอะลานีนให้เป็นโดพาคิวโนน นอกจากนี้ในกระบวนการสร้างเม็ดสียังมีเอนไซม์ไทโรซิเนสที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [41]





รูปที่ 2.9 กระบวนการสังเคราะห์เมลานินโดยมีเอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.7.2 การยับยั้งการสร้างเม็ดสีเมลานิน

กลไกการควบคุมให้ร่างกายมีการสร้างเม็ดสีเมลานินลดลงมีได้หลายกลไก ได้แก่ การยับยั้งการสังเคราะห์เอนไซม์ไทโรซิเนส ซึ่งจะมีผลการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสในกระบวนการสร้างเม็ดสี หรือการเร่งการผลัดเซลล์ผิวหนัง การยับยั้งการขนส่งเมลานินโซม การยับยั้งกระบวนการอักเสบ และการดักจับอนุมูลอิสระ [42] โดยสารจากธรรมชาติที่ใช้รักษาเม็ดสีเมลานิน อาทิเช่น

2.7.2.1 อาร์บูติน (Arbutin) ทำหน้าที่ไปต้านการสังเคราะห์เมลานิน โดยทำให้การทำงานของเอนไซม์พอลิเมอเรส (DHICA polymerase) ลดลงจนไม่สามารถสร้างเมลานินโซมได้ และเหตุผลที่นำอาร์บูตินมาใช้ในผลิตภัณฑ์ผิวขาวเนื่องจากมีความปลอดภัยและเป็นพิษน้อยกว่าไฮโดรควิโนน จึงทำให้เกิดการระคายเคืองน้อยกว่า

2.7.2.2 ควิโนน (Quinone) สกัดแยกได้จากพืช ได้แก่ แครนเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ ข้าวสาลี และลูกแพร์มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการสร้างเม็ดสีโดยไปจับกับเอนไซม์ไทโรซิเนสสามารถยับยั้งได้ทั้งขั้นตอนปฏิกิริยาการเติมหมู่ไฮดรอกซีให้ไทโรซีนและปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลโดปา

2.7.2.3 สารไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) มีความเป็นพิษต่อเซลล์เม็ดสี ทำให้เม็ดสีตายและเกิดจุดด่างขาวถาวรได้

2.7.2.4 กรดวิตามินเอ (Retinoic Acid) ทำให้ผิวผลัดเซลล์ผิวขึ้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองผิวและไวต่อแสงแดดได้ง่าย

2.7.3.5 สารสเตียรอยด์ (Steroids) ที่ใช้ลดการระคายเคืองผิว แต่ก็ส่งผลให้คอลลาเจนถูกทำลาย จนเป็นเหตุให้ผิวบางและกตมูมิคุมกันผิว

2.7.3.6 กรดโคจิก (Kojic acid) โดยกรดโคจิกจะไปจับกับคอปเปอร์ที่บริเวณเร้งของเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์หยุดทำงาน โดยส่วนใหญ่กรดโคจิกถูกนำไปใช้ในการรักษา ฝ้า กระ [43]

2.7.3.7 สารกลุ่มโพลีฟีนอล (Polyphenols) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าสารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ต้านไวรัสต้านอนุมูลอิสระและต้านมะเร็ง [44]

2.8 อนุมูลอิสระ (Free radical)

อนุมูลอิสระเป็นสารที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (Unpaired electron) อยู่วงนอกสุดของอะตอมในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต จะมีอนุมูลอิสระของออกซิเจน มีปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ได้แก่ รังสียูวี โอโซน ควันจากท่อไอเสีย และควันบุหรี เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้สามารถทำให้มีอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

อนุมูลอิสระส่วนใหญ่มีความไม่คงตัวและไวต่อปฏิกิริยาโดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical) ซึ่งจัดเป็นสารออกซิไดส์แรงสูง (Reactive oxygen species, ROS) มีความว่องไวสูงสุด สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้นยังทำให้เกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ภายในร่างกายไม่ว่าจะเป็นการทำลายโครงสร้างดีเอ็นเอ (DNA) การเปลี่ยนสภาพโปรตีนตลอดจนไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์หรือการสร้างพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กับโปรตีนหรือเอนไซม์บางชนิดจนทำให้การทำงานของโปรตีนหรือเอนไซม์นั้น ๆ ผิดปกติไป ถ้าร่างกายมีอนุมูลอิสระสะสมมาก ๆ อาจนำไปสู่การเกิดโรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคพาร์กินสัน โรคต้อกระจก เป็นต้น [45]

2.10 เทคนิคการเพิ่มสารสำคัญในข้าว

2.10.1 ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซานเป็นเทคนิคที่ช่วยเพิ่มผลผลิตโดยจะทำให้พืชดูดซับน้ำและปุ๋ยได้ดีขึ้น เนื่องจากสารไคโตซานเป็นสารโพลีเมอร์ธรรมชาติสกัดได้จากเปลือกกุ้ง กระจดองปูและแกนหมึก ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของราก และยังพบว่าสารไคโตซานสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ใช้เคลือบเมล็ดพืช ไปไม้ ผลไม้และพืชผักส่งออก และสามารถกระตุ้นให้พืชต้านทานเชื้อราและไวรัสได้ มีการนำอนุภาคนาโนของไคโตซานไปใช้ทั่วโลก รวมถึงด้านการเกษตร เนื่องจากความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ การละลายได้และการซึมผ่านสูง [46] และพบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าวัสดุจำนวนมาก อนุภาคนาโนของไคโตซานเพื่อใช้เป็นสารเคมีทางการเกษตรในการป้องกันพืชจากเชื้อรา ไคโตซานช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืช ใช้สำหรับปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มธาตุอาหารในดิน ปรับปรุงดินเค็ม และดินที่เป็นกรดต่าง ช่วยเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช ป้องกันโรคพืช ป้องกันการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ และยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ [7]

2.10.2 เทคนิคการตัดต่อยีน (Genetically Modified Organisms; GMOs)

เทคนิคการตัดต่อยีนคือเทคนิคที่ใช้ดัดแปลงพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต เช่น พืช สัตว์ จุลินทรีย์ที่ได้รับการดัดแปลงพันธุกรรมโดยใช้เทคโนโลยีพันธุวิศวกรรม (เทคนิคการตัดต่อยีน) เพื่อให้มีคุณสมบัติ หรือคุณลักษณะตามที่ต้องการอย่างจำเพาะเจาะจง เช่น ต้านทานโรค ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม หรือเพิ่มสารสำคัญบางชนิด เช่น วิตามินที่มีประโยชน์ เทคนิคการตัดต่อยีนจีเอ็มโอไม่ใช่สารปนเปื้อน หรือสารเคมีแต่ถือว่าการเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ ทำให้พืชมีลักษณะที่ดีขึ้นกว่าพันธุ์เดิม การดัดแปลงพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตคือการนำสายพันธุกรรม (ยีน) ที่ควบคุมลักษณะตามต้องการ ถ่ายเข้าสู่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่เราต้องการปรับปรุง วิธีการถ่ายยีนมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้กระแสไฟฟ้า หรือสารเคมี การยิงอนุภาคทองคำที่เคลือบยีนโดยใช้แรงดันลมจากแก๊สเฉื่อย หรือการใช้แบคทีเรียนำพาเอ็นเข้าสู่เซลล์ 2 วิธีหลังใช้กับพืชเท่านั้น [8], [47]

2.10.3 การฉายรังสีแกมมา (Gamma radiation)

การฉายรังสีแกมมาเป็นวิธีหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีในพืช ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่รวดเร็ว และเชื่อถือได้สำหรับการปรับปรุงพันธุ์พืช ส่วนใหญ่จะทำการฉายรังสีแกมมาในส่วนของเมล็ดพืช เป็นหนึ่งในวิธีทางกายภาพที่สำคัญที่ใช้ในการปรับปรุงลักษณะและผลผลิตของพืชหลายชนิด การใช้เทคนิคการฉายรังสีแกมมานั้นมีบทบาทสำคัญในกระบวนการการปรับปรุงพันธุ์ [48]

2.11 เทคนิคการฉายรังสีแกมมา (Gamma irradiation)



รูปที่ 2.10 เครื่องฉายรังสีแกมมา [49]

2.11.1 รังสีแกมมา (Gamma ray; γ -ray)

รังสีแกมมา เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ชนิดหนึ่งมีความยาวคลื่นสั้น (น้อยกว่า 10-13 นาโนเมตร) รังสีแกมมามีพลังงานสูงสุดในบรรดาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมด ในกระบวนการฉายรังสีนั้นรังสีแกมมาถูกปลดปล่อยออกมาจากสารกัมมันตรังสี ได้แก่ โคบอลต์ - 60 (Cobalt - 60; ^{60}Co) หรือซีเซียม - 137 (Cesium - 137, ^{137}Cs) ซึ่งสารกัมมันตรังสีทั้งสองมีคุณสมบัติ ดังนี้

2.11.1.1 โคบอลต์ - 60 เป็นสารกัมมันตรังสีที่ได้รับความนิยมมากกว่าซีเซียม-137 โดยโคบอลต์ - 60 ให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1.17 - 1.33 เมกะ อิเล็กตรอนโวลต์ (MeV) มีค่าครึ่งชีวิต (Half life) 5.3 ปี โดยพลังงานรังสีจะลดลงในอัตราร้อยละ 12.5 ต่อปี [50] เมื่อโคบอลต์ (-60) สิ้นสุดการสลายตัวจะเปลี่ยนไปเป็นนิกเกิล - 60 (Nickel - 60, ^{60}Ni)

2.11.1.2 ซีเซียม-137 เป็นแหล่งรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 0.66 อิเล็กตรอนโวลต์มีค่าครึ่งชีวิต 30.1 ปี สลายตัวตลอดเวลาจึงทำให้พลังงานของรังสีลดลงในอัตราร้อยละ 2.3 ต่อปี ซีเซียม-137 จะให้พลังงานแพร่ออกมาได้เพียงร้อยละ 70 เพราะท่อบรรจุมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของแท่งโคบอลต์-60ซึ่งแพร่รังสีแกมมาออกมาได้ร้อยละ 95 เมื่อซีเซียม - 137 สลายตัวสิ้นสุดลงจะเปลี่ยนเป็นแบเรียม (Barium; Ba) ที่ไม่มีสมบัติเป็นสารกัมมันตรังสีอีก [51]

2.11.2 ข้อดีการฉายรังสีแกมมา

2.11.2.1. มีความสามารถในการแพร่ผ่านเซลล์ได้สูง รังสีแกมมามีอำนาจทะลุทะลวงสูง แม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่นำมาฉายรังสีจะบรรจุในหีบห่อ หรือบรรจุภัณฑ์แล้วก็ตามจึงถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ

2.11.2.2. ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่ำ (Low chemical reactivity) จึงเกิดปฏิกิริยากับสารสำคัญในตัวอย่างได้น้อย

2.11.2.3. ระดับของสารตกค้างในปริมาณที่ต่ำ รังสีแกมมาจึงไม่ก่อให้เกิดรังสีตกค้างที่ทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์องค์การพลังงานปรมาณู ระหว่างประเทศองค์การอนามัยโลก องค์การอาหาร และเกษตรแห่งสหประชาชาติ ได้สรุปว่า การฉายรังสีอาหารภายใต้สภาวะควบคุมมีความปลอดภัย นอกจากนี้ยังไม่ก่อให้เกิดการตกค้าง

2.11.2.4. อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จึงเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน หรือทนความร้อนได้ไม่ดี

2.11.2.5. เป็นกระบวนการที่เสร็จสิ้นในขั้นตอนเดียวแบบอัตโนมัติไม่จำเป็นต้องควบคุมปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งปัจจัยที่ควบคุมความน่าเชื่อถือ มีเพียงปัจจัยด้านระยะเวลาเท่านั้น

2.11.2.6. เป็นวิธีที่มีความคุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับราคากับประสิทธิภาพ [52]

2.11.3 การฉายรังสีแกมมา (Gamma Irradiation)

การฉายรังสีแกมมาเป็นหนึ่งในสารก่อกลายพันธุ์ทางกายภาพที่พบว่ามีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีในพืช ผลทางชีวภาพของรังสีแกมมาจะส่งผ่านอะตอม หรือโมเลกุลในเซลล์พืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบต่อเซลล์น้ำเพื่อสร้างอนุมูลอิสระ รังสีแกมมาได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่รวดเร็ว และเชื่อถือได้สำหรับการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางสรีรวิทยา และทางชีวเคมีในพืช ส่วนใหญ่จะทำการฉายรังสีแกมมาในส่วนที่เป็นเมล็ดพืช เป็นหนึ่งในวิธีทางกายภาพที่สำคัญที่ใช้ในการปรับปรุงลักษณะและผลผลิตของพืชหลายชนิด การใช้เทคนิคการฉายรังสีแกมมานั้น มีบทบาทสำคัญในกระบวนการปรับปรุงพันธุ์พืช และการศึกษาในด้านพันธุกรรมของพืชเพื่อปรับปรุงผลผลิต และลักษณะที่ต้องการในพืชหลายชนิดภายใต้สภาวะปกติและความเครียด [53] มีการศึกษาจำนวนมากที่แสดงให้เห็นว่าการได้รับรังสีในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำอาจเป็นประโยชน์สำหรับการเร่งการเพิ่มจำนวนเซลล์ อัตราการงอก การเจริญเติบโตของเซลล์ กิจกรรมของเอนไซม์ ความต้านทานความเครียด และผลผลิตพืช จึงกลายเป็นวิธีที่แก้ปัญหาเกี่ยวกับการปลูกพืชทางการเกษตรมากมาย อาทิเช่น ลดความสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว และโรคที่เกิดจากอาหาร[54] ในทางตรงกันข้าม การฉายรังสีในเมล็ดพืชที่ปริมาณรังสีแกมมาสูงทำให้เกิดผลเสียต่อองค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตพืช

การฉายรังสีในพืชถือเป็นการผลิตอนุคลีโออิสระในเซลล์ที่มีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีน กิจกรรมของเอนไซม์ ความสมดุลของฮอร์โมน การแลกเปลี่ยนก๊าซของใบ และการแลกเปลี่ยนน้ำโดยขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ฉาย [55] ยิ่งไปกว่านั้นการฉายรังสีด้วยรังสีแกมมาจะส่งผลให้มีการเพิ่มการแตกตัวของดีเอ็นเอ วิธีดังกล่าวตรวจสอบได้โดยการเปลี่ยนแปลงของในทางชีววิทยา ภาวะพหุสัณฐาน (Polymorphic DNA : RAPD) ซึ่งขยายลำดับดีเอ็นเอของจีโนมแบบสุ่มโดยใช้ไพรเมอร์ซึ่งเป็นสายสั้น ๆ ของอาร์เอ็นเอ หรือดีเอ็นเอและสิ่งเหล่านี้สามารถใช้เป็นเครื่องหมายทางพันธุกรรมได้ นอกจากนี้ยังนิยมนำมาใช้กับพืชในการพัฒนาพันธุกรรมของพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และการเกษตร เนื่องจากมีศักยภาพในการผลิตสูง รังสีแกมมาจึงมีความสำคัญอย่างมากในการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมและการกลายพันธุ์ เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของพืชโดยมีการพัฒนาสายพันธุ์ของพืชหลายสายพันธุ์ทำให้มีประสิทธิภาพสูงในการต้านทานโรคหวัดเกลือได้ [56] เนื่องจากสามารถกำหนดปริมาณรังสีที่ต้องการได้ วิธีการฉายรังสีปลอดภัยกว่าการใช้สารเคมี และพันธุ์พืชที่ได้หลังจากการฉายรังสีอาจมีลักษณะลำต้นรูปร่างของใบที่แตกต่างออกไปจากเดิม นอกจากนี้ยังมีรายงานก่อนหน้านี้การฉายรังสีแกมมาเป็นที่รู้จักกันเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของแหล่งอาหาร เพิ่มและเร่งการเจริญเติบโตของผักบางชนิด และมีบทบาทสำคัญในการสร้างสายพันธุ์ใหม่ที่มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นซึ่งสามารถผลิตสารที่มีความสำคัญในเชิงพาณิชย์ได้มากขึ้น [53] การฉายรังสีแกมมาในขนาดที่เหมาะสม จะทำลายเชื้อที่อยู่ในผลิตภัณฑ์สมุนไพรได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามรังสีแกมมาอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพ และปริมาณสารสำคัญในสมุนไพรได้เล็กน้อยจึงอาจไม่เหมาะสมสำหรับสมุนไพรบางชนิด

เนื่องจากในเทคนิคการฉายรังสีแกมมามีผู้คนนิยมนำไปพัฒนาพันธุ์พืชอย่างมากมาย เช่นงานวิจัยของ Zhen Jiao และคณะ[12] ได้ทำการศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาและโมเลกุลของความทนทานต่อเกลือที่เพิ่มขึ้นจากการฉายรังสีแกมมาขนาดต่ำในเมล็ดผักกาด โดยทำการฉายรังสีแกมมาในเมล็ดก่อนทำการปลูกที่ปริมาณรังสี 0 25 50 75 100 และ 250 เกรย์ โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาโคบอลต์-60 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณรังสีที่ 25 ถึง 75 เกรย์ จะสามารถกระตุ้นร้อยละการงอกและความยาวของรากผักกาดได้ และกระตุ้นได้สูงสุดที่ปริมาณรังสี 50 เกรย์

งานวิจัยของ Z. Muhammad และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาการงอก การเจริญเติบโต และร้อยละการได้กลับคืนของพืชลินิน โดยทำการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 2 4 8 12 16 20 24 28 และ 32 กิโลแหรต โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาโคบอลต์-60 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณรังสีที่ 2 ถึง 20 กิโลแหรต ช่วยกระตุ้นความยาวของต้นลินิน และกระตุ้นได้ดีที่สุดที่ปริมาณรังสี 2 กิโลแหรต แต่ที่ปริมาณรังสี 24 กิโลแหรต ถึง 32 กิโลแหรต จะลดการเจริญเติบโตของลินิน

และยังมีรายงานว่านอกจากการฉายรังสีแกมมาทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้นแล้วยังมีงานวิจัยของ Akshatha K. R. [57] โดยทำการศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาต่อการงอกการ

เจริญเติบโต และองค์ประกอบทางชีวเคมีของสมอเทศ โดยทำการฉายรังสีแกมมาในเมล็ดก่อนทำการปลูกที่ปริมาณรังสี 0 25 50 100 150 และ 200 เกรย์ โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาโคบอลต์-60 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณรังสีที่ 25 เกรย์ จะกระตุ้นการเจริญเติบโตได้ แต่จะยับยั้งที่ปริมาณรังสี 50 ถึง 200 เกรย์ ในขณะที่การฉายรังสีแกมมาในปริมาณที่สูงขึ้นกระตุ้นปริมาณโปรตีนให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับไม่ฉายรังสี

นอกจากจะฉายรังสีแกมมาเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตแล้ว ยังมีรายงานวิจัยของ Eman E. Selem และคณะ [11] โดยทำการศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และชีวเคมีในเมล็ดแห้งของงา ที่ปริมาณรังสี 0 10 25 50 100 และ 200 เกรย์ ผลการศึกษาพบว่า การฉายรังสีแกมมาในปริมาณที่สูงขึ้นกระตุ้นปริมาณโปรตีน กรดอะมิโนอิสระ ฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ เช่นเดียวกัน ในขณะที่แคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์กระตุ้นได้สูงที่สุดแค่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ เท่านั้น แต่ในทางกลับกันปริมาณกรดแอสคอร์บิก หรือวิตามินซีจะลดลงเมื่อได้รับรังสีแกมมา เมื่อเทียบกับ 0 เกรย์

อย่างไรก็ตามพืชแต่ละชนิดจะทนต่อความเครียดที่ได้รับจากการฉายรังสีแกมมาได้ ในปริมาณที่ต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงสนใจทำการฉายรังสีแกมมาเพื่อพัฒนาการเจริญเติบโตของข้าว และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยมีรายงานวิจัยของ Fitri Masruroh และคณะ [58] โดยทำการศึกษาการปรับปรุงพันธุ์ข้าวหอมโปไธเรง (Cempo Ireng) ด้วยการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 0 100 200 300 400 และ 500 เกรย์ ผลการศึกษาพบว่า การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ กระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าวเล็กน้อย ในขณะที่ 300 ถึง 500 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของข้าวหอมโปไธเรง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือ

3.1.1.1 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

3.1.1.2 เครื่องเขย่า (Shaker)

3.1.1.3 เครื่องกวนสาร (Hotplate Stirrer)

3.1.1.4 แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Stirrers)

3.1.1.5 เครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixer)

3.1.1.6 ตู้ดูดควัน หรือตู้ระบายควัน (Fume hood)

3.1.1.7 ตู้อบร้อน (Hot air oven)

3.1.1.8 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)

3.1.1.9 กรวยกรอง (Funnel)

3.1.1.10 จานป้อนเชื้อ (Plate)

3.1.1.11 ไมโครปิเปต (Micropipettes)

3.1.1.12 บีกเกอร์ (Beaker)

3.1.1.13 หลอดขนาด 15 มิลลิลิตร (Tube 15 mL)

3.1.1.14 ไซริงค์กรองสาร ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร (Syringe Filter 0.45 μm)

3.1.1.15 กระดาษกรองเบอร์ 1 (Filter papers No.1)

3.1.1.16 ไม้บรรทัด (Ruler)

3.1.1.17 กระดาษลิตมัส (Litmus)

3.1.1.18 หลอดหยด (Dropper)

3.1.1.19 เครื่องบดแบบใช้ในไนโตรเจนเหลว (CryoMill (Retsch, Germany)

3.1.1.20 เครื่องเขย่าผสมสารชนิดหมุน (Multi Bio RS-24 vertical rotator mixer)

3.1.1.21 แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass

Spectrometer; GC-MS)

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 นินไฮดริน (Ninhydrin reagent, Sigma-Aldrich)

- 3.1.2.2 กรดอะซิติก (Acetic acid; CH₃COOH, Sigma-Aldrich)
- 3.1.2.3 โทลูอีน (Toluene; C₇H₈, RCI Labscan)
- 3.1.2.4 กรดซัลโฟซาลิไซลิก (5-Sulfosalicylic acid dehydrate)
- 3.1.2.5 โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (sodium phosphate buffer)
- 3.1.2.6 อะไมโลส จากมันฝรั่ง (Amylose from potatoes, Sigma-Aldrich)
- 3.1.2.7 เพอร์ออกซิเดส กลูโคสออกซิเดส (Peroxidase-glucose-oxidase; PGO, Sigma Aldrich)
- 3.1.2.8 2,2'-อะซิโน-บิส (3-เอทิลเบนโซไทโอะซีน-6-กรดซัลโฟนิก), (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid); ABTS, Sigma-Aldrich)
- 3.1.2.9 4-ไนโตรฟีนิล บีตา-D-กลูโคไพราโนไซด์ (4-Nitrophenyl α -D-glucopyranoside; 4-pNPG, Sigma-Aldrich)
- 3.1.2.10 โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate; Na₂CO₃, CARLO ERBA Reagents)
- 3.1.2.11 คลอโรฟอร์ม (Chloroform, CHCl₃, RCI Labscan)
- 3.1.2.12 แอมโมเนีย (Ammonia; NH₃, PanReac AppliChem ITW Reagents)
- 3.1.2.13 เอทิลอะซิเตท (Ethyl Acetate; EA)
- 3.1.2.14 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH, CARLO ERBA Reagents)
- 3.1.2.15 เบนดิคต์ (Benedict)
- 3.1.2.16 เพอร์ออกซิเดส-กลูโคส-ออกซิเดส (Peroxidase-glucose-oxidase; PGO, Sigma Aldrich)
- 3.1.2.17 กรดซัลฟิวริก (Conc.Sulfuric acid; conc.H₂SO₄, RCI Labscan)
- 3.1.2.18 เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride; FeCl₃, Sigma-Aldrich)
- 3.1.2.19 ไดเมทิล ซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide; C₂H₆OS)
- 3.1.2.20 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite; NaClO)
- 3.1.2.21 แอล-3,4-ไดไฮดรอกซีฟีนิลแอลานีน (L-3,4-dihydroxyphenylalanine; L-DOPA, Sigma-Aldrich)
- 3.1.2.22 2,2'-ไดฟีนิล-1-พิกริลไฮดราซิล (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; DPPH, Sigma-Aldrich)
- 3.1.2.23 กรดอะซิติก (Acetic anhydride, Quality Reagent Chemical (QREC))

3.1.3 เอนไซม์ (Enzyme)

3.1.3.1 เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส จากยีสต์ (α -Glucosidase enzyme from *Saccharomyces cerevisiae*, Sigma-Aldrich)

3.1.3.2 เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จากเชื้อรา (α -Amylase enzyme from *Aspergillus oryzae*, Sigma-Aldrich)

3.1.3.3 เอนไซม์ไทโรซิเนส จากเห็ด (Tyrosinase enzyme from mushrooms, Sigma-Aldrich)

3.1.4 ตัวอย่าง (Sample)

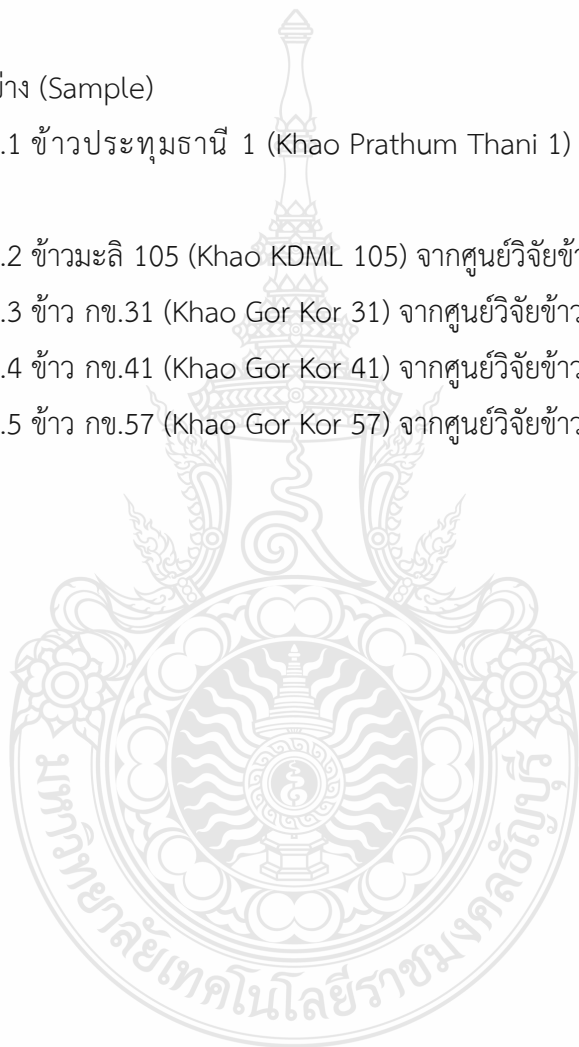
3.1.4.1 ข้าวประทุมธานี 1 (Khao Prathum Thani 1) จากศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดปทุมธานี

3.1.4.2 ข้าวมะลิ 105 (Khao KDML 105) จากศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดปทุมธานี

3.1.4.3 ข้าว กข.31 (Khao Gor Kor 31) จากศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดปทุมธานี

3.1.4.4 ข้าว กข.41 (Khao Gor Kor 41) จากศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดปทุมธานี

3.1.4.5 ข้าว กข.57 (Khao Gor Kor 57) จากศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดปทุมธานี



3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างข้าว

ทำการเตรียมเมล็ดข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 กข.41 และ กข.57 นำไปแช่ในโซเดียมไฮโปคลอไรท์ เข้มข้นร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 30 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเมล็ดข้าวมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 13 จากนั้นบรรจุใส่ถุงพลาสติก ถุงละ 50 กรัม ทั้งหมดจำนวน 12 ถุง แล้วเขียนสัญลักษณ์

3.2.1.2 ขั้นตอนการฉายรังสีแกมมา

พันธุ์ข้าวได้แก่ ข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 กข.41 และ กข.57 ที่ถูกบรรจุใส่ถุงทั้ง 12 ถุง ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างข้าว ถูกฉายรังสีแกมมาที่ความเข้มข้นของรังสี คือ 0 (ตัวควบคุม) 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีเป็นซีเซียม-137 ดำเนินการโดยศูนย์ฉายรังสีแกมมาและศูนย์วิจัยเทคโนโลยีนิวเคลียร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2.2 การเจริญเติบโตของข้าว

3.2.2.1 ขั้นตอนปลูกข้าว

ข้าวเปลือกที่ไม่ฉายรังสี (0 เกรย์) และฉายรังสี (5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์) จำนวน 10 กรัม ในบีกเกอร์ ถูกแช่ด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาจึงทำการปลูกข้าวบนกระดาษเพาะเมล็ดพีชที่เปียกในกล่องโฟมเก็บข้าวเมื่อครบอายุ 3 7 14 และ 30 วัน แล้ววัดความยาว พร้อมถ่ายรูปข้าว ในส่วนของข้าวอายุ 7 14 และ 30 วัน แยกรากและลำต้นของตัวอย่างแล้วเก็บตัวอย่างข้าวไว้ที่ติดลบ 20 องศาเซลเซียส เพื่อทำการสกัดโปรตีน และสกัดสารสำคัญในข้าว ต่อไป

3.2.2.2 ขั้นตอนการวัดการเจริญเติบโตของข้าว

เมื่อปลูกข้าวครบ 3 7 14 และ 30 วัน สุ่มตัวอย่างที่ความเข้มข้นปริมาณรังสี 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ มาตัวอย่างละ 5 ต้น ทำการวัดลำต้นและบันทึกค่าที่ได้ จากนั้นถ่ายรูป และเก็บตัวอย่างไว้ที่ติดลบ 20 องศาเซลเซียส

3.2.2.3 ขั้นตอนหาปริมาณโพรลิน

นำข้าวที่เก็บไว้ที่ติดลบ 20 องศาเซลเซียส มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา นำไปบดให้ละเอียดโดยใช้โกร่งบด จากนั้น ชั่งตัวอย่างข้าว 0.01 กรัม (ใส่หลอดขนาด 15 มิลลิลิตร) เติมสารละลายกรดซัลโฟซาลิไซลิกเข้มข้นร้อยละ 3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ดูดเอาส่วนใสแล้วกรองด้วย 0.45 ไมโครเมตร แล้วเติมสารละลายนินไฮดรินเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และกรดอะซิติก 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปต้มน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที เมื่อครบเวลานำออกมาตั้งไว้ รอให้เย็น แล้วเติมโทลูอีน 4 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 5 นาที จากนั้น นำสารละลายสีแดงใส่ด้านบนไปวัดค่าการดูดกลืนแสง 520 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้สารละลายโทลูอีนเป็นแบลนด์ แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานโพรลิน วิธีนี้ตัดแปลงมาจาก [59]

3.2.2.4 ขั้นตอนหาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

นำข้าวที่เก็บไว้ที่ติดลบ 20 องศาเซลเซียส จำนวน 3 กรัม มาบดให้ละเอียดแบบใช้ในไนโตรเจนเหลวโดยใช้เครื่องบด CryoMill (Retsch, Germany) แล้วชั่งตัวอย่างข้าวที่บดจำนวน 0.3 กรัม ใส่หลอดขนาด 2 มิลลิลิตร และจากนั้นเติมสารละลายเอทานอลปริมาตร 760 ไมโครลิตร (สารละลายเอทานอลที่มีสารมาตรฐาน 1, 1, 3, 3-เตตระเมธอกซีโพรเพน (1, 1, 3, 3 tetramethoxypropane) เข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ละลายอยู่ 10 ไมโครลิตร) แล้วผสมตัวอย่างที่เตรียมด้วยเครื่องผสมสารละลาย จากนั้นผสมสารตัวอย่างที่เตรียมด้วยเครื่องเขย่าผสมสารชนิดหมุนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนใสที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ [6]

3.2.2.5 ขั้นตอนวิเคราะห์ชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพถูกวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ โดยใช้คอลัมน์คอปิลลารี DB-Wax (60 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร) ในการจำแนกสารหอมระเหยทำได้โดย ทำการเปรียบเทียบกับสเปกตรัมกับสเปกตรัมของสถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ รุ่น 2011 และคำนวณปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

3.2.3 ขั้นตอนการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

นำตัวอย่างข้าวอายุ 3 วัน ออกจากอุณหภูมิติดลบ 20 องศาเซลเซียส มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้น แยกเปลือกข้าวออกแล้วอบเมล็ดข้าวอีกครั้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้ความชื้นของตัวอย่างข้าวเท่ากัน แล้วทำการบดตัวอย่างข้าวให้ละเอียดโดยใช้โกร่งบด จากนั้นทำการสกัดตัวอย่างข้าวด้วยเมทานอลในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 ของตัวอย่างข้าวต่อเมทานอล แล้วเขย่าทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทำการกรองสารสกัดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำสารสกัดที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออก และเมื่อสารสกัดข้าวแห้งจึงจะนำไปทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดข้าว ต่อไป

3.2.4 ทดสอบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

3.2.4.1 ศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์เบื้องต้น

1) ทดสอบสารแอนทราควิโนน

ในการทดสอบสารแอนทราควิโนนเริ่มจาก เติมน้ำกลูโคส 4 มิลลิลิตร ในตัวอย่างข้าว 1 มิลลิกรัม ทำการเขย่าเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการกรองเอาสารละลายใส จากนั้นเติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นสังเกตผลการทดลอง หากเกิดสีชมพูใสหมายถึงพบสารแอนทราควิโนน

2) ทดสอบสารฟลาโวนอยด์

ในการทดสอบสารฟลาโวนอยด์เริ่มจาก เติมน้ำกลูโคส 5 มิลลิลิตร ในตัวอย่างข้าว 1 มิลลิกรัม แล้วทำการต้มเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นกรองเอาสารละลายปริมาตร 4 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเขย่าและสังเกตผลการทดลอง หากเกิดสีเหลืองหมายถึงพบสารฟลาโวนอยด์

3) ทดสอบน้ำตาลรีดิวซ์

ในการทดสอบน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มจาก เติมน้ำกลูโคส 4 มิลลิลิตร ในตัวอย่างข้าว 1 มิลลิกรัม แล้วต้มเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองเอาสารละลายและเมื่อสารละลายเย็น นำไปทดสอบความเป็นกรด ต่าง ด้วยกระดาษลิตมัสและทำให้อยู่ในสภาวะต่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 จากนั้นเติมสารละลายเบนเนดิกต์แล้วนำไปต้ม แล้วสังเกตผลการทดลอง หากเกิดตะกอนสีแดงอิฐหมายถึงมีน้ำตาลรีดิวซ์

4) ทดสอบสารซาโปนิน

ในการทดสอบสารซาโปนินเริ่มจาก เติมน้ำกลูโคส 4 มิลลิลิตร ในตัวอย่างข้าว 1 มิลลิกรัม นำไปต้มให้ตัวอย่างละลายและทำการกรองสารละลาย จากนั้นเอาสารละลายที่กรอง 3 มิลลิลิตร

และเติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร แล้วหยดน้ำมันมะกอก 3 หยด หลังจากนั้นทำการเขย่าและสังเกตผลการทดลอง หากเกิดขึ้นหรือเกิดฟองหมายถึงพบสารซาโปนิน

5) ทดสอบสารสเตอรอยด์

เติมกรดอะซิติก 2 มิลลิลิตร ในตัวอย่างข้าว 1 มิลลิกรัม แล้วเติมกรดซัลฟิวริก 2 มิลลิลิตร จากนั้นสังเกตผลการทดลอง หากสารละลายเปลี่ยนสีม่วงเป็นสีน้ำเงิน หรือสีเขียว หมายถึงพบสารสเตอรอยด์

6) ทดสอบสารแทนนิน

การทดสอบสารแทนนินเริ่มจาก เติมน้ำกลั่น 4 มิลลิลิตร ในตัวอย่างข้าว 1 มิลลิกรัม จากนั้นทำการต้มและกรองเอาสารละลาย แล้วเติมเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร จากนั้นสังเกตผลการทดลอง หากสารละลายเกิดสีน้ำตาลอมเขียว หรือน้ำเงิน ดำหมายถึงพบสารแทนนิน

7) ทดสอบสารเทอร์ปีนอยด์

การทดสอบสารเทอร์ปีนอยด์เริ่มจาก เติมหอโรฟอร์ม 2 มิลลิลิตร ในตัวอย่างข้าว 1 มิลลิกรัม จากนั้นค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริก 3 มิลลิลิตร จากนั้นสังเกตผลการทดลอง หากสารละลายเกิดสีน้ำตาลแดงตรงรอยต่อของสารละลายหมายถึงพบสารเทอร์ปีนอยด์ วิธีการทดลอง ดัดแปลงมาจาก [60]

3.2.4.2 ทดสอบหาปริมาณฟลาโวนอยด์ในตัวอย่างข้าว

การหาปริมาณฟลาโวนอยด์จากตัวอย่างข้าวนั้นใช้วิธีอะลูมิเนียมคลอไรด์โดยเตรียมสารสกัดจากข้าวที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ละลายด้วยเมทานอล) แล้วดูดสารสกัดตัวอย่างมา 300 ไมโครลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 200 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมโซเดียมไนไตรต์เข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 30 ไมโครลิตร ทำการเขย่าแล้วนำไปบ่มเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 30 ไมโครลิตร และนำไปเขย่าเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นเติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 1 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากันและบ่มไว้ 15 นาที จากนั้นนำไปวัดที่ความคลื่น 415 นาโนเมตร [61, 62, 63]

ทำกราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณฟลาโวนอยด์ โดยใช้เคอควิทิน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐานและเตรียมสต็อกที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยละลายเคอควิทินในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 จากนั้นวิธีการทดสอบทำเช่นเดียวกับการหาปริมาณฟลาโวนอยด์จากตัวอย่างข้าว และใช้ความเข้มข้นสุดท้ายของเคอควิทินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 0 0.005 0.007 0.009

0.011 0.013 0.015 และ 0.020 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการวัดวัดที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร และนำสมการที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณฟลาโวนอยด์จากตัวอย่างข้าว

3.2.4.3 ทดสอบหาปริมาณฟีนอลิก

หาปริมาณฟีนอลิกโดยชั่งสารสกัดข้าว 0.001 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายฟอลิน-ซีโอแคลทิวเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 200 ไมโครลิตร แล้วเขย่าเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 685 ไมโครลิตร นำไปบ่มในที่มืดเป็นเวลา 60 นาที เมื่อครบเวลานำไปวัดที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก [61], [63]

3.2.4.5 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

1) ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีเอบีทีเอส (ABTS radical cation decolorization assay)

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีเอบีทีเอส โดยเตรียมสารละลายเอบีทีเอสเข้มข้น 0.7 มิลลิโมลาร์ และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ แล้วผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 1 ต่อ 0.5 แล้วบ่มไว้ในที่มืดเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นเจือจางสารละลายเอบีทีเอสเรดิคัล ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.7 ± 0.02 โดยวัดที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เริ่มจากเติมสารละลายดังตารางลงในเพลท

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธีเอบีทีเอส

สัญลักษณ์	สารละลายเอบีทีเอสเรดิคัล (μ l)	ตัวอย่างความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (μ l)
A	100	-
B	100	-
C	90	10

แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีและคำนวณร้อยละการยับยั้ง วิธีนี้ดัดแปลงมาจาก [64]

$$\text{ร้อยละการยับยั้งโดยวิธีเอบีทีเอส (\%)} = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

หมายเหตุ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเอบีทีเอชที่ไม่มีสารทดสอบ

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่าง + สารละลายเอบีทีเอช

2) ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging)

ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีดีพีพีเอช เริ่มจากเตรียมสารละลายดีพีพีเอชให้ได้ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ โดยใช้เมทานอลแล้วเติมสารละลายต่าง ๆ ดังตารางลงในเพลท

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธีดีพีพีเอช

สัญลักษณ์	สารละลายดีพีพีเอชเรดิคอลล เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ (μ l)	ตัวอย่างความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (μ l)
A	100	-
B	100	-
C	90	10

แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และคำนวณร้อยละการยับยั้ง จากสูตรด้านล่าง วิธีนี้ดัดแปลงมาจาก [45]

$$\text{ร้อยละการยับยั้งโดยวิธีดีพีพีเอช (\%)} = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

หมายเหตุ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายดีพีพีเอชความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ที่ไม่มีสารทดสอบ

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่าง + สารละลายดีพีพีเอชเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์

3.2.4.6 ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์

1) ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส

กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสใช้ 4-พีเอ็นพีจี (*p*-Nitrophenyl- α -glucopyranoside; 4-*p*NPG) เป็นสารตั้งต้น เริ่มจากเติมสารละลายดังตารางลงในเพลท

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ร้อยละของการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส

Plate	โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 6.8 เข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ (μl)	พีเอ็นพีจี (μl)	ตัวอย่างความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร (μl)	เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิ เดสเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร (μl)
A	95	5	-	-
B	90	5	-	5
C	85	5	5	-
D	80	5	5	5

นำไปป้อนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในตู้บ่มเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำออกมาเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 100 ไมโครลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยา แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ [60] และคำนวณร้อยละการยับยั้ง จากสูตรด้านล่าง

$$\text{ร้อยละการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (\%)} = \left(\frac{A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{blank}}} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

หมายเหตุ A_{blank} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่เติมตัวอย่าง

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส + สารตัวอย่าง

2) ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส โดยใช้อะไมโลสจากมันฝรั่งเป็นสารตั้งต้น เริ่มจากเติมสารละลายดังตารางลงในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร

ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ร้อยละของการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

Tube	โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 6.9 เข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ (μl)	อะไมโลส 0.05 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร (μl)	ตัวอย่างความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร (μl)	เอนไซม์แอลฟา- อะไมเลสเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร (μl)
A	90	10	-	-
B	80	10	-	10
C	80	10	10	-
D	70	10	10	10

นำไปป้อนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในตู้ป้อนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปต้มเป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาแล้วเติมพีจีโอ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และเติมเอบีทีเอส ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 50 ไมโครลิตร หลังจากนั้นนำไปป้อนในตู้ป้อนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที อีกครั้ง เมื่อครบเวลานำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ [65] และคำนวณร้อยละการยับยั้งจากสูตรด้านล่าง

$$\text{ร้อยละการยับยั้งเอ็นไซม์แอลฟา-อะไมเลส (\%)} = \left(\frac{A_{(\text{blank})} - A_{(\text{sample})}}{A_{(\text{blank})}} \right) \times 100 \quad (3.4)$$

หมายเหตุ A_{blank} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่เติมตัวอย่าง

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของกิจกรรมของเอ็นไซม์แอลฟา-อะไมเลส + สารตัวอย่าง



3) ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสใช้แอล-โดปา (3,4-Dihydroxy-L-phenylalanine; L-DOPA) เป็นสารตั้งต้น เริ่มจากเติมสารละลายดังตารางลงในเพลท

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ร้อยละของการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

Plate	โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 6.8 เข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ (μl)	ตัวอย่างความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (μl)	เอนไซม์ไทโรซิเนส เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (μl)
A	95	-	-
B	90	-	5
C	85	5	-
D	80	5	5

นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในตู้บ่มเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำออกมาเติมสารละลายแอลโดปาเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 ไมโครลิตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในตู้บ่มอีกครั้ง เป็นเวลา 20 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 นาโนเมตร [66] และคำนวณร้อยละการยับยั้ง จากสูตรด้านล่าง

$$\text{ร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (\%)} = \left(\frac{A_{(\text{blank})} - A_{(\text{sample})}}{A_{(\text{blank})}} \right) \times 100 \quad (3.4)$$

หมายเหตุ A_{blank} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่เติมตัวอย่าง

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของกิจกรรมของเอนไซม์ไทโรซิเนส + สารตัวอย่าง

บทที่ 4

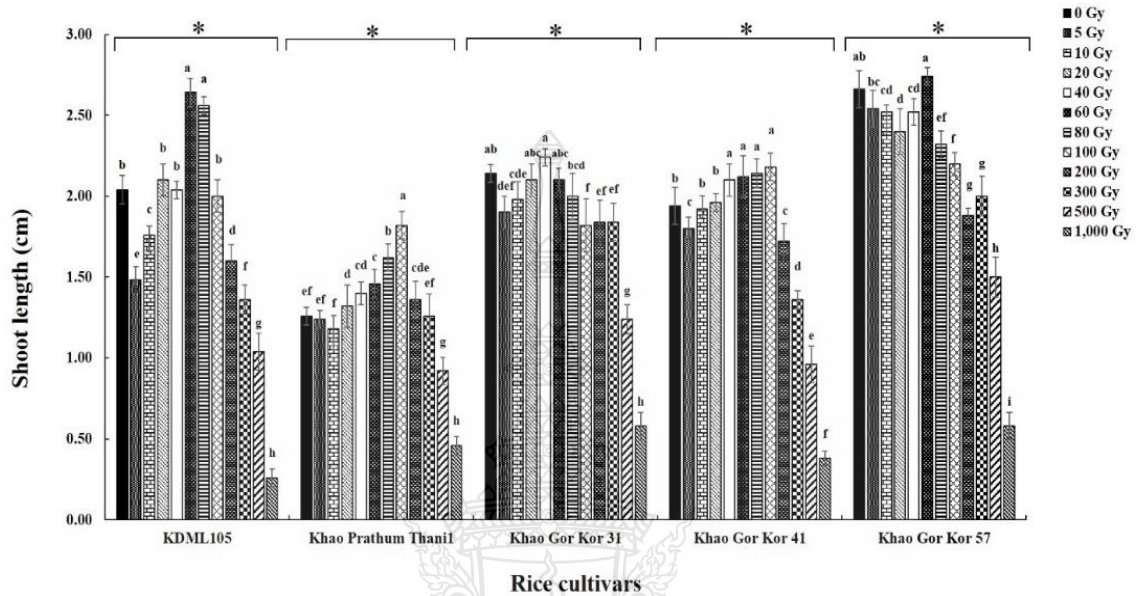
ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 การเจริญเติบโตของข้าว

4.1.1 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ไทยอายุ 3 วัน

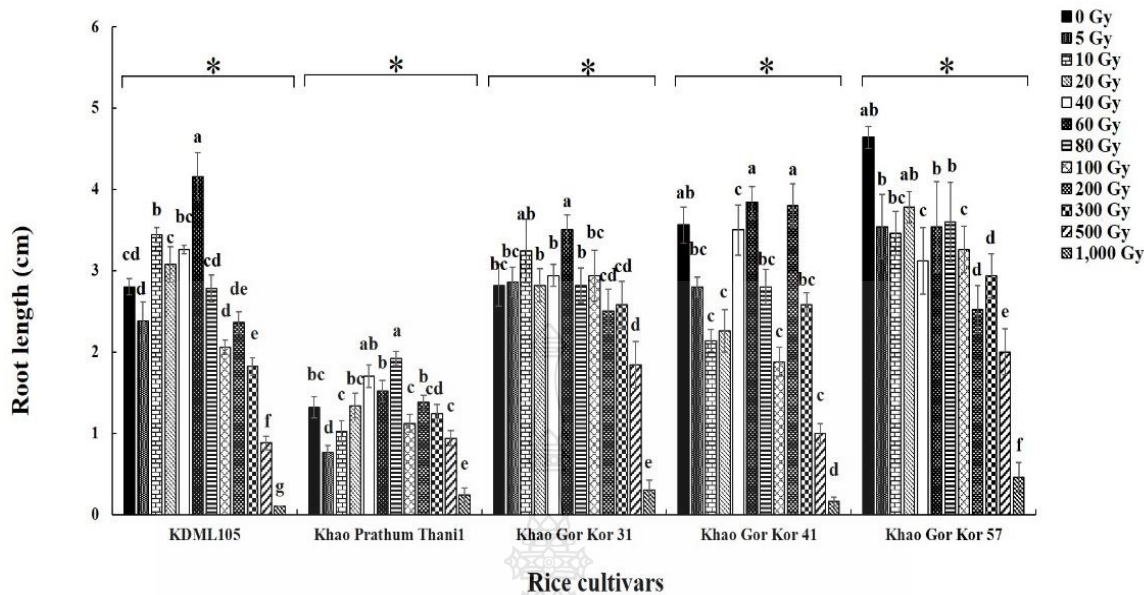
จากการปลูกข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยทำการปลูกในกล่องโฟมและรดด้วยน้ำเปล่าในทุก ๆ วัน จากนั้น ติดตามการเจริญเติบโตในช่วงเวลา 3 วัน ด้วยการวัดความยาวของลำต้นข้าว ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 40 เกรย์ ถึง 100 เกรย์ ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสีแกมมา แต่การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีสูงจะลดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าว ซึ่งในช่วง 100 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของข้าวมะลิ 105 ปริมาณรังสี 200 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของข้าวข้าวปทุมธานี 1 และ ข้าว กข.41 และปริมาณรังสี 80 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของข้าว กข.31 และ ข้าว กข.57 อย่างไรก็ตามในการฉายรังสี แกมมาในปริมาณรังสีสูง ๆ คือ 500 เกรย์ และ 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์

รูปที่ 4.1 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



จากการปลูกข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยติดตามการเจริญเติบโตการวัดความยาวของรากข้าวอายุ 3 วัน ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 10 เกรย์ ถึง 200 เกรย์ ในข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 และข้าว กข.41 ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของรากข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสีแกมมา แต่การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีสูงจะลดการเจริญเติบโตของรากข้าวทุกสายพันธุ์ในช่วงปริมาณรังสี 300 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ แต่ในส่วนของข้าว กข.57 การฉายรังสีแกมมาจะลดการเจริญเติบโตเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ฉายรังสี

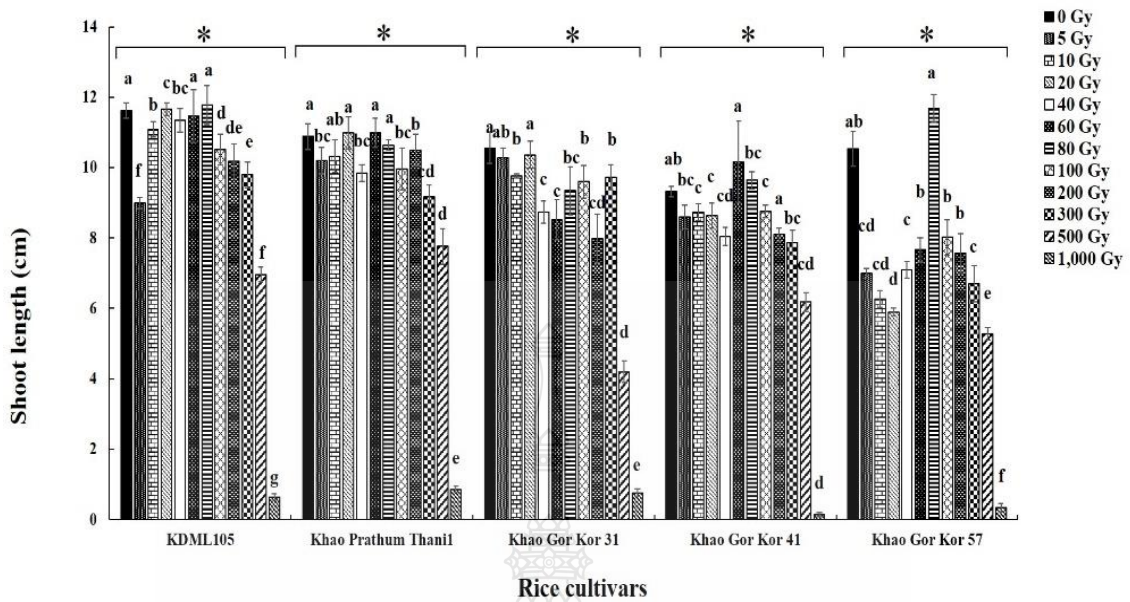
รูปที่ 4.2 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



4.1.2 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ไทยอายุ 7 วัน

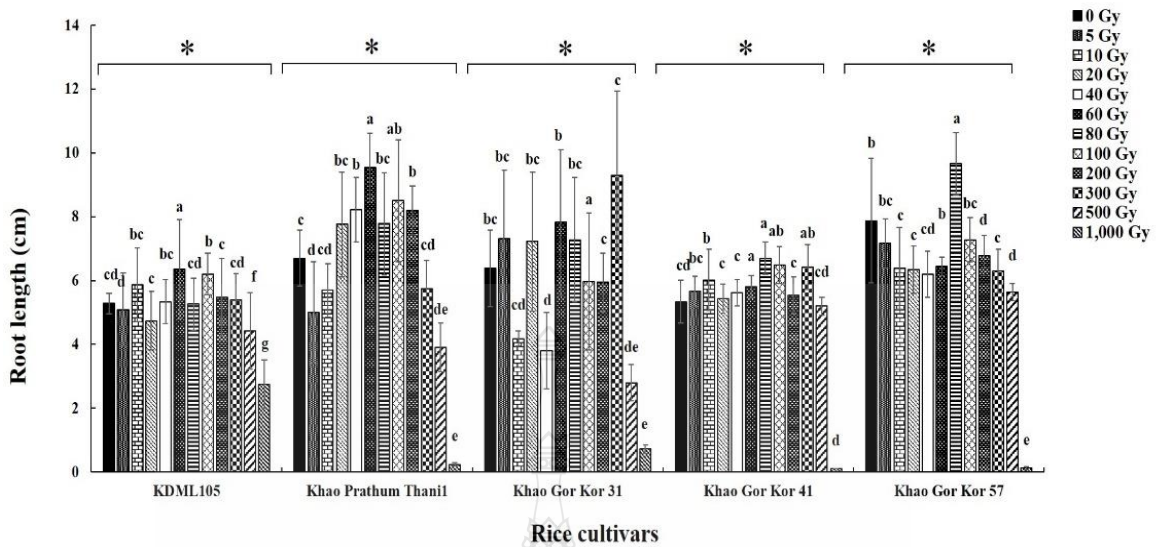
จากการปลูกข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 7 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยทำการปลูกในกล่องโฟมและรดด้วยน้ำเปล่าในทุก ๆ วัน จากนั้น ติดตามการเจริญเติบโตต่อจากข้าวที่ปลูก 3 วัน โดยรอบนี้จะติดตามผลในช่วงเวลา 7 วัน ด้วยการวัดความยาวของลำต้น ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 20 เกรย์ ถึง 80 เกรย์ กระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 เมื่อเทียบกับข้าวไม่ฉายรังสี แต่ที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวทุกสายพันธุ์ แต่ในส่วนของข้าว กข.31 การฉายรังสีแกมมาจะลดการเจริญเติบโตเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ฉายรังสี

รูปที่ 4.3 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 7 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



จากการปลูกข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 7 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยติดตามการเจริญเติบโตการวัดความยาวของรากข้าวอายุ 7 วัน ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 20 เกรย์ ถึง 300 เกรย์ ในข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 และข้าว กข.41 ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของรากข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสีแกมมา แต่การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีสูงจะลดการเจริญเติบโตของรากข้าวทุกสายพันธุ์ ในช่วงปริมาณรังสี 500 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของรากข้าวมะลิ 105 และข้าว กข.31 ในช่วงปริมาณรังสี 300 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของรากข้าวข้าวปทุมธานี 1 ข้าว และข้าว กข.41 แต่ในส่วนของข้าว กข.57 การฉายรังสีแกมมากระตุ้นการเจริญเติบโตที่ปริมาณรังสี 80 เกรย์เท่านั้น

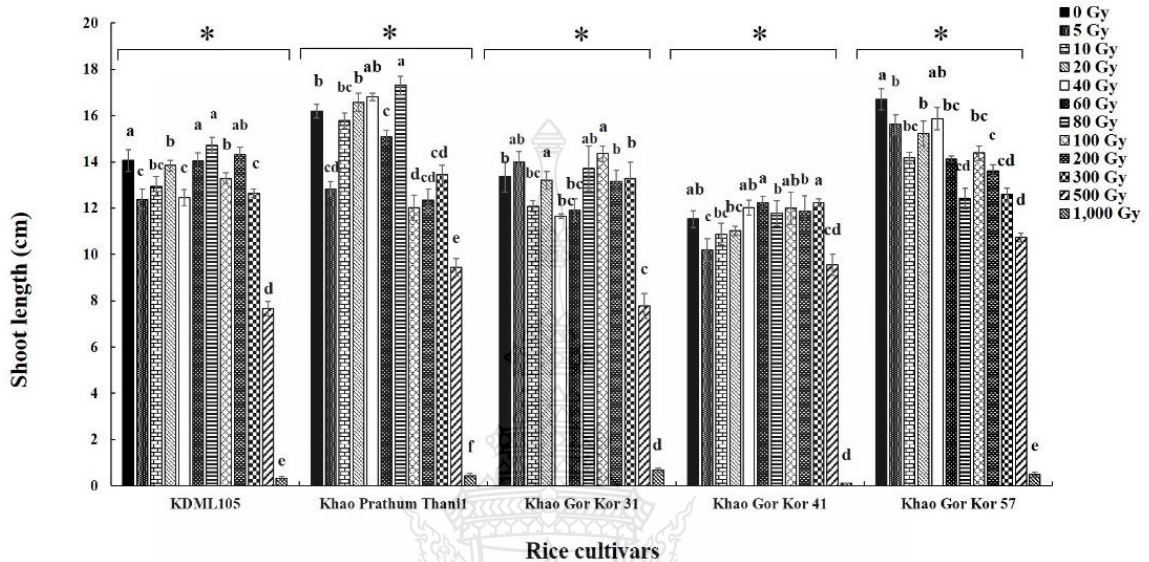
รูปที่ 4.4 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 7 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



4.1.3 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ไทยอายุ 14 วัน

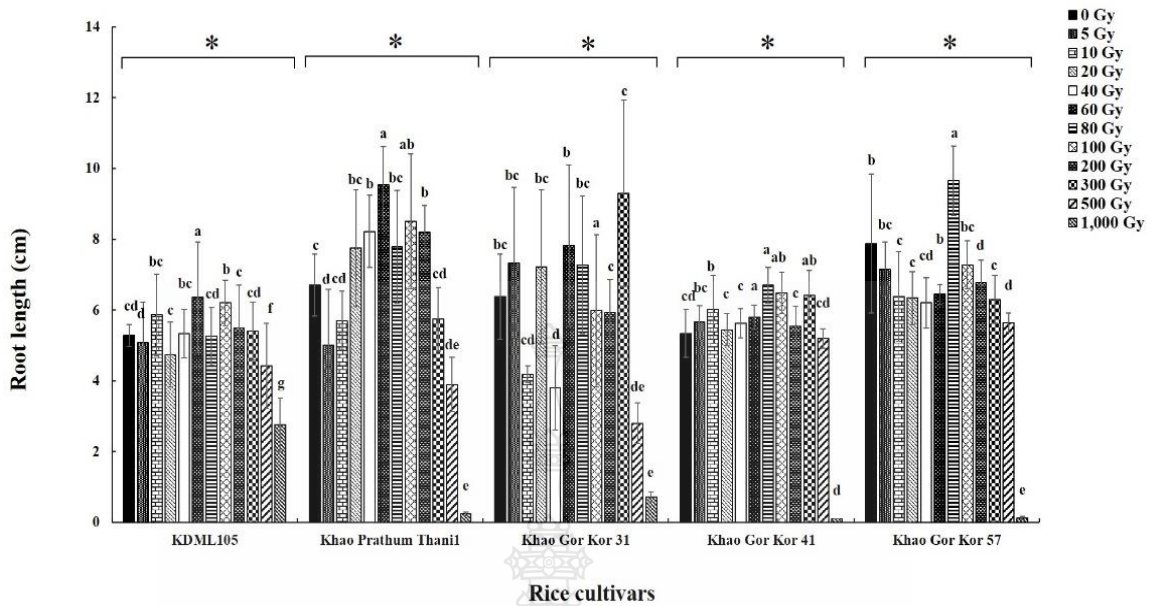
จากการปลูกข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์โดยทำการปลูกในกล่องโฟมและรดด้วยน้ำเปล่าในทุก ๆ วัน จากนั้น ติดตามการเจริญเติบโตต่อจากข้าวที่ปลูก 7 วัน โดยรอบนี้จะติดตามผลในช่วงเวลา 14 วัน ด้วยการวัดความยาวของลำต้นข้าวที่ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ช่วงปริมาณรังสี 20 เกรย์ ถึง 300 เกรย์ กระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์เมื่อเทียบกับข้าวไม่ฉายรังสี แต่ที่ ปริมาณรังสีสูงลดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าว โดยที่ปริมาณรังสี 300 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวมะลิ 105 และข้าว กข.31 ปริมาณรังสี 100 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวปทุมธานี 1 และ ปริมาณรังสี 300 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าว กข. 41 แต่ในส่วนของข้าว กข.57 การฉายรังสีแกมมาลดการเจริญเติบโตของลำต้นเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสี

รูปที่ 4.5 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



จากการปลูกข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยติดตามการเจริญเติบโตการวัดความยาวของรากข้าวอายุ 14 วัน ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 5 เกรย์ ถึง 500 เกรย์ ในข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของรากข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสีแกมมา แต่การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีสูงจะลดการเจริญเติบโตของรากข้าวทุกสายพันธุ์ ในช่วงปริมาณรังสี 500 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของรากข้าวมะลิ 105 และข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และข้าว กข.57 ส่วนข้าวปทุมธานี 1 ลดการเจริญเติบโตของรากข้าวในช่วงปริมาณรังสี 80 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์

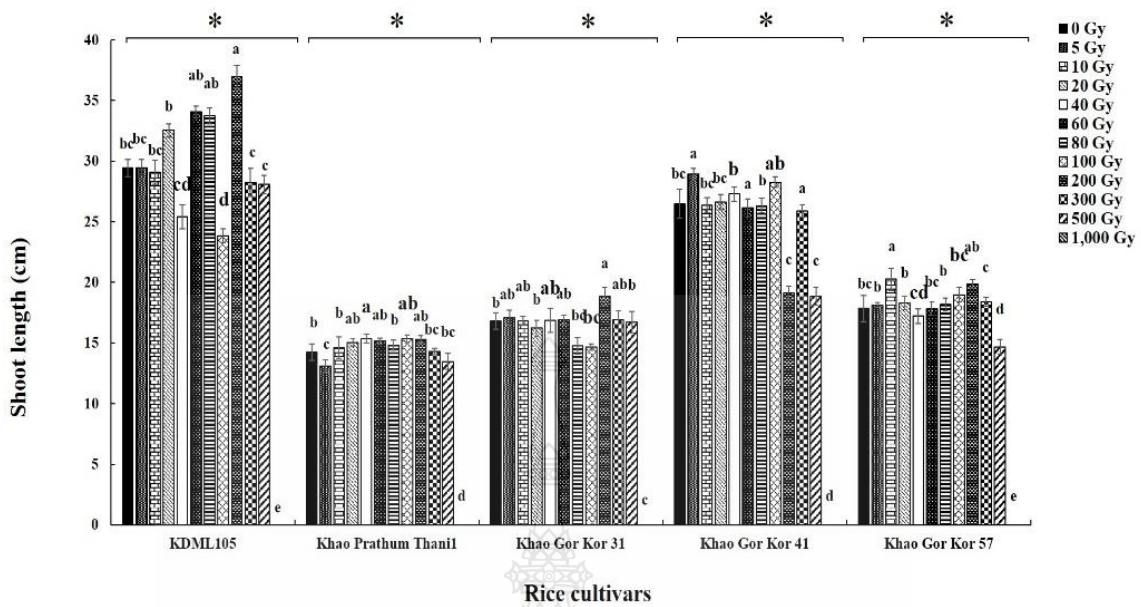
รูปที่ 4.6 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



4.1.4 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ไทยอายุ 30 วัน

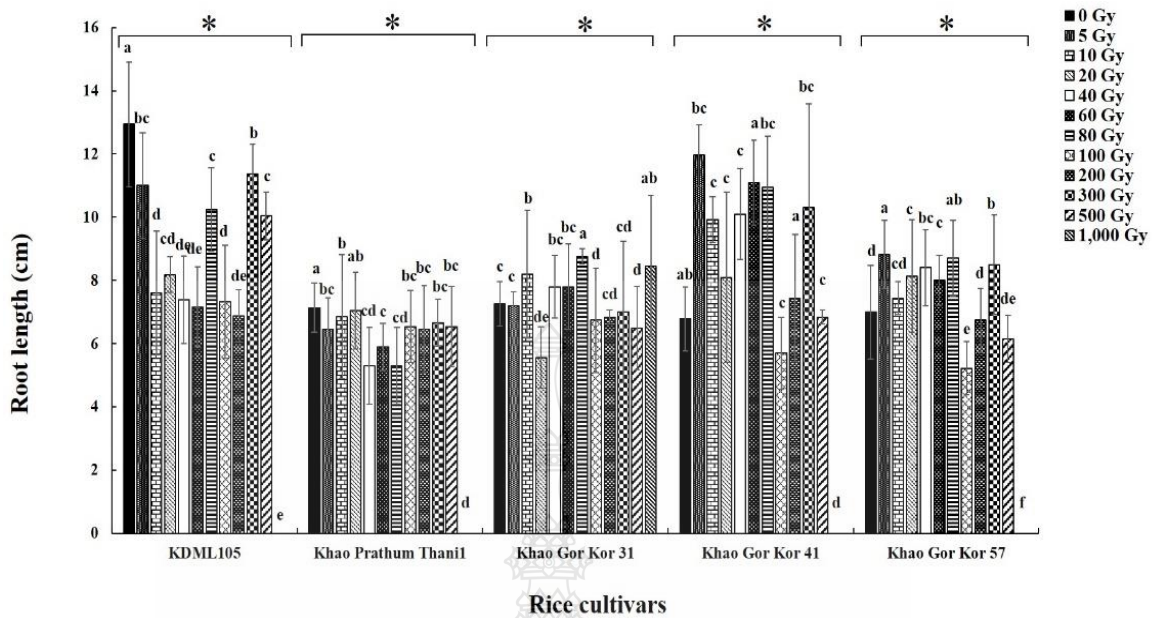
จากการปลูกข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยทำการปลูกในกล่องโฟมและรดด้วยน้ำเปล่าในทุก ๆ วัน จากนั้น ติดตามการเจริญเติบโตต่อจากข้าวที่ปลูก 14 วัน โดยรอบนี้จะติดตามผลในช่วงเวลา 30 วัน ด้วยการวัดความยาวของลำต้นและรากข้าวที่เจริญเติบโตโดยการปลูกข้าวดังกล่าวมีการเจริญเติบโต ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ช่วงปริมาณรังสี 5 เกรย์ ถึง 300 เกรย์ กระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์เมื่อเทียบกับข้าวไม่ฉายรังสี แต่ที่ปริมาณรังสีสูงลดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าว โดยที่ปริมาณรังสี 300 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวมะลิ 105 ปริมาณรังสี 500 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 และ ข้าว กข.31 ปริมาณรังสี 200 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าว กข. 41 เมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสี

รูปที่ 4.7 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



จากการปลูกข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยติดตามการเจริญเติบโตการวัดความยาวของรากข้าวอายุ 14 วัน ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 โดยพบว่า การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 5 เกรย์ ถึง 500 เกรย์ ในข้าว กข. 31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของรากข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสีแกมมา แต่การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีสูงจะลดการเจริญเติบโตของรากข้าวทุกสายพันธุ์ ในช่วงปริมาณรังสี 100 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของรากข้าว กข.31 ข้าว ปริมาณรังสี 500 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการเจริญเติบโตของรากข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อย่างไรก็ตาม การฉายรังสีแกมมาลดการเจริญเติบโตของรากข้าวอีกสองสายพันธุ์คือ ข้าวมะลิ 105 และข้าว ปทุมธานี 1

รูปที่ 4.8 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์

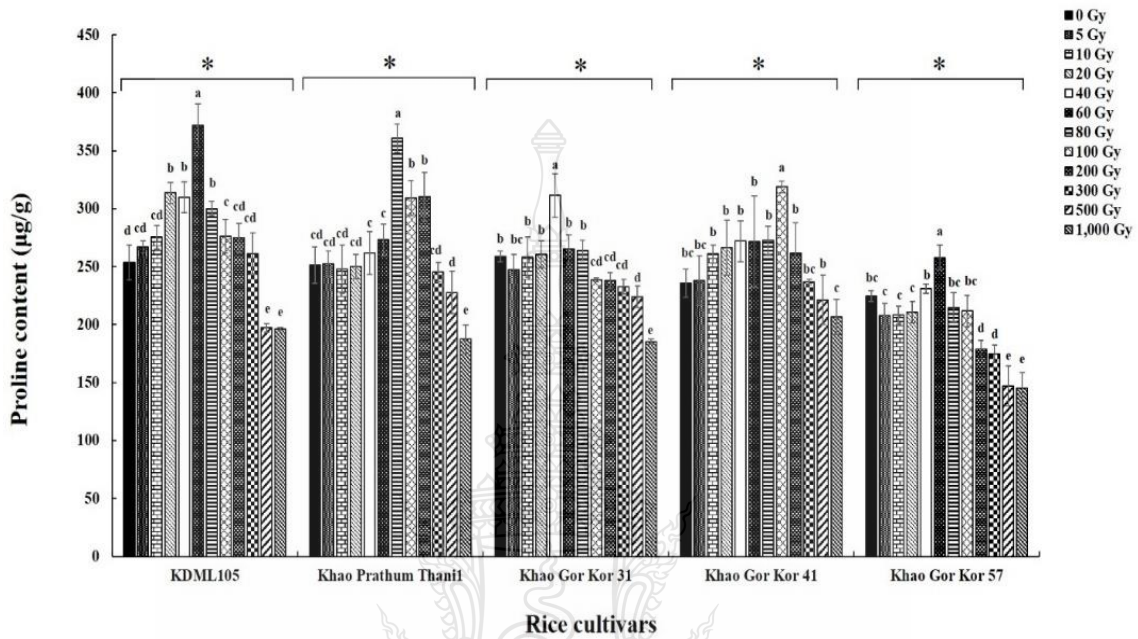


4.2 การหาปริมาณโพรลิน

4.2.1 การหาปริมาณโพรลินจากข้าวสายพันธุ์ไทยอายุ 3 วัน

จากการสกัดหาปริมาณโพรลินจากตัวอย่างข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยการใช่วิธีเกิดสีของนินไฮดริน แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโพรลินพบว่า การฉายรังสีแกมมามีการกระตุ้นปริมาณโพรลินของข้าวช่วงอายุ 3 วัน ให้เพิ่มขึ้นที่ปริมาณรังสี 5 เกรย์ จนถึง 200 เกรย์ และกระตุ้นสูงที่สุดของข้าวมะลิ 105 (372.07 ไมโครกรัมต่อกรัม) และข้าวปทุมธานี 1 (360.82 ไมโครกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.31 (311.36 ไมโครกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.41 (318.81 ไมโครกรัมต่อกรัม) และ ข้าว กข.57 (257 ไมโครกรัมต่อกรัม) ที่ปริมาณรังสี 60 80 40 100 และ 60 เกรย์ ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.9 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 5 เกรย์ ถึง 300 เกรย์ กระตุ้นปริมาณโพรลินของข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ แต่การฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสีสูงที่ 500 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ของข้าวมะลิ 105 และข้าว กข.41 ปริมาณรังสีที่ 300 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ของข้าวปทุมธานี 1 และปริมาณรังสีที่ 100 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ของข้าว กข.31 และข้าว กข.57 มีผลให้ปริมาณโพรลินลดลง

รูปที่ 4.9 แสดงการหาปริมาณโปรตีนจากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์

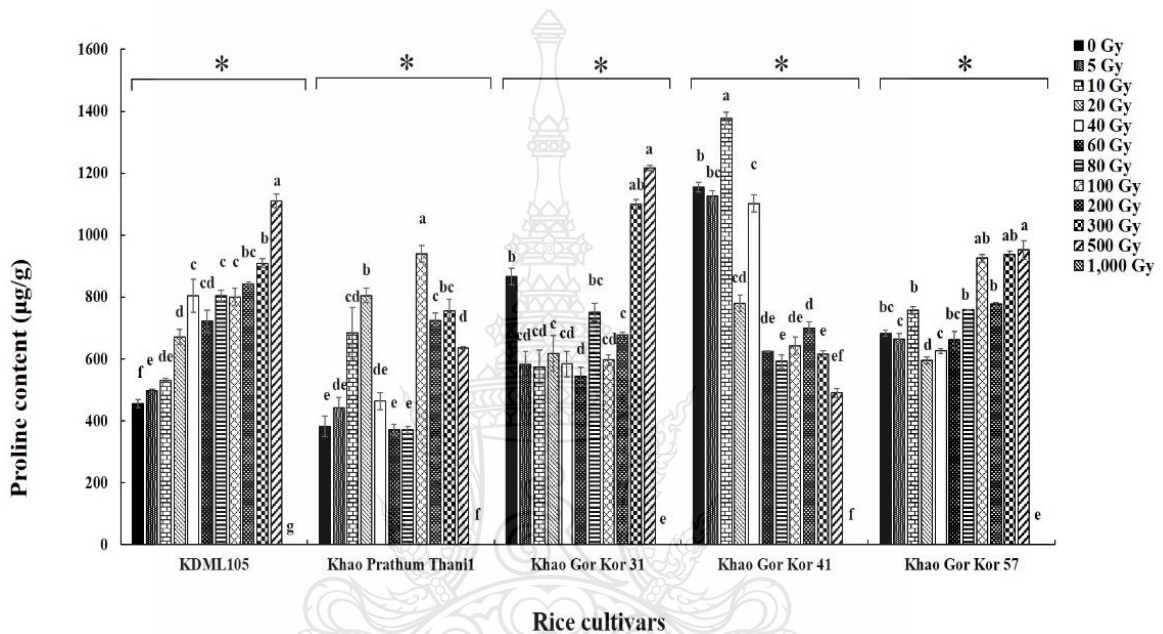


4.2.2 การหาปริมาณโปรตีนจากข้าวสายพันธุ์ไทยอายุ 7 วัน

จากการสกัดหาปริมาณโปรตีนจากลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 7 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยการใช้วิธีเกิดสีของนินไฮดริน แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโปรตีนพบว่า การฉายรังสีแกมมาทุกปริมาณรังสี มีการกระตุ้นปริมาณโปรตีนของข้าวช่วงอายุ 7 วัน ยกเว้น ข้าว กข.41 ซึ่งกระตุ้นที่ 10 เกรย์เท่านั้น และในแต่ละสายพันธุ์กระตุ้นสูงสุดที่สุดของข้าวมะลิ 105 (1110.16 ไมโครกรัมต่อกรัม) และข้าวปทุมธานี 1 (939.61 ไมโครกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.31 (1217.09 ไมโครกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.41 (1154.39 ไมโครกรัมต่อกรัม) และ ข้าว กข.57 (952.15 ไมโครกรัมต่อกรัม) ที่ปริมาณรังสี 500 100 500 10 และ 500 เกรย์ ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.10 โดยพบว่า การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 5 เกรย์ ถึง 500 เกรย์ กระตุ้นปริมาณโปรตีนของข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 และ ข้าว กข.57 แต่ใน

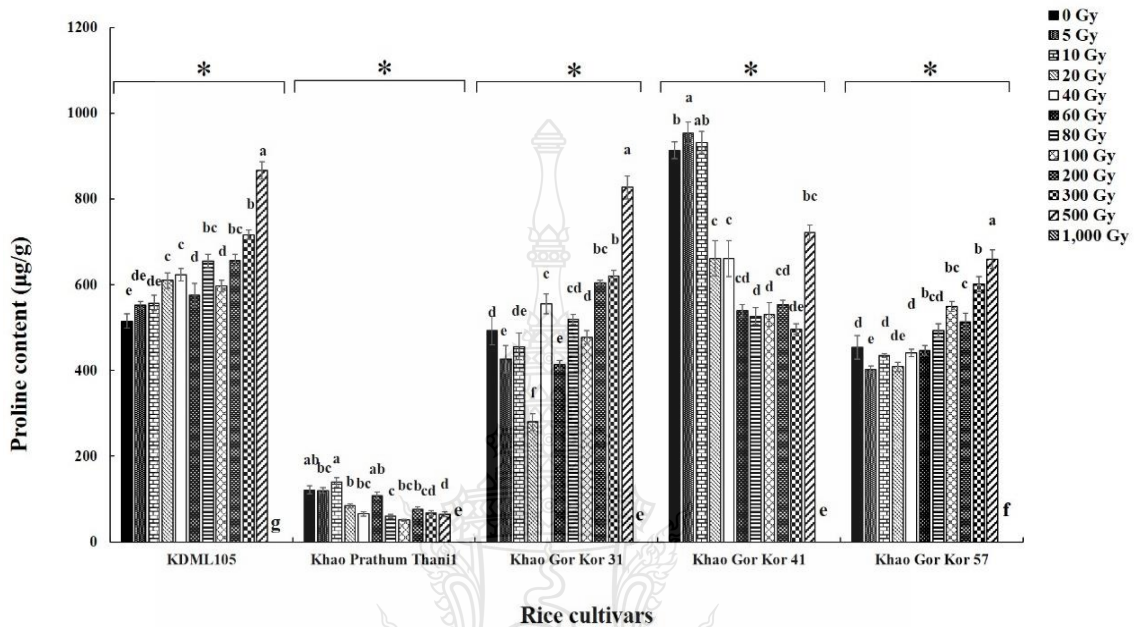
ข้าว กข.41 กระตุ้นสูงที่สุดที่ปริมาณรังสี 10 เกรย์ แล้วปริมาณโพรลีนเริ่มลดลงตั้ง 20 เกรย์ ถึง 500 เกรย์

รูปที่ 4.10 แสดงการหาปริมาณโพรลีนจากลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 7 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



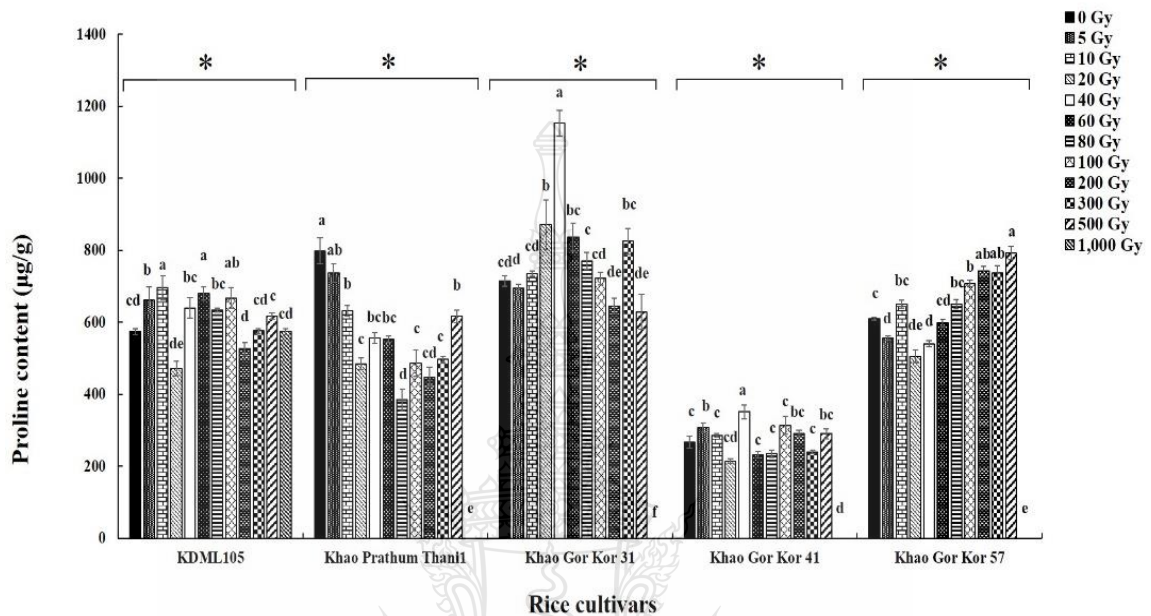
ในส่วนของการหาปริมาณโพรลีนจากรากข้าวอายุ 7 วัน การฉายรังสีแกมมามีการกระตุ้นปริมาณโพรลีนของข้าวอายุ 7 วันได้สูงที่สุด คือ ข้าวมะลิ 105 (866.79 ไมโครกรัมต่อกรัม) และ ข้าวปทุมธานี 1 (139.34 ไมโครกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.31 (826.91 ไมโครกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.41 (953.69 ไมโครกรัมต่อกรัม) และ ข้าว กข.57 (658.95 ไมโครกรัมต่อกรัม) ที่ปริมาณรังสี 500 300 500 5 และ 500 เกรย์ ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.11 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 5 เกรย์ ถึง 500 เกรย์ กระตุ้นปริมาณโพรลีนของข้าวมะลิ 105 ข้าว กข.31 และ ข้าว กข.57 ในส่วนข้าวปทุมธานี 1 และข้าว กข.41 ปริมาณรังสีที่ 5 เกรย์ ถึง 10 เกรย์ แต่ปริมาณโพรลีนเริ่มลดลงตั้งแต่ 20 เกรย์ ถึง 500 เกรย์

รูปที่ 4.11 แสดงการหาปริมาณโปรตีนจากรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 7 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



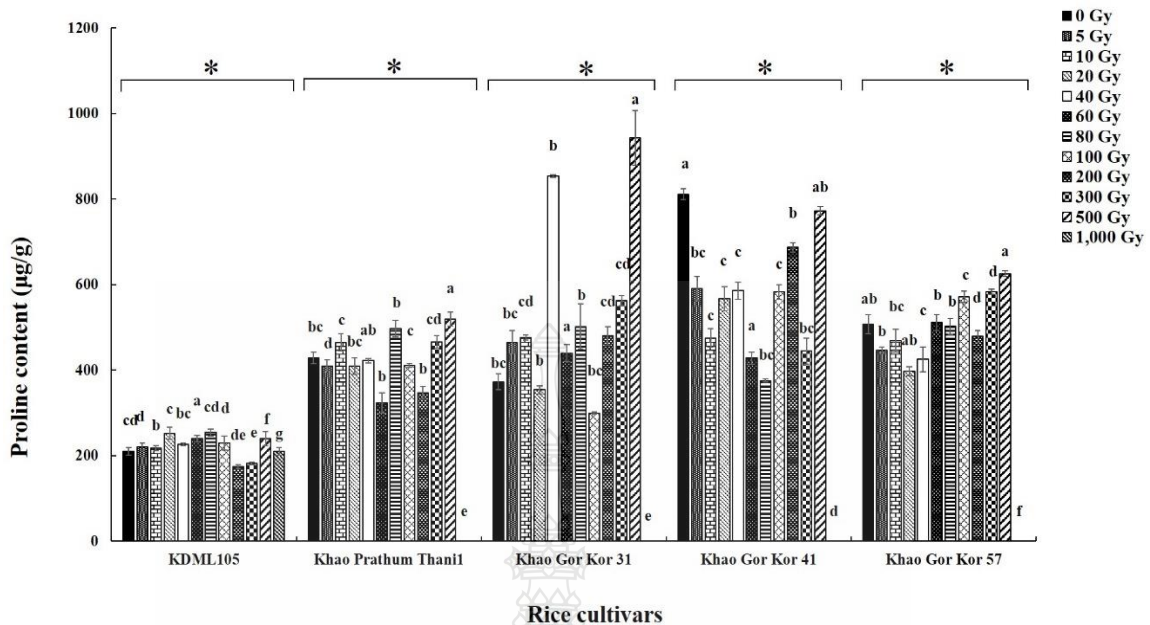
จากการสกัดหาปริมาณโปรตีนจากรากต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยการใช้วิธีเกิดสีของนินไฮดริน แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโปรตีน พบว่า การฉายรังสีแกมมากระตุ้นปริมาณโปรตีนของข้าว ข้าวมะลิ 105 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 แต่ ข้าวปทุมธานี 1 และ ข้าว กข.41 ไม่มีการกระตุ้น และในแต่ละสายพันธุ์กระตุ้นสูงสุดของข้าวมะลิ 105 (695.68 ไมโครกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.31 (1153.05 ไมโครกรัมต่อกรัม) และ ข้าว กข.57 (791.51 ไมโครกรัมต่อกรัม) และข้าวปทุมธานี 1 (798.10 ไมโครกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.41 (810.99 ไมโครกรัมต่อกรัม) ที่ปริมาณรังสี 10 40 500 เกรย์ และข้าวไม่ฉายรังสีแกมมา ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.12 โดยพบว่า การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 5 เกรย์ ถึง 500 เกรย์ กระตุ้นปริมาณโปรตีนของข้าวมะลิ 105 ข้าว กข.31 และ ข้าว กข.57 แต่ในข้าวปทุมธานี 1 และข้าว กข.41 ไม่มีการกระตุ้นปริมาณโปรตีนเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสี

รูปที่ 4.12 แสดงการหาปริมาณโปรตีนจากลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



ในส่วนของการหาปริมาณโปรตีนจากรากข้าวอายุ 14 วัน การฉายรังสีแกมมามีการกระตุ้นปริมาณโปรตีนของข้าวอายุ 14 วันได้สูงที่สุด คือ ข้าวมะลิ 105 (253.91 ไมโครกรัมต่อกรัม) และข้าวปทุมธานี 1 (139.34 ไมโครกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.31 (139.34 ไมโครกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.41 (290.41 ไมโครกรัมต่อกรัม) และ ข้าว กข.57 (625.25 ไมโครกรัมต่อกรัม) ที่ปริมาณรังสี 20 10 และ 500 เกรย์ ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.13 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 5 เกรย์ ถึง 500 เกรย์ กระตุ้นปริมาณโปรตีนของข้าวมะลิ 105 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และข้าว กข.57 ในส่วนข้าวปทุมธานี 1 ปริมาณรังสีที่ 5 เกรย์ ถึง 10 เกรย์ แต่ปริมาณโปรตีนเริ่มลดลงตั้งแต่ 20 เกรย์ ถึง 500 เกรย์ เมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสี

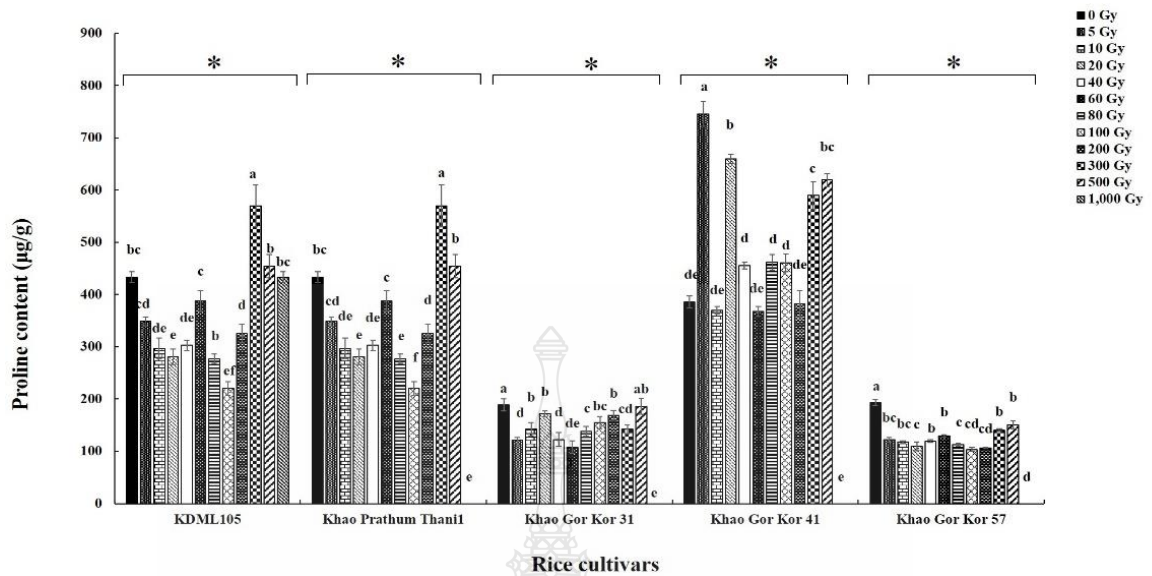
รูปที่ 4.13 แสดงการหาปริมาณโปรตีนจากรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 14 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



4.2.4 การหาปริมาณโปรตีนจากข้าวสายพันธุ์ไทยอายุ 30 วัน

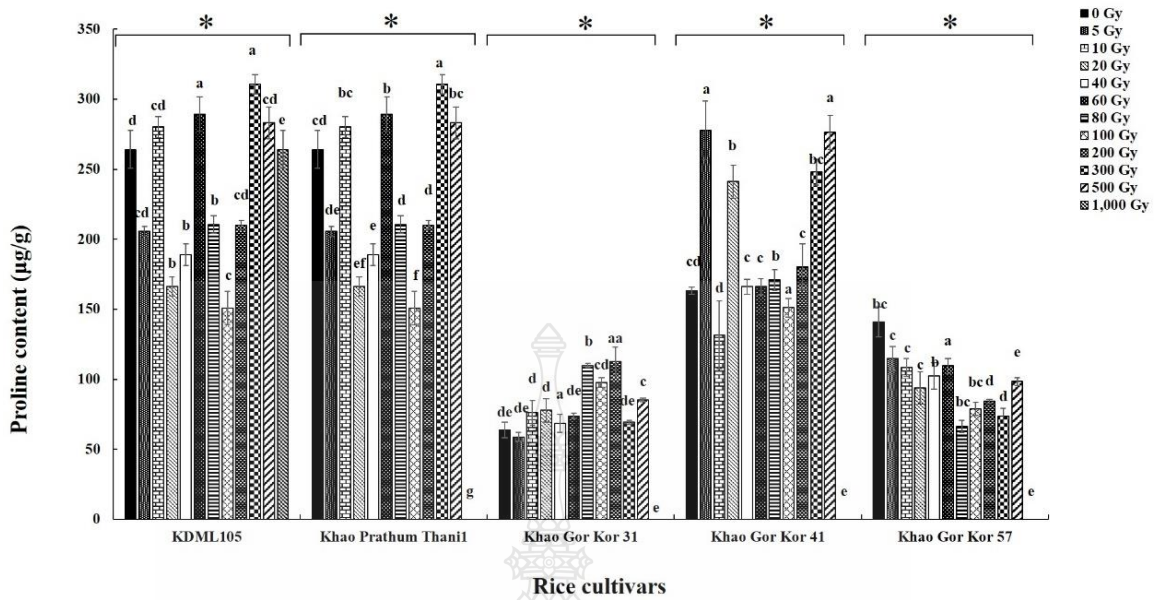
จากการสกัดหาปริมาณโปรตีนจากลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยการใช้วิธีเกิดสีของนินไฮดริน แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโปรตีน พบว่า เมื่อปลูกข้าวไปจนถึงอายุ 30 วัน ปริมาณโปรตีนในข้าวลดลงจาก 14 วันอย่างเห็นได้ชัดทั้งในส่วนของลำต้นและรากข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.14 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 5 เกรย์ ถึง 500 เกรย์ กระตุ้นปริมาณโปรตีนของข้าวมะลิ 105 ข้าว กข.31 และข้าว กข.41 แต่ในข้าว กข.57 ไม่มีการกระตุ้นปริมาณโปรตีนเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสี

รูปที่ 4.14 แสดงการหาปริมาณโปรตีนจากลำต้นข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



จากการสกัดหาปริมาณโปรตีนจากรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.15 โดยพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 5 เกรย์ ถึง 500 เกรย์ ช่วยกระตุ้นปริมาณโปรตีนของข้าวมะลิ 105 ข้าว กข.31 และข้าว กข.41 ให้เพิ่มขึ้น แต่ในข้าว กข.57 ไม่มีการกระตุ้นปริมาณโปรตีนเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสี

รูปที่ 4.15 แสดงการหาปริมาณโปรตีนจากรากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



4.3 การตรวจสอบสารพฤษเคมีเบื้องต้น

4.4.1 ศึกษาสารพฤษเคมีเบื้องต้นจากสารสกัดข้าวมะลิ 105

จากการศึกษาสารพฤษเคมีเบื้องต้นจากสารสกัดข้าวมะลิ 105 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยติดตามจากปฏิกิริยาการเกิดสี หรือตะกอนของสารสกัดหยาบจากตัวทำละลายที่ใช้คือเมทานอล โดยสารที่พบ คือ ฟลาโวนอยด์ น้ำตาลรีดิซ และเทอร์ปีนอยด์ ในส่วนของ แอนทราควิโนน ซาโปนิน สเตียรอยด์ และแทนนิน ตรวจสอบไม่พบในสารสกัดข้าวมะลิ 105 ที่สกัดโดยเมทานอล โดยแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการตรวจสอบสารพฤกษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเมทานอลจากข้าวมะลิ 105 ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์

Compounds	Dose (Gy)											
	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Antraquinones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flavonoids	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Reducing Sugar	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Saponin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steroids	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tannins	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Terpenoids	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

หมายเหตุ - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบ + หมายถึง ตรวจสอบพบ

4.4.2 ศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้นจากสารสกัดข้าวปทุมธานี 1

จากการศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้นจากสารสกัด ข้าวปทุมธานี 1 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยติดตามจากปฏิกิริยาการเกิดสี หรือตะกอนของสารสกัดหยาบจากตัวทำละลายที่ใช้คือเมทานอล โดยสารที่พบ คือ ฟลาโวนอยด์ น้ำตาลรีดิวิซ์ และเทอร์ปีนอยด์ ในส่วนของ แอนทราควิโนน ซาโปนิน สเตียรอยด์ และแทนนิน ตรวจสอบไม่พบในสารสกัดข้าวปทุมธานี 1 ที่สกัดโดยเมทานอล โดยแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงการตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเมทานอลจากข้าวปทุมธานี 1 ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์

Compounds	Dose (Gy)											
	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Anthraquinones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flavonoids	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Reducing Sugar	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Saponin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steroids	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tannins	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Terpenoids	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

หมายเหตุ - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบ + หมายถึง ตรวจสอบพบ

4.4.3 ศึกษาสารพิษเคมีเบื้องต้นจากสารสกัดข้าว กข.31

จากการศึกษาสารพิษเคมีเบื้องต้นจากสารสกัดข้าว กข.31 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยติดตามจากปฏิกิริยาการเกิดสี หรือตะกอนของสารสกัดหยาบจากตัวทำละลายที่ใช้คือเมทานอล โดยสารที่พบ คือ ฟลาโวนอยด์ น้ำตาลรีดิวซ์ และเทอร์ปีนอยด์ แต่ในปริมาณรังสี 1,000 เกรย์ ไม่พบน้ำตาลรีดิวซ์ และในส่วนของ แอนทราควิโนน ซาโปนิน สเตียรอยด์และแทนนิน ตรวจสอบไม่พบในสารสกัดข้าว กข. 31 ที่สกัดโดยเมทานอล โดยแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการตรวจสอบสารพฤกษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเมทานอลจากข้าว กข.31 ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์

Compounds	Dose (Gy)											
	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Antraquinones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flavonoids	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Reducing Sugar	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Saponin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steroids	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tannins	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Terpenoids	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

หมายเหตุ - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบ + หมายถึง ตรวจสอบพบ



4.4.4 ศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้นจากสารสกัดข้าว กข.41

จากการศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้นจากสารสกัดข้าว กข.41 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยติดตามจากปฏิกิริยาการเกิดสี หรือตะกอนของสารสกัดหยาบจากตัวทำละลายที่ใช้คือเมทานอล โดยสารที่พบ คือ ฟลาโวนอยด์ น้ำตาลรีดิวซ์ และเทอร์ปีนอยด์ ในส่วนของ แอนทราควิโนน ซาโปนิน สเตียรอยด์ และแทนนิน ตรวจสอบไม่พบในสารสกัดข้าว กข.41 ที่สกัดโดยเมทานอล โดยแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงการตรวจสอบสารพฤกษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเมทานอลจากข้าว กข.41 ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์

Compounds	Dose (Gy)												
	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000	
Anthraquinones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flavonoids	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Reducing Sugar	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Saponin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steroids	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tannins	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Terpenoids	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

หมายเหตุ - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบ + หมายถึง ตรวจสอบพบ

4.4.5 ศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้นจากสารสกัดข้าว กข.57

จากการศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้นจากสารสกัดข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยติดตามจากปฏิกิริยาการเกิดสี หรือตะกอนของสารสกัดหยาบจากตัวทำละลายที่ใช้คือเมทานอล โดยสารที่พบ คือ ฟลาโวนอยด์ น้ำตาลรีดิวซ์ และเทอร์ปีนอยด์ ในส่วนของ แอนทราควิโนน ซาโปนิน สเตียรอยด์ และแทนนิน ตรวจสอบไม่พบในสารสกัดข้าว กข.57 ที่สกัดโดยเมทานอล โดยแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงการตรวจสอบสารพฤกษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเมทานอลจากข้าว กข.57 ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์

Compounds	Dose (Gy)												
	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000	
Anthraquinones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flavonoids	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Reducing Sugar	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Saponin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steroids	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tannins	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Terpenoids	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

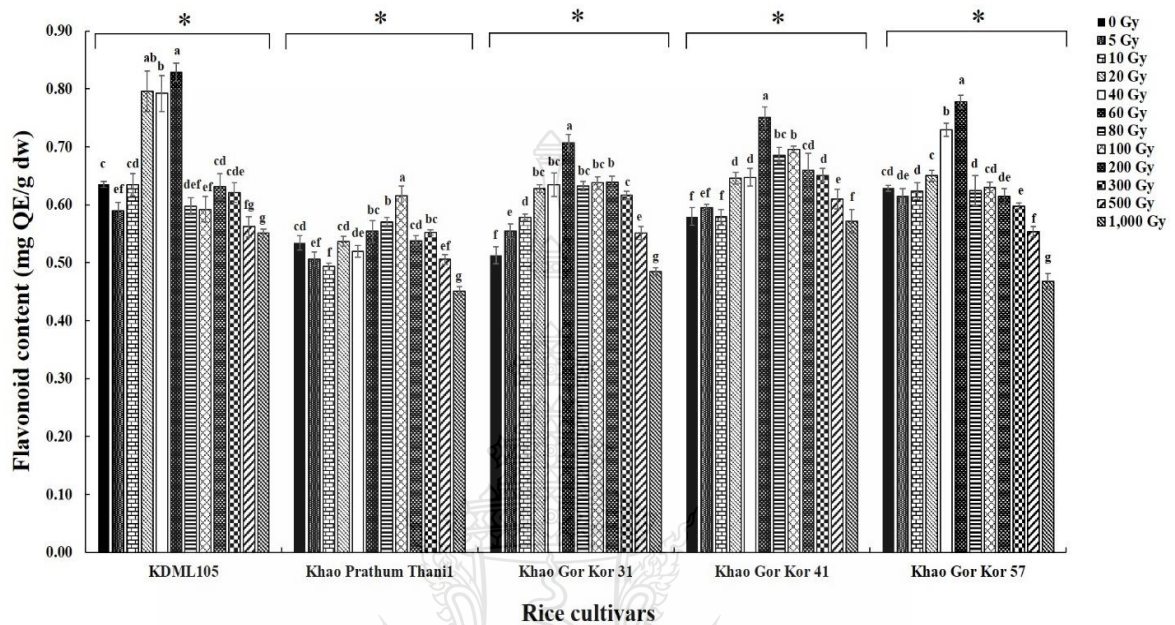
หมายเหตุ - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบ + หมายถึง ตรวจสอบพบ

4.4 การหาปริมาณฟลาโวนอยด์

จากการสกัดข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ ด้วยเมทานอลแล้วนำสารสกัดมาวิเคราะห์หาปริมาณของฟลาโวนอยด์โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสีด้วยวิธีลูมิเนียมคลอไรด์ แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเคอเวอซิทิน พบว่า การฉายรังสีแกมมา มีการกระตุ้นปริมาณฟลาโวนอยด์ให้เพิ่มขึ้นที่ปริมาณรังสี 20 เกรย์ จนถึง 300 เกรย์ และกระตุ้นสูงสุดของข้าวมะลิ 105 (0.83 มิลลิกรัมต่อกรัม) ข้าวปทุมธานี 1 (0.62 มิลลิกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.31 (0.71 มิลลิกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.41 (0.75 มิลลิกรัมต่อกรัม) และ ข้าว กข.57 (0.78 มิลลิกรัมต่อกรัม) ที่ปริมาณรังสี 60 เกรย์ 4 สายพันธุ์ ในส่วนของ ข้าวปทุมธานี 1 อยู่ที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ แต่ปริมาณรังสีสูงจะไปยังยังการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟลาโวนอยด์ โดยที่ปริมาณรังสี 80 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ เริ่มมีการยับยั้งปริมาณฟลาโวนอยด์ของข้าวข้าวมะลิ 105 และข้าว กข.57 ปริมาณรังสี 80 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ยับยั้งปริมาณฟลาโวนอยด์ของข้าวปทุมธานี 1 และ ปริมาณรังสี 1,000 เกรย์ ยับยั้งปริมาณฟลาโวนอยด์ของข้าว กข.31 และ ข้าว กข.41 เมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ฉายรังสี ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.16



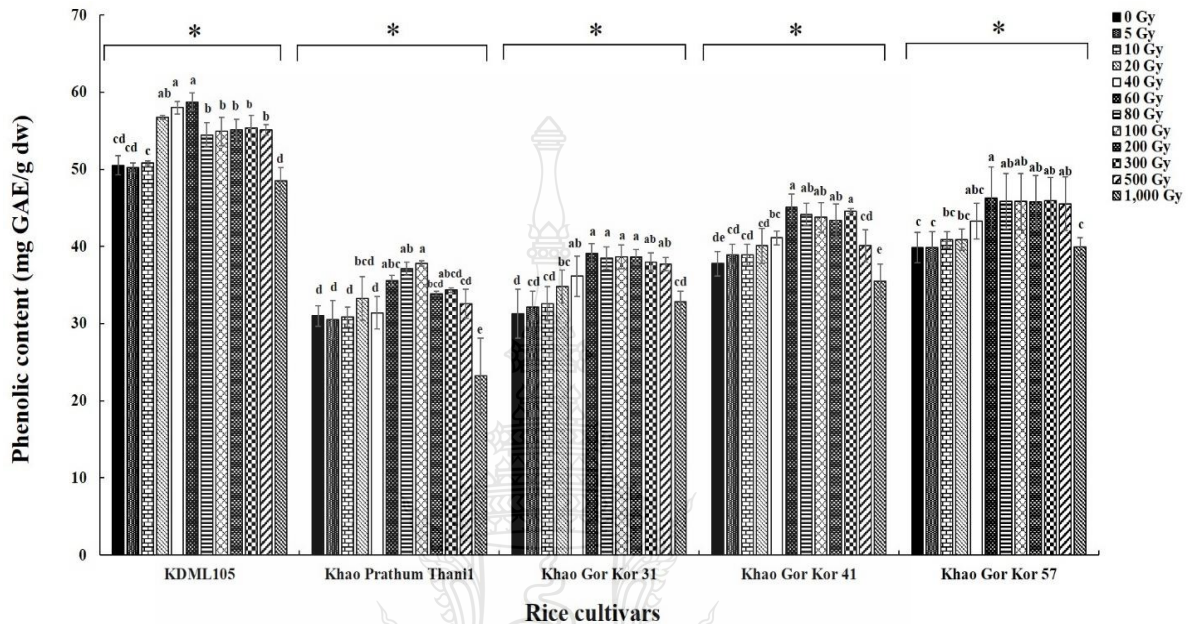
ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณฟลาโวนอยด์จากสารสกัดหยาบจากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข. 31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



4.5 การหาปริมาณฟีนอลิก

จากการสกัดข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ ด้วยเมทานอลแล้วนำสารสกัดมาวิเคราะห์หาปริมาณของฟีนอลิกด้วยวิธีฟอลิน-ไซโอแคลทู แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิกพบว่า การฉายรังสีแกมมา มีการกระตุ้นปริมาณของฟีนอลิกให้เริ่มเพิ่มขึ้นที่ปริมาณรังสี 20 เกรย์ จนถึง 500 เกรย์ และกระตุ้นสูงที่สุดของข้าวมะลิ 105 (58.73 มิลลิกรัมต่อกรัม) ข้าวปทุมธานี 1 (37.80 มิลลิกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.31 (39.06 มิลลิกรัมต่อกรัม) ข้าว กข.41 (45.04 มิลลิกรัมต่อกรัม) และ ข้าว กข.57 (46.29 มิลลิกรัมต่อกรัม) ที่ปริมาณรังสี 60 เกรย์ 4 สายพันธุ์ ในส่วนของ ข้าวปทุมธานี 1 อยู่ที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ แต่ปริมาณรังสีที่ 1,000 เกรย์ ยับยั้งปริมาณฟีนอลิกของข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 และข้าว กข.41 เมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสี ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณฟีนอลิกจากสารสกัดหยาบจากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์

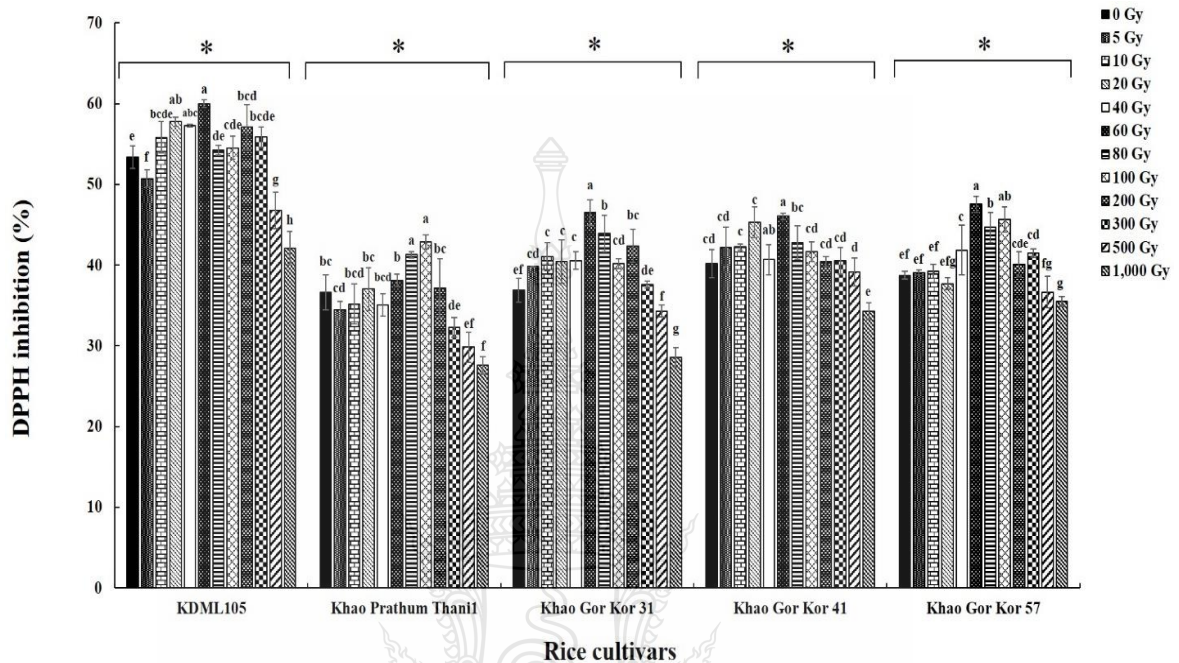


4.6 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

4.6.1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging)

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) จากสารสกัดข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ ที่สกัดด้วยเมทานอล พบว่า การฉายรังสีแกมมามีการกระตุ้นฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระให้เพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสีที่ 10 เกรย์ จนถึง 300 เกรย์ และกระตุ้นได้สูงที่สุดของแต่ละสายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวมะลิ 105 (59.98%) ข้าวปทุมธานี 1 (42.86%) ข้าว กข. 31 (46.54%) ข้าว กข.41 (46.05%) และ ข้าว กข.57 (47.53%) ที่ปริมาณรังสี 60 เกรย์ 4 สายพันธุ์ ในส่วนของ ข้าวปทุมธานี 1 อยู่ที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ แต่ปริมาณรังสีที่ 500 เกรย์ และ 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งการต้านอนุมูลอิสระของข้าวมะลิ 105 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 ส่วนข้าว ปทุมธานี 1 ที่ปริมาณรังสี 300 เกรย์ และ 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งการต้านอนุมูลอิสระเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสี ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงร้อยละการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอชจากสารสกัดหยาบจากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์

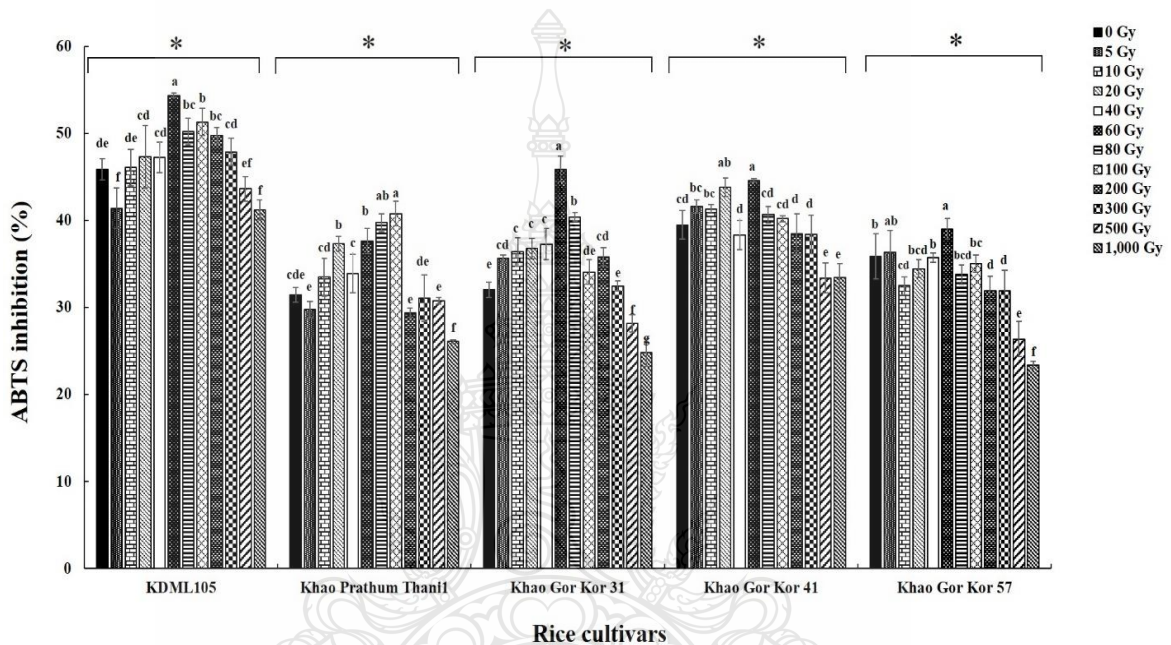


4.6.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีเอบีทีเอส (ABTS radical cation decolorization assay)

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) จากสารสกัดข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 30 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ ที่สกัดด้วยเมทานอล พบว่า การฉายรังสีแกมมามีการกระตุ้นฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระให้เพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสีที่ 10 เกรย์ จนถึง 100 เกรย์ และกระตุ้นได้สูงที่สุดของแต่ละสายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวมะลิ 105 (54.35%) ข้าวปทุมธานี 1 (40.77%) ข้าว กข.31 (45.89%) ข้าว กข.41 (44.58%) และ ข้าว กข.57 (39.02%) ที่ปริมาณรังสี 60 เกรย์ 4 สายพันธุ์ ในส่วนของ ข้าวปทุมธานี 1 อยู่ที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ แต่ปริมาณรังสีที่ 500 เกรย์ และ 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งการต้านอนุมูลอิสระของข้าวมะลิ 105 ข้าว และ กข.31 ปริมาณรังสีที่ 200 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งการต้านอนุมูลอิสระของข้าวปทุมธานี 1 และข้าว กข.41 และปริมาณรังสีที่ 80 เกรย์

ถึง 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งการต้านอนุมูลอิสระของข้าวข้าว กข.57 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 แสดงร้อยละการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีเอบีทีเอส จากสารสกัดหยาบจากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



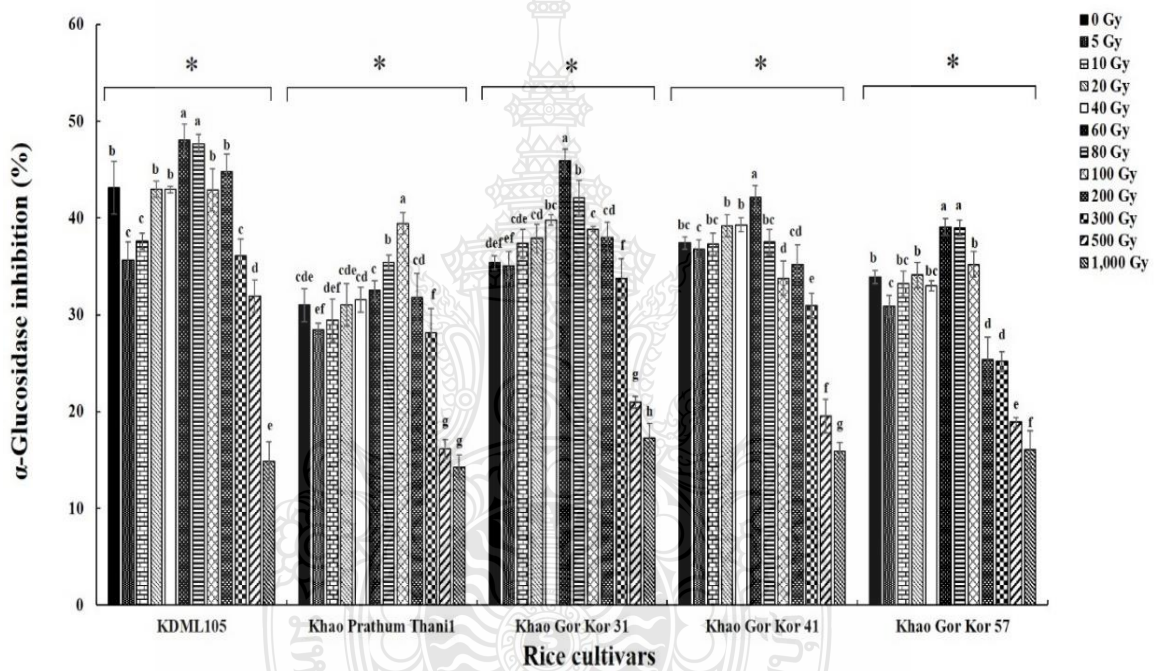
4.7 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์

4.7.1 การวิเคราะห์ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส

จากการศึกษาการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสจากสารสกัดข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ ที่สกัดด้วยเมทานอล พบว่า ในการทดสอบในสภาวะเดียวกัน (ที่ความเข้มข้นของตัวอย่าง เท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) การฉายรังสีแกมมามีการกระตุ้นการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสให้เพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสีที่ 40 เกรย์ จนถึง 200 เกรย์ และกระตุ้นได้สูงที่สุดของแต่ละสายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวมะลิ 105 (48.05%) ข้าวปทุมธานี 1 (39.44%) ข้าว กข.31 (45.93%) ข้าว กข.41 (42.11%) และ ข้าว กข.57 (39.06%) ที่ปริมาณรังสี 60 เกรย์ 4 สายพันธุ์ ในส่วนของ ข้าวปทุมธานี 1 อยู่ที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์

แต่ปริมาณรังสีที่ 200 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสของข้าวมะลิ 105 ข้าว ข้าวปทุมธานี 1 และ กข.31 ปริมาณรังสีที่ 100 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสของข้าว กข.31 และปริมาณรังสีที่ 200 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งการต้านอนุมูลอิสระของข้าวข้าว กข.57 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.20

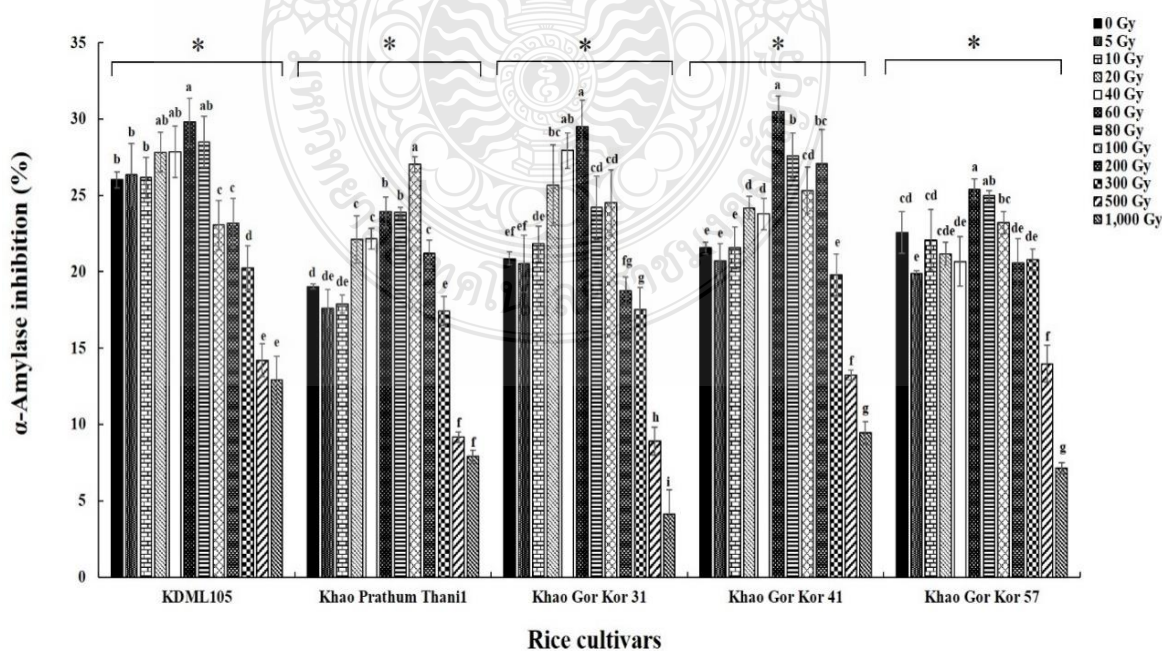
ตารางที่ 4.20 แสดงร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส จากสารสกัดหยาบจากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



4.7.2 การวิเคราะห์ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

จากการศึกษาวิจัยการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจากสารสกัดข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ ที่สกัดด้วยเมทานอล พบว่า ในการทดสอบในสภาวะเดียวกัน (ที่ความเข้มข้นของตัวอย่าง เท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) การฉายรังสีแกมมา มีการกระตุ้นการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสให้เพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสีที่ 20 เกรย์ จนถึง 100 เกรย์ และกระตุ้นได้สูงที่สุดของแต่ละสายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวมะลิ 105 (29.80%) ข้าวปทุมธานี 1 (27.05%) ข้าว กข.31 (29.48%) ข้าว กข.41 (30.50%) และ ข้าว กข.57 (25.40%) ที่ปริมาณรังสี 60 เกรย์ 4 สายพันธุ์ ในส่วนของ ข้าวปทุมธานี 1 อยู่ที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ แต่ปริมาณรังสีที่ 100 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ของข้าวมะลิ 105 ข้าว ปริมาณรังสีที่ 300 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ของข้าวปทุมธานี 1 และข้าว กข.41 และปริมาณรังสีที่ 200 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสของข้าว กข.31 และข้าว กข.57 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.21

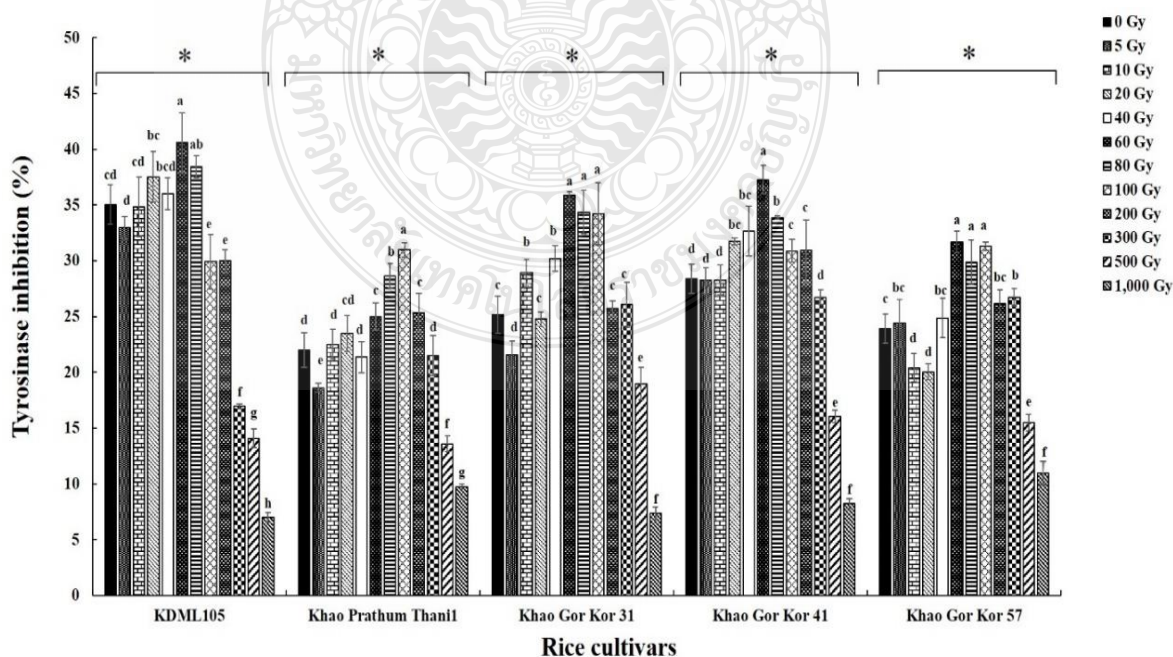
ตารางที่ 4.21 แสดงร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จากสารสกัดหยาบจากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



4.7.3 การวิเคราะห์ร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ไทโรซิเนส

จากการศึกษาร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ไทโรซิเนสจากสารสกัดข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ ที่สกัดด้วยเมทานอล พบว่าในการทดสอบในสภาวะเดียวกัน (ที่ความเข้มข้นของตัวอย่าง เท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) การฉายรังสีแกมมามีการกระตุ้นการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ไทโรซิเนสให้เพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสีที่ 20 เกรย์ จนถึง 200 เกรย์ และกระตุ้นได้สูงที่สุดของแต่ละสายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวมะลิ 105 (40.60%) ข้าวปทุมธานี 1 (30.96%) ข้าว กข.31 (35.88%) ข้าว กข.41 (37.26%) และ ข้าว กข.57 (31.68%) ที่ปริมาณรังสี 60 เกรย์ 4 สายพันธุ์ ในส่วนของ ข้าวปทุมธานี 1 อยู่ที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ แต่ปริมาณรังสีที่ 100 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์เอนไซม์ไทโรซิเนสของข้าวมะลิ 105 ข้าว ปริมาณรังสีที่ 300 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์เอนไซม์ไทโรซิเนสของข้าวปทุมธานี 1 และข้าว กข.41 และปริมาณรังสีที่ 500 เกรย์ ถึง 1,000 เกรย์ ลดการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์เอนไซม์ไทโรซิเนสของข้าว กข.31 และข้าว กข.57 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 แสดงร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ไทโรซิเนสจากสารสกัดหยาบจากข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์



4.8 การศึกษาชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าว

จากการวิเคราะห์หาชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในตัวอย่างข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์ พบว่า เมื่อทำการฉายรังสีแกมมาแล้วมีสารบางชนิดที่สลายไป และในแต่ละความเข้มข้นของการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีไม่เท่ากันยังมีการกระตุ้นให้ผลิตสารบางชนิดเพิ่มขึ้นมาเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ฉายรังสี ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ การศึกษาชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าว มะลิ 105 (ตารางที่ 4.6) ข้าวปทุมธานี 1 (ตารางที่ 4.7) ข้าว กข.31 (ตารางที่ 4.8) ข้าว กข.41 (ตารางที่ 4.9) และ ข้าว กข.57 (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.6 การศึกษาชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าว มะลิ 105

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Ethanol	11.553	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1-Butanol	24.077	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
3-Methyl-1-butanol	27.462	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Butyl butanoate	27.724	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
2-Pentylfuran	28.210	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Acetoin	31.028	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1-Hexanol	34.665	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-
Acetic acid	38.722	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Furfural	39.167	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Benzaldehyde	41.788	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethyl nonanoate	42.643	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
[R-(R*,R*)]-2,3-Butanediol	42.911	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
[S-(R*,R*)]-2,3-Butanediol	44.494	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Butanoic acid	46.191	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+
1-Nonanol	47.679	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(E,E)-2,4-Decadienal	53.239	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+
2-Tridecanone	53.246	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Tridecanal	53.504	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hexanoic acid	54.345	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
3-Methyl-6-propylphenol	54.42	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
4-(1-Methylpropyl)phenol	54.421	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dodecanoic acid ethyl ester	54.422	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-
2-Methoxyphenol	54.777	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+
3-Hydroxy-2,4,4-trimethylpentyl 2-methylpropanoate	55.327	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Phenylethyl alcohol	56.622	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tetradecanal	57.048	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
1-Dodecanol	58.429	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Phenol	59.295	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
2-Penta decanone	60.027	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-
2-Methoxy-4-ethylphenol	60.117	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+
Penta decanal	60.244	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Dihydro-5-pentyl-2(3H)-furanone	60.322	-	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+
Ethyl tetra decanoate	60.803	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Octanoic acid	60.970	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+
Hexadecanal	63.128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Ethyl penta decanoate	63.551	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	+	-
Nonanoic acid	63.807	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1-Tetradecanol	64.067	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1-(2-Hydroxy-5-methyl phenyl) ethanone	64.513	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethyl hexa decanoate	66.158	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
cis-9-Hexa decenal	66.411	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
(Z)-7-Hexa decenal	66.412	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
n-Decanoic acid	66.418	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
n-Penta-decanol	66.578	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
1-Hexadecanol	66.583	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Ethyl 9-hexa decenoate	66.757	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
2,3-Dihydro-benzofurane	69.054	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Methyl cis-10-hepta decenoate	69.209	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-
4-(1,1-Dimethyl propyl)phenol	69.504	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Benzoic acid	70.210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
n-Hexa-decanoic acid	70.368	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2,4-Bis(1,1-dimethylethyl)-6-(1-phenylethyl) phenol	70.790	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Ethyl 9-octa-decenoate	71.217	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Benzo-phenone	71.337	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+
Ethyl Oleate	71.396	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-
9,12-Octa-decadienoic acid ethyl ester	72.309	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Ethyl 9,12,15-octadecatrienoate	73.950	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Tetra decanoic acid	76.573	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+



ตารางที่ 4.7 การศึกษาชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวปทุมธานี 1

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Acetone	6.338	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-
3-Methyl-butanol	9.876	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Ethanol	11.663	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hexanal	19.761	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+
2-Methyl-1-propanol	21.135	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+
1-Butanol	24.371	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+
2-Methyl-1-butanol	27.406	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+
3-Methyl-1-butanol	27.586	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2-Pentylfuran	28.026	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Acetoin	31.178	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Octanal	31.290	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+
1-Hepten-3-one	31.906	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Nonanal	36.336	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+
Tetradecane	36.860	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-
(E)-2-Octenal	37.957	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Acetic acid	38.690	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
1-Octen-3-ol	38.999	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Furfural	39.172	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
2-Ethyl-hexanol	40.746	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Benzaldehyde	41.791	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(E)-2-Nonenal	42.580	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
[R-(R*,R*)]-2,3-Butanediol	43.073	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1-Octanol	43.616	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-
[S-(R*,R*)]-2,3-Butanediol	44.665	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(E)-2-Octen-1-ol	45.896	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
1-Nonanol	47.678	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
(L)-alpha-Terpineol	49.167	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
endo-Borneol	49.326	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
1-Hexadecanol	49.337	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Methoxyphenyl-oxime	51.343	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-
Ethylphenylethanoate	52.227	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Hexanoic acid	54.358	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Dodecanoic acid ethyl ester	54.442	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
2-Methoxy-phenol	54.780	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Phenylethyl alcohol	56.638	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+
alpha-Ethylidenebenzeneacet aldehyde	57.224	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-
4-Ethyl-2-methoxy phenol	60.126	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
Tetradecanal	60.257	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pentadecanal	60.257	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethyl tetradecanoate	60.831	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Ethyl 9-tetradecenoate	61.480	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-(4-Hexyl-2,5-dioxo-3-furyl) acetic acid	62.244	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethyl 13-methyl-tetradecanoate	62.698	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
6,10,14- Trimethyl-2- penta decanone	62.937	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Ethyl penta decanoate	63.574	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Nonanoic acid	63.811	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
1-Tetra decanol	64.082	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-(2-Hydroxy- 5-methyl- phenyl)- ethanone	64.527	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Methyl 2- methylhexad ecanoate	64.914	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Methyl hexa decanoate	65.199	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-
Ethyl hexa decanoate	66.214	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethyl 9-hexa decanoate	66.614	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Ethyl E-11- hexa decanoate	66.794	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	+	+

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Glycerin	67.480	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-
2,5-Dihydro thiophene	67.896	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Ethyl hepta decanoate	68.514	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-
1-Hexa decanol	68.962	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Methyl cis-10-hepta decenoate	68.955	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-
2,3-Dihydro benzofuran	69.068	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Methyl 8-(2-hexylcyclopropyl) octanoate	69.205	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
4-(1,1-Dimethylpropyl) phenol	69.520	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Butyl hexa decanoate	70.220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
n-Hexa decanoic acid	70.427	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
2,4-Bis(1,1-Dimethyl propyl) phenol	70.769	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Methyl 17-methylocta decanoate	70.781	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Octadecanoic acid ethyl ester	70.787	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+
Ethyl 9-octa decenoate	71.246	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Benzo phenone	71.351	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+
Ethyl oleate	71.429	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-
Ethyl-9,12-octa decadienoate	72.340	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
D,L-Meva lonic acid lactone	72.838	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-
Ethyl 6,9,12-hexadecatrie noate	73.028	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Ethyl 9,12,15-octadecatrienoate	73.975	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-
Diphenylamine	74.100	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+
1-(3-Hydroxy-4-methoxyphenyl)ethanone	75.100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Tetradecanoic acid	76.589	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+
Myristoleic acid	77.826	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



ตารางที่ 4.8 การศึกษาชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าว กข.31

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Acetone	6.654	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+
Isopropyl alcohol	11.898	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethanol	12.080	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2,3-Butanedione	14.267	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Ethyl butanoate	17.855	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Butyl acetate	20.018	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-Butanol	25.480	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2-Methyl-1-butanol	27.972	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Butyl butanoate	27.987	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
3-Methyl-1-butanol	28.343	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
2-Pentylfuran	28.886	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
3-Methylbutyl butanoate	30.799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acetoin	32.026	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
4-Heptanol	38.818	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-
Acetic acid	39.440	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+
Tetramethyl pyrazine	40.713	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
3-Methoxy-2-butanol	42.473	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Benzaldehyde	42.578	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-
[R-(R*,R*)]-2,3-Butanediol	43.629	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
[S-(R*,R*)]-2,3-Butanediol	45.088	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Butanoic acid	46.868	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+
4,5-Octanediol	49.945	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
Ethyl dodecanoate	54.979	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+
Ethyl benzene propanoate	56.395	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+
Phenylethyl alcohol	57.286	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
n-Butyl laurate	60.563	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
Pentadecanal	60.697	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4-Ethyl-2-methoxy phenol	60.769	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Dihydro-5-pentyl-2(3H)-furanone	60.805	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Isopropyl myristate	60.945	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Ethyl tetra decanoate	61.277	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Octanoic acid	61.505	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
n-Butyl- β -phenyl propionate	61.994	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Hexadecanal	63.564	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+
Ethyl penta decanoate	64.001	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+
cis-9-Hexa decenal	64.271	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
1-Tetradecanol	64.523	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
2-Methoxy-4-vinylphenol	65.136	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Butyl myristate	65.930	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Isopropyl palmitate	66.204	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Ethyl hexadecanoate	66.571	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1-Eicosanol	67.019	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
(Z)-13-Octadecenal	67.023	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Ethyl 9-hexa decenoate	67.029	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
Ethyl E-11-hexa decenoate	67.199	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
alpha-(Phenyl methyl)benzenethanol	69.571	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-
Methyl cis-10-heptadecenoate	69.635	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Methyl 8-(2-hexylcyclopropyl)octanoate	69.637	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
4-(1,1-Dimethylpropyl)phenol	70.102	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
alpha-(2-Methylpropyl)benzene ethanol	70.283	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+
Butyl hexadecanoate	70.641	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Butyl 9-hexadecenoate	71.234	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+
n-Hexadecanoic acid	71.644	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
(E)-Ethyl 9-octadecenoate	71.652	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+
(E)-9-octadecenoate	71.826	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Ethyl oleate	71.838	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Ethyl-9,12-octadecadienoate	72.795	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-
Ethyl 9,12,15-decatrienoate	74.507	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-
Hydrocinnamic acid	75.289	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	-
Butyl 9-octadecenoate	76.322	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-
Methyl cis-11-octadecenoate	76.323	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetradecanoic acid	77.324	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-



ตารางที่ 4.9 การศึกษาชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าว กข.41

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Acetone	6.329	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
Isopropyl alcohol	11.369	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-
Ethanol	11.611	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethyl butanoate	17.177	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Butyl acetate	19.382	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+
2-Methyl-1-propanol	21.170	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
1-Butanol	24.322	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2-Methyl-1-butanol	27.375	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
3-Methyl-1-butanol	27.526	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Butyl butanoate	27.649	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+
2-Pentylfuran	28.100	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Acetoin	31.089	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
1-Hexanol	34.656	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
(E,E)-1,3,5-Undecatriene	36.784	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Acetic acid	38.671	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+

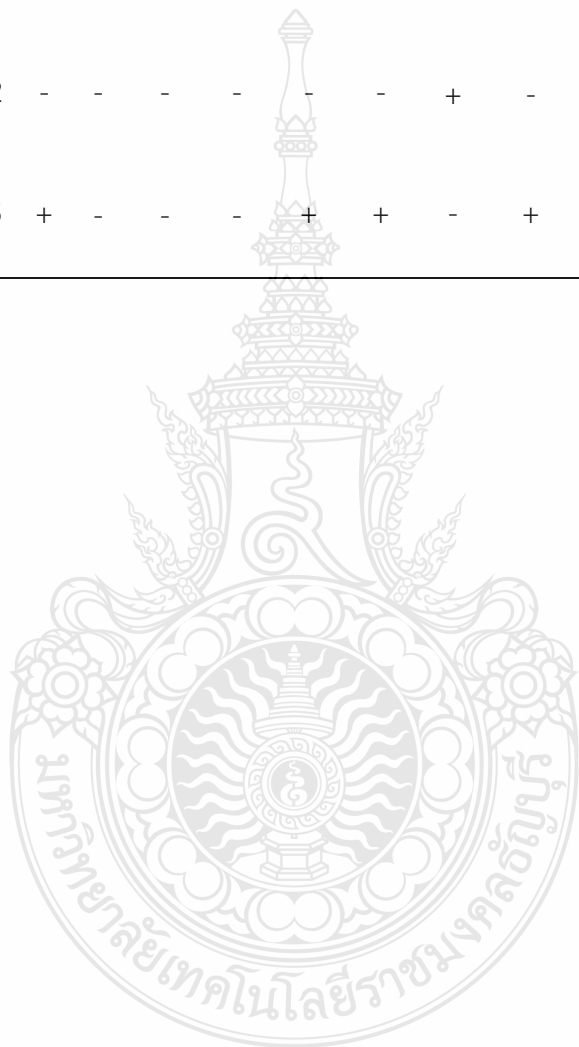
Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Furfural	39.152	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+
Benzaldehyde	41.773	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
[R-(R*,R*)]-2,3-Butanediol	42.977	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
[S-(R*,R*)]-2,3-Butanediol	44.501	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Butanoic acid	46.151	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(E,E)-2,4-Decadienal	53.231	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethyl dodecanoate	54.413	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-
2-Methoxyphenol	54.765	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+
Ethyl benzenepropanoate	55.739	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Phenylethyl alcohol	56.613	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
alpha-Ethylidenebenzeneacetaldehyde	57.198	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
2,3-Dihydro-1H-indene-4-carbaldehyde	57.199	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-Ethyl-2-methoxyphenol	60.109	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-
Pentadecanal	60.227	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Dihydro-5-pentyl-2(3H)furanone	60.318	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+
Ethyl tetradecanoate	60.793	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Octanoic acid	60.967	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
2-Methylpropylbenzene propanoate	61.425	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Ethyl 13-methyltetradecanoate	62.670	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Hexadecanal	63.118	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
2-Phenoxyethanol	63.239	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Ethyl penta decanoate	63.543	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-
Nonanoic acid	63.801	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
1-(2-Hydroxy-5-methyl phenyl) ethanone	64.501	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+
Butyl myristate	65.486	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-
Isopropyl palmitate	65.792	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-
Ethyl hexa decanoate	66.161	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
n-Decanoic acid	66.409	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Ethyl 9-hexa decenoate	66.563	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-
Ethyl E-11-hexa decenoate	66.744	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethyl hepta decanoate	68.490	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Methyl 9-hepta decenoate	69.022	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
alpha-(Phenyl methyl)Benzeneethanol	69.050	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Methyl cis-10-heptadecenoate	69.203	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4-(1,1-Dimethylpropyl)phenol	69.497	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Butyl hexadecanoate	70.222	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
n-Hexadecanoic acid	70.375	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethyl octadecanoate	70.766	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-
(E) Ethyl 9-octadecenoate	71.212	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Benzo phenone	71.321	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+
Ethyl oleate	71.385	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethyl-9,12-octadecadienoate	72.295	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Ethyl (Z,Z,Z)- 9,12,15- octadecatrie noate	73.936	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Butyl 9-octa decenoate	75.702	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Tetradeca noic acid	76.575	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+



ตารางที่ 4.10 การศึกษาชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าว กข.57

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
Acetone	6.331	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Isopropyl alcohol	11.311	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethanol	11.549	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Butyl acetate	19.392	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
2-Methyl-1-propanol	21.123	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
1-Butanol	24.148	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2-Methyl-1-butanol	27.373	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-Methyl-1-butanol	27.469	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Butyl butanoate	27.744	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2-Pentylfuran	28.219	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acetoin	31.032	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
(3E,5Z)-1,3,5-Undecatriene	36.806	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acetic acid	38.699	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Furfural	39.159	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Benzaldehyde	41.785	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-
3-Methoxy-2-butanol	41.941	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
[R-(R*,R*)]-2,3-Butanediol	42.912	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
[S-(R*,R*)]-2,3-Butanediol	44.462	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Butanoic acid	46.164	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4,5-Octanediol	49.365	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-
R,S-2,3-hexanediol	49.367	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
8-Hydroxy-neomenthol	53.243	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethyl dodecanoate	54.417	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Ethyl benzene-propanoate	55.774	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+
Phenylethyl alcohol	56.620	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tetradecanal	57.041	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-Ethyl-2-methoxyphenol	60.108	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
Pentadecanal	60.239	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Dihydro-5-pentyl-2(3H)-furanone	60.315	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethyl tetradecanoate	60.797	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
n-Butyl- β -phenyl-propionate	61.444	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hexadecanal	63.128	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+
2-Phenoxy-ethanol	63.245	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Ethyl penta-decanoate	63.546	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Nonanoic acid	63.799	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-
cis-9-Hexa-decenal	63.816	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
1-Tetradecanol	64.061	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Methoxy-4-vinylphenol	64.508	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetrahydro-6-pentyl-2H-pyran-2-one	64.867	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Butyl myristate	65.491	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Isopropyl palmitate	65.802	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ethyl hexa-decanoate	66.137	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9-Hexa-decenoic acid	66.409	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Z)-13-Octa-decenal	66.411	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
n-Penta-decanol	66.564	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
(Z)-9-Octa-decenal	66.565	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
1-Hexadecanol	66.573	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-
Ethyl 9-hexa-decenoate	66.743	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-
Ethyl E-11-hexadecenoate	66.747	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
1,2-Dimethoxy-ethylbenzene	69.055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Alpha-(Phenylmethyl)benzeneethanol	69.056	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-
Methyl cis-10-heptadecenoate	69.202	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Methyl 9-heptadecenoate	69.204	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
4-(1,1-Dimethyl-propyl)phenol	69.500	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Butyl hexa-decanoate	70.225	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
n-Hexa-decanoic acid	70.376	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Butyl 9-hexa-decenoate	70.619	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-

Volatile compounds	RT	0	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500	1,000
n-Propyl 11-octadecenoate	70.823	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Ethyl oleate	71.210	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Benzophenone	71.329	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+
Ethyl 9-octadecenoate	71.384	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+
9,12-Octadecadienoic acid ethyl ester	72.294	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-
Methyl cis-10-heptadecenoate	73.288	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
cis-10-Heptadecenoic acid	73.294	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethyl (Z,Z,Z)-9,12,15-octadecatrienoate	73.935	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Ethyl 9,12,15-octadecatrienoate	73.940	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocinnamic acid (E)-9-Octadecenoic acid methyl ester	74.535	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+
Tetradecanoic acid	76.570	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-

4.9 การศึกษาฤทธิ์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวสายพันธุ์ไทย

จากผลการวิเคราะห์หาชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในตัวอย่างข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์ โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ในตารางที่ 4.29 ถึง 4.33 พบว่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวบางชนิดมีฤทธิ์ทางชีวภาพ อาทิเช่น เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านเชื้อรา สารต้านเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงกิจกรรมในทางชีวภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในตัวอย่างข้าวมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57 อายุ 3 วัน ที่ทำการฉายรังสีทั้งหมด 12 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 5 10 20 40 60 80 100 200 300 500 และ 1,000 เกรย์

Compounds	RT	Rice cultivars	Gamma dose (Gy)	Biological activity	Ref.
3-Methylbutanal	9.876	Khao Prathum Thani 1	10, 200	Antioxidant	[66]
2,3-Butanedione	14.267	Khao Gor Khao 31	60	Antimicrobial	[67]
Hexanal	19.761	Khao Prathum Thani 1 Khao Prathum Thani 1	10, 40, 100, 200, 1000	Antimicrobial	[68]
2-Methyl-1-butanol	27.406	Khao Gor Khao 31 Khao Gor Khao 41 Khao Gor Khao 57	10 to 1,000	Antimicrobial	[69]

Compounds	RT	Rice cultivars	Gamma dose (Gy)	Biological activity	Ref.
Octanal	31.290	Khao Prathum Thani 1	10, 100, 200, 1,000	Antimicrobial, antioxidant, antidiabetes	[70], [71]
1-Hexanol	34.665	KDML105, Khao Gor Khao 41	10, 20, 100, 200, 300, 1,000	Antimicrobial, antioxidant	[72]
Nonanal	36.336	Khao Prathum Thani 1	10, 40, 100, 200, 1,000	Antibacterial	[73]
Tetradecane	36.860	Khao Prathum Thani 1	10, 40, 100, 200	Antimicrobial, antioxidant	[74]
(E)-2-Octenal	37.957	Khao Prathum Thani 1	10, 100, 200	Antibacterial	[75]
1-Octen-3-ol	38.999	Khao Prathum Thani 1	10, 100, 200	Antibacterial	[76]
Furfural	39.167	KDML105 Khao Prathum Thani 1 Khao Gor Khao 41 Khao Gor Khao 57	5 to 1,000	Antibacterial	[77]
Tetramethyl pyrazine	40.713	Khao Gor Khao 31	60	Antioxidant, anti-hypolipidemia	[78]
(E)-2-Nonenal	42.580	Khao Prathum Thani 1	200	Antioxidant	[79]

Compounds	RT	Rice cultivars	Gamma dose (Gy)	Biological activity	Ref.
(L)-alpha-Terpineol	49.167	Khao Prathum Thani 1	200	Antibacterial, antioxidant	[80]
Endo-Borneol	49.326	Khao Prathum Thani 1	200	Antioxidant	[81]
R,S-2,3-Hexanediol	49.367	Khao Gor Khao 57	1,000	Gaucher disease treatment, antiviral, cytoprotectant, skin diseases treatment	[82]
(E,E)-2,4-Decadienal	53.231	KDML105 Khao Gor Khao 41	10, 100, 200, 500, 1000	Antimicrobial	[83]
2-Tridecanone	53.246	KDML105	80	Antimicrobial	[84]
Hexanoic acid	54.345	KDML105 Khao Prathum Thani 1	5, 10, 300, 500, 1,000	Antioxidant	[85]
2-Methoxyphenol	54.777	KDML105 Khao Prathum Thani 1 Khao Gor Khao 41	10, 60, 100, 300, 500, 1,000	Antioxidant	[86]

Compounds	RT	Rice cultivars	Gamma dose (Gy)	Biological activity	Ref.
1-Dodecanol	58.429	KDML105	10, 300	Antimicrobial	[87]
2-Pentadecanone	60.027	KDML105	5, 80, 200	Wound closure, collagen deposition, and fibroblast proliferation	[88]
2-Methoxy-4-vinylphenol	64.508	Khao Gor Khao 31 Khao Gor Khao 57	60, 100	Anti-inflammatory	[89]
(Z)-7-Hexadecenal	66.412	KDML105	20, 40, 60	Antifungal, antibacterial, antiviral activity	[90]
n-Pentadecanol	66.578	KDML105 Khao Gor Khao 57	80,100,200,300,500,1,000	Inherited human peroxisomal disorders	[90]
Ethyl octadecanoate	70.766	Khao Gor Khao 41	10, 20, 40, 60, 300	Antioxidant, anti-inflammatory	[91]
cis-10-Heptadecenoic acid	73.294	Khao Gor Khao 57	20	Antioxidant, anti-cancer	[92]

Compounds	RT	Rice cultivars	Gamma dose (Gy)	Biological activity	Ref.
Diphenylamine	74.100	Khao Prathum Thani 1	10, 40, 300, 1000	Antidiabetes	[93]
(E)-9-Octadecenoic acid methyl ester	75.714	Khao Gor Khao 57	20, 40, 60, 80, 100	Anti-inflammatory	[94]



บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโต สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมทางชีวภาพของข้าว 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวประทุมธานี 1 ข้าวมะลิ 105 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และ ข้าว กข.57

โดยเริ่มทำการศึกษาจากการเจริญเติบโตของข้าวไม่ฉายรังสีและข้าวฉายรังสีทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่า การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่ำในช่วง 40 เกรย์ ถึง 100 เกรย์ สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของข้าวได้ทุกสายพันธุ์เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ฉายรังสี แต่ในปริมาณรังสีสูงเท่ากับ 1000 เกรย์ จะยับยั้งการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของข้าว จากนั้น ทำการตรวจสอบสารฟลาโวนอยด์และเบต้าแคโรทีนของสารสกัดหยาบเมทานอลจากข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ พบฟลาโวนอยด์ น้ำตาลรีดิวิซ และเทอร์ปีนอยด์ จากนั้น ทำการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ โดยศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์และปริมาณฟีนอลิก พบว่า การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 60 เกรย์ สามารถกระตุ้นปริมาณฟลาโวนอยด์และปริมาณฟีนอลิกในข้าวมะลิ 105 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และข้าว กข.57 สำหรับข้าวประทุมธานี 1 มีการกระตุ้นที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ แต่ปริมาณรังสีสูง ๆ ที่ 500 เกรย์และ 1,000 เกรย์ ลดปริมาณฟลาโวนอยด์และปริมาณฟีนอลิกในข้าวทุกสายพันธุ์ จากนั้นทำการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดข้าวที่ฉายรังสีแกมมาและไม่ฉายรังสีแกมมา โดยศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช และวิธีเอบีทีเอส พบว่า ข้าวที่ฉายรังสีแกมมา มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าข้าวที่ไม่ฉายรังสีแกมมาทั้งวิธีดีพีพีเอช และวิธีเอบีทีเอส ซึ่งปริมาณรังสีที่ 60 เกรย์ จากข้าวมะลิ 105 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และข้าว กข.57 สำหรับข้าวประทุมธานี 1 มีการกระตุ้นที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์ สามารถการต้านอนุมูลอิสระได้สูงสุด จากนั้นทำการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และเอนไซม์ไทโรซิเนสของข้าวที่ฉายรังสีแกมมา และไม่ฉายรังสีแกมมา พบว่า ข้าวที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาสามารถยับยั้งเอนไซม์ทั้งสามชนิดได้ดีกว่าข้าวที่ไม่ฉายรังสีแกมมา โดยปริมาณรังสีที่ 60 เกรย์ จากข้าวมะลิ 105 ข้าว กข.31 ข้าว กข.41 และข้าว กข.57 สามารถยับยั้งเอนไซม์ทั้งสามชนิดได้ดีที่สุด สำหรับข้าวประทุมธานี 1 มีการกระตุ้นการยับยั้งเอนไซม์ทั้งสามชนิดได้ดีที่สุดที่ปริมาณรังสี 100 เกรย์

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการฉายรังสีแกมมาสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าวสามารถกระตุ้นผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิดที่มีคุณสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เป็นยา

ด้านจุลชีพ ด้านการอักเสบ ด้านโรคเบาหวาน และด้านโรคมะเร็ง จากผลลัพธ์ที่ได้ วิธีการฉายรังสีแกมมาสามารถนำไปพัฒนาข้าวสายพันธุ์ใหม่ที่มีการเจริญเติบโตเร็วขึ้น และมีคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางชีวภาพอีกด้วย



บรรณานุกรม

- [1] M. Jiya, F. Olamide, D. Oladipupo, A. Yusuf, A. Abdulhakeem, M. L. Muhammad, S. B. Zulukanaini, and T. S. David, "Effects of gamma irradiation on submergence tolerance of two selected varieties of lowland rice (*Oryza sativa* L.)," *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, vol. 02, pp. 031-037, March 2018.
- [2] N. V. Nguyen, and A. Ferrero, "Meeting the challenges of global rice production," *Paddy Water Environ*, vol. 4, pp. 1-9, 2006.
- [3] Z. Liaoa, X. Guoa, J. Hua, Y. Suoa, H. Fua, and J. Wang, "The significance of proline on lignocellulose-derived inhibitors tolerance in *Clostridium acetobutylicum* ATCC 824," *Bioresource Technology*, vol. 272, pp. 561-569, October 2018.
- [4] H. G. Loeppert, and H. Koenigshofer, "The up-regulation of proline synthesis in the meristematic tissues of wheat seedlings upon short-term exposure to osmotic stress," *Article in Journal of Plant Physiology*, vol. 237, pp. 21-29, April 2019.
- [5] O. L. Lange, L. Kappen, and E. D. Schulze, "Water and Plant Life," *Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York*, 1976.
- [6] H. M. Lai, and P. Y. Lin, "Bioactive compounds in rice during grain development," *Food Chemistry*, vol. 127, pp. 86-93, December 2010.
- [7] J. A. Muktaa, M. Rahmana, A. A. Sabira, D. R. Guptaa, M. Z. Surovya, M. Rahmanb, and M. T. Islama, "Chitosan and plant probiotics application enhance growth and yield of strawberry," *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 11, pp. 9-18, 2017.
- [8] T. Zimnya., S. Sowa., A. Tyczewska and T. Twardowski, "Certain new plant breeding techniques and their marketability in the context of EU GMO legislation-recent developments," *New BIOTECHNOLOGY*, vol. 51, pp. 49, 2019.
- [9] S. Sansenya, Y. Hua, S. Chumanee, K. Phasai, and C. Sricheewin, "Effect of Gamma Irradiation on 2-Acetyl-1-pyrroline Content, GABA Content and Volatile Compounds of Germinated Rice (Thai Upland Rice)," *Plants*, vol. 6, pp. 18, 2017.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [10] R. Beyaz, C. T. Kahramanogullari, C. Yildiz, E. S. Darcin, and M. Yildiz, "The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. under in vitro conditions," *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 162-163, pp. 129-133, May 2016.
- [11] E. E. Selem, R. E. A. Hamed, H. A. Kamel, and H. S. Hegazy, "Physiological and Biochemical Response of Gamma Irradiated *Sesamum indicum* L. Seed Grown in Heavy Metal Contaminated Soil," *Bioscience Research*, vol. 15, pp. 1063-1072, June 2018.
- [12] Z. Jiao, W. Qi, L. Zhang, H. Xu, and L. Wang, "Physiological and molecular characterization of the enhanced salt tolerance induced by low-dose gamma irradiation in *Arabidopsis* seedlings," *Biochemical and Biophysical Research Communications*, vol. 450, pp. 1010-1015, June 2014.
- [13] Z. Muhammad, H. Ali, R. Ullah, A. Majeed, and N. Inayat, "Germination, Growth and Yield Performance of Flax (*Linum Usitatissimum* L.) Under Gamma Irradiation Stress," *Cercetari Agronomice in Moldova*, vol. 2, pp. 17-26, June 2018.
- [14] J. Kariuki, N. Horemansa, E. Saenen, M. V. Heesa, and M. Verhoeven, "The responses and recovery after gamma irradiation are highly dependent on leaf age at the time of exposure in rice (*Oryza sativa* L.)," *Environmental and Experimental Botany*, vol. 162, pp. 157-167, February 2019.
- [15] X. Niu, W. Tang, W. Huang, G. Ren, Q. Wang, D. Luo, Y. Xiao, S. Yang, F. Wang, B. R. Lu, F. Gao, T. Lu, and Y. Liu, "RNAi-directed downregulation of 796 OsBADH2 results in aroma (2-acetyl-1-pyrroline) production in rice (*Oryza sativa* 797 L.)," *BMC plant biology*, vol. 8, pp. 100, 2008.
- [16] S. A. Khalil, N. Ahmad, and R. Zamir, "Gamma radiation induced variation in growth characteristics and production of bioactive compounds during callogenesis in *Stevia rebaudiana* (Bert.)," *New Negatives in Plant Science*, vol. 1-2, pp. 1-5, June 2015.
- [17] สายพันธุ์ข้าวไทย ที่อยากให้ทุกคนได้ลองหามากิน (Online), 2018, Available: <http://www.lovefarmer.org>.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [18] FAO, Gross nutrient composition(Online), 1993.
- [19] H. Liu, Q. Li, and Y. Xing, “Genes Contributing to Domestication of Rice Seed Traits and Its Global Expansion,”*Genes*, vol. 9, pp. 489, 2018.
- [20] แหล่งปลูกข้าวหอมมะลิที่สำคัญของไทย(Online), 2018, Available: <http://pirun.ku.ac.th>.
- [21] X. Li, L. Wu, X. Geng, X. Xia, X. Wang, Z. Xu, and Q. Xu, “Deciphering the Environmental Impacts on Rice Quality for Different Rice Cultivated Areas,”*Rice*, vol. 11, pp. 7, 2018.
- [22] FAO, Factors affecting wetland rice production and the classification of wetlands for agricultural production(Online), 1995.
- [23] H. G. Loeppert, and H. Koenigshofer, “The up-regulation of proline synthesis in the meristematic tissues of wheat seedlings upon short-term exposure to osmotic stress,”*Journal of Plant Physiology*, vol. 237, pp. 21-29, April 2019.
- [24] N. A. Khan, T. S. Per, P. S. Reddy, A. Masood, M. Hasanuzzaman, M. Iqbal, R. Khan, and N. A. Anjum, “Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics,”*Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 115, pp. 126-140, March 2017.
- [25] Y. K. Choi, Y. Kim, S. H. Hyun, and H. E. Park, “Metabolic profiling, free-radical scavenging and tyrosinase inhibitory activities of *Lemna minor* whole plants cultivated in various concentrations of proline and sucrose,”*Process Biochemistry*, vol. 47, pp. 62-68, October 2011.
- [26] กรุงเทพฯกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ดินเค็มในประเทศไทย(Online), 2539.
- [27] A. Szepesi, and R. Szollosi, “Mechanism of Proline Biosynthesis and Role of Proline Metabolism Enzymes Under Environmental Stress in Plants,”*Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress*, Vol. 17, pp. 337-353, March 2018.
- [28] K. B. Rejeb, C. Abdelly, and A. Savoure, “How reactive oxygen species and proline face stress together,”*Plant Physiology and Biochemistry*, Vol. 80, pp. 278-284, April 2014.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [29] X. Wei, D. D. Handoko, L. Pather, L. Methven, and J. S. Elmore, "Evaluation of 2-acetyl-1-pyrroline in foods, with an emphasis on rice flavor," *Food Chemistry*, vol. 232, pp. 531-544, 2017.
- [30] S. Iwamoto, M. Peanparkdee, and J. Patrawart, "Effect of extraction conditions on phenolic content, anthocyanin content and antioxidant activity of bran extracts from Thai rice cultivars," *Journal of Cereal Science*, vol. 86, pp. 86-91, March 2019.
- [31] W. Frolich, P. Aman, and I. Tetens, "Whole grain foods and health-a Scandinavian perspective," *Food Nutrition Research*, vol. 57, Feb 2013.
- [32] W. Elfalleh, M. Ali, Y. Benabderrahim, I. B. Yahia, and K. Nagaz, "Antioxidant activity and phenolic profile of a collection of medicinal plants from Tunisian arid and Saharan regions," *Industrial Crops and Products*, vol. 138, pp. 111427, October 2019.
- [33] M. d. ShafiqulIslam, N. Matsuki, R. Nagasaka, K. Kiohara, T. H. Hiroshiozaki, H. Ushio, and M. Hori, "Chapter 34-Rice Bran Antioxidants in Health and Wellness," *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health*, 2014.
- [34] K. E. Heim, A. R. Tagliaferro, and D. J. Bobilya, "Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships," *The Journal of Nutritional Biochemistry*, vol. 13, pp. 572-584, October 2002.
- [35] ศูนย์บริการสาธารณสุข 30 วัดเจ้าอาาม, โรคเบาหวาน(Online), 2560.
- [36] K. Trinh, N. Graham, D. Irnichlan, D. Cameron, and M. Forget, "Acupuncture for neck disorders," *Cochrane DatabaseSyst*, 2016.
- [37] S. Chigurupati, S. S. Nanda, D. K. Yi, K. K. Selvarajan, S. A. Shaikh, J. I. Mohammad, and A. R. Nemala, "Inhibitory Activities of α -Glucosidase and α -Amylase and their Hypoglycaemic Capability in the Treatment of Diabetes," *EC Pharmacology and Toxicology*, vol. 7, pp. 79-91, January 2019.
- [38] M. I. Kazeem, J. O. Adamson, and I. A. Ogunwande, "Modes of Inhibition of α -Amylase and α -Glucosidase by Aqueous Extract of *Morinda lucida* Benth Leaf," *Hindawi Publishing Corporation*, vol. 1, pp. 6, October 2013.
- [39] โรงพยาบาลควนเนียง, KhuanNiang Hospital, ยารักษาโรคเบาหวาน(Online), 2020.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [40] I. Braasch, M. Schartl, and V. Jean-Nicolas, "Evolution of pigment synthesis pathways by gene and genomeduplication in fish," *BMC Evolutionary Biology*, vol. 11, pp. 48, May 2007.
- [41] S. Ferro, L. D. LucaaMari, P. Germanoa, M. R. Buemia, L. Ieloa, G. Certo, M. Kanteev, A. Fishman, A. Rapisarda, and R. Gitto, "Chemical exploration of 4-(4-fluorobenzyl) piperidine fragment for the development of new tyrosinase inhibitors," *European Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 125, pp. 992-1001, January 2017.
- [42] P. Insain, "Inhibition of Melanogenesis from Thai Berries," *EAU Heritage Journal: Science and Technology*, vol. 12, pp. 2, 2561.
- [43] J. P. Ebanks, R. R. Wickett, R. E. Boissy, "Mechanisms regulating skin pigmentation: the rise and fall of complexion coloration," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 10, pp. 4066-4087, 2009.
- [44] J. P. Solano, B. Gomes, and Irene J. Higginson, "A Comparison of Symptom Prevalence in Far Advanced Cancer, AIDS, Heart Disease, Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Renal Disease," *Journal of Pain and Symptom Management*, vol. 3, pp. 1, 2006.
- [45] B. Halliwell, "Free radicals, reactive oxygen species and human disease: a critical evaluation with special reference to atherosclerosis," *British Journal of Experimental Pathology*, vol. 70, pp. 737-757, Dec 1989.
- [46] W. Ali, S. Rajendran, and M. Joshi, "Synthesis and characterization of chitosan and silver loaded chitosan nanoparticles for bioactive polyester," *Carbohydrate Polymers*, vol. 83, pp. 438-446, 2011.
- [47] T. Zimnya, S. Sowa, A. Tyczewska, and T. Twardowski, "Certain new plant breeding techniques and their marketability in the context of EU GMO legislation-recent developments," *New BIOTECHNOLOGY*, vol. 51, pp. 49, 2019.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [48] M. Kafi, A. Borzouei, R. Sayahi, E. Rabiei, and P. Sayad Amin, "Biochemical Response of Two Wheat Cultivars (*Triticum Aestivum* L.) To Gamma Radiation," *Pakistan Journal of Botany*, vol. 45, pp. 473-477, April 2012.
- [49] เครื่องฉายรังสีแกมมา(Online), 2013, Available: <https://www.tint.or.th/home/index.php/th/2013-07-30-15-08-10/2013-07-30-16-21-3>.
- [50] R. Thoraeus, "Chapter III. Standard Measurements of the Cobalt 60 Gamma Radiation," *Journal information*, ISSN. 0001-6926.
- [51] R. Thoraeus, "Cesium 137 and its Gamma Radiation in Teleradiotherapy," *Journal information*, ISSN. 0001-6926.
- [52] C. Monthon, "Gamma Irradiation: Sterilization Procedure for Herbal Products," *Thai Bulletin of Pharmaceutical Sciences*, vol. 8, pp. 41-54, April 2013.
- [53] L. P. A. Kiong, A. G. Lai, S. Hussein, and A. R. Harun, "Physiological Responses of Orthosiphon stamineus Plantlets to Gamma Irradiation," *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, vol. c(c), pp. 1995-0748, January 2008.
- [54] H. R. Moussa, "Role of Gamma Irradiation in Regulation of NO₃ Level in Rocket (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*) Plants," *Russian journal of plant physiology*, vol. 53, pp. 193-197, 2006.
- [55] B. Y. Chung, S. G. Wi, J. H. Kim, M. H. Baek, D. H. Yan, J. W. Lee, and J. Sim, "Ultrastructural Changes of Cell Organelles in Arabidopsis Stems after Gamma Irradation," *Journal of Plant Biology*, vol. 48, pp. 195-200, June 2005.
- [56] S. M. Jain, B. S. Ahloowalia, and R. E. Veilleux, "Somaclonal Variation and Induced Mutation in Crop Improvement," *Kluwer Academic Publishers*, vol. 12, pp. 203-218, Feb 2016.
- [57] K. Akshatha, R. Chandrashekar, H. M. Somashekarappa, and J. Souframanien, "Effect of gamma irradiation on germination, growth, and biochemical parameters of Terminalia arjuna Roxb," *Radiation Protection and Environment*, vol. 36, pp. 1, January 2013.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [58] F. Masruroh, Samanhudi, Sulanjari, and A. Yunus, "Improvement of Rice (*Oryza sativa* L.) var. Ciherang and Cempo Ireng Productivity Using Gamma Irradiation," *Journal of Agricultural Science and Technology*, vol. 6, pp. 289-294, May 2016.
- [59] L. S. Bates, R. P. Waldren, and I. D. Teare, "Rapid determination of free proline for water-stress studies," *Plant and Soil*, vol. 39, pp. 205-207, August 1973.
- [60] M. I. Kazeem, J. O. Adamson, and I. A. Ogunwande, "Modes of Inhibition of α -Amylase and α -Glucosidase by Aqueous Extract of *Morinda lucida* Benth Leaf," *Hindawi Publishing Corporation*, vol. 2013, pp. 6, October 2013.
- [61] S. A. Baba, and S. A. Malik, "Determination of total phenolic and flavonoid content, antimicrobial and antioxidant activity of a root extract of *Arisaema jacquemontii* Blume," *Journal of Taibah University for Science*, vol. 9, pp. 449-454, 2015.
- [62] C. Chang, M. Yang, H. Wen, and J. Chern, "Estimation of Total Flavonoid Content in Propolis by Two Complementary Colorimetric Methods," *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 10, pp. 178-182, 2002.
- [63] F. Pourmorad, S. J. Hosseinimehr, and N. Shahabimajd, "Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants," *African Journal of Biotechnology*, vol. 5, pp. 1142-1145, June 2006.
- [64] K. Sridhar, and A. L. Charles, "In vitro antioxidant activity of Kyoho grape extracts in DPPH% and ABTS% assays: Estimation methods for EC50 using advanced statistical programs," *Food Chemistry*, vol. 275, pp. 41-49, 2019.
- [65] S. O. Oyedemi, B. O. Oyedemi, I. I. Ijeh, P. E. Ohanyerem, R. M. Cooposamy, and O. A. Aiyegoro, "Alpha-Amylase Inhibition and Antioxidative Capacity of Some Antidiabetic Plants Used by the Traditional Healers in Southeastern Nigeria," *Hindawi Scientific World Journal*, vol 2017, pp. 11, March 2017.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [66] H. M. Woffenden, J. M. Ames, and S. Chandra, "Relationships between antioxidant activity, color, and flavor compounds of crystal malt extracts," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 49, pp. 5524-5530, 2001.
- [67] O. A. Al-fulaij, B. Jeragh, A. E. M. El-Sayed, M. M. El-Defrawy, and A. A. El-Asmy, "Chelation, spectroscopic characterization, biological activity and crystal structure of 2, 3-butanedione isonicotinylhydrazone: Determination of Zr⁴⁺ after flotation separation," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 136, pp. 1834-1841, 2015.
- [68] T. Fadida, A. Selilat-Weiss, and E. Poverenov, "N-hexylimine-chitosan, a biodegradable and covalently stabilized source of volatile, antimicrobial hexanal. Next generation controlled-release system," *Food Hydrocoll*, vol. 48, pp. 213-219, 2015.
- [69] M. B. Fialho, M. H. D. D. Moraes, A. R. Tremocoldi and S. F. Pascholati, "Potential of antimicrobial volatile organic compounds to control *Sclerotinia sclerotiorum* in bean seeds," *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, vol. 46, pp. 137-142, 2011.
- [70] K. Liu, Q. Chen, Y. Liu, X. Zhou, and X. Wang, "Isolation and biological activities of decanal, linalool, valencene, and octanal from sweet orange oil," *Journal of Food Science*, vol. 77, pp. C1156-C1161, 2012.
- [71] H. U. Tahir, R. A. Sarfraz, A. Ashraf, and S. Adil, "Chemical composition and antidiabetic Activity of essential oils obtained from two spices (*Syzygium aromaticum* and *Cuminum cyminum*)," *International Journal of Food Properties*, vol. 19, pp. 2156-2164, 2016.
- [72] J. Zhao, L. Jiang, X. Tang, L. Peng, X. Li, G. Zhao, and L. Zhong, "Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the flower volatile oils of *Fagopyrum esculentum* *Fagopyrum tataricum* and *Fagopyrum cymosum*," *Molecules*, vol. 23, pp. 182, 2018.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [73] X. Xin, Q. Liu, Y. Zhang, and D. Gao, "Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil from *Pyrrhosia tonkinensis* (Giesenhagen) Ching," *Natural Products Research*, vol. 30, pp. 853-856, 2016.
- [74] I. Ashraf, M. Zubair, K. Rizwan, N. Rasool, M. Jamil, S. A. Khan, R. B. Tareen, V. U. Ahmad, A. Mahmood, M. Riaz, M. Zia-Ul-Haq, and H. Z. Jaafar, "Chemical composition, antioxidant and antimicrobial potential of essential oils from different parts of *Daphne mucronata* Royle," *Chemistry Central Journal*, vol. 12, pp. 135, 2018.
- [75] D. Trombetta, A. Saija, G. Bisignano, S. Arena, S. Caruso, G. Mazzanti, N. Uccella, and F. Castelli, "Study on the mechanisms of the antibacterial action of some plant α , β -unsaturated aldehydes," *Letters in Applied Microbiology*, vol. 35, pp. 285-290, 2002.
- [76] C. Xiong, Q. Li, S. Li, C. Chen, Z. Chen, and W. Huang, "In vitro antimicrobial activities and mechanism of 1-octen-3-ol against food-related bacteria and pathogenic fungi," *Journal of Oleo Science*, vol. 66, pp. 1041-1049, 2017.
- [77] H. Rao, P. Li, H. Wu, C. Liu, W. Peng, and W. Su, "Simultaneous Determination of Six Compounds in Destructive Distillation Extracts of Hawthorn Seed by GC-MS and Evaluation of Their Antimicrobial Activity," *Molecules*, vol. 24, pp. 4328, 2019.
- [78] J. Chen, J. Tian, H. Ge, R. Liu, and J. Xiao, "Effects of tetramethylpyrazine from Chinese black vinegar on antioxidant and hypolipidemia activities in HepG2 cells," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 109, pp. 930-940, 2017.
- [79] H. Zengin, and A. H. Baysal, "Antibacterial and antioxidant activity of essential oil terpenes against pathogenic and spoilage-forming bacteria and cell structure-activity relationships evaluated by SEM microscopy," *Molecules*, vol. 19, pp. 17773-17798, 2014.
- [80] A. B. Falowo, F. E. Mukumbo, and V. Muchenje, "Phytochemical Constituents and Antioxidant Activity of *Artemisia Afra* and *Bidens Pilosa* Essential Oil in Ground Pork," *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, vol. 22, pp. 176-186, 2019.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [81] M. N. Bobby, W. E. Gnanaraj, and J. M. Alias, "GC-MS ANALYSIS OF ALBIZIA LEBBECK BENTH," *World Journal of Pharmaceutical Research*, vol. 4, pp. 1284-1304, 2015.
- [82] G. Bisignano, M. G. Lagana, D. Trombetta, S. Arena, A. Nostro, N. Uccella, G. Mazzanti, and A. Saija, "In vitro antibacterial activity of some aliphatic aldehydes from *Olea europaea* L," *FEMS Microbiology Letters*, vol. 198, pp. 9-13, 2001.
- [83] W. A. Matebie, W. Zhang, and G. Xie, "Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil from *Phytolacca dodecandra* collected in Ethiopia," *Molecules*, vol. 24, pp. 342, 2019.
- [84] A. Wei, K. Mura, and T. Shibamoto, "Antioxidative activity of volatile chemicals extracted from beer," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 49, pp. 4097-4101, 2001.
- [85] Y. Kadoma, T. Atsumi, N. Okada, M. Ishihara, I. Yokoe, and S. Fujisawa, "Radical-scavenging activity of natural methoxyphenols vs. synthetic ones using the induction period method," *Molecules*, vol. 12, pp. 130-138, 2007.
- [86] F. Mujeeb, P. Bajpai, and N. Pathak, "Phytochemical evaluation, antimicrobial activity, and determination of bioactive components from leaves of *Aegle marmelos*," *BioMed Research International*, vol. 2014, pp. 1-12, 2014.
- [87] S. N. Siyumbwa, S. O. Ekeuku, F. Amini, N. M. Emerald, D. Sharma, and P. N. Okechukwu, "Wound healing and antibacterial activities of 2-Pentadecanone in streptozotocin-induced Type 2 diabetic rats," *Pharmacognosy Magazine*, vol. 15, pp. 71-77, 2019.
- [88] J. B. Jeong, S. C. Hong, H. J. Jeong, and J. S. Koo, "Anti-inflammatory effect of 2-methoxy-4-vinylphenol via the suppression of NF-KB and MAPK activation, and acetylation of histone H3," *Archives of Pharmacal Research*, vol. 34, pp. 2109-2116, 2011.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [89] J. Devakumar, V. S. S. S. Keerthana, and S. S. Sudha, "Identification of bioactive compounds by gas chromatography-mass spectrometry analysis of *Syzygium jambos* (L.) collected from Western Ghats region Coimbatore, Tamil Nadu," *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, vol. 10, pp. 364-369, 2017.
- [90] R. Madhankumar, and S. Murugesan, "Phytochemical, gas chromatography with mass spectrometry analysis of *Andrographis serpyllifolia* methanol leaf extract and its antioxidant and antibacterial activities," *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, vol. 12, pp. 343-347, 2019.
- [91] M. Ganesh, and M. Mohankumar, "Extraction and identification of bioactive components in *Sida cordata* (Burm. f.) using gas chromatography-mass spectrometry," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 54, pp. 3082-3091, 2017.
- [92] T. V. Phuong, P. N. Han, and C. N. Diep, "Bioactive compounds from marine bacterium *Bacillus subtilis* strain HD16b by gas chromatography-mass spectrometry," *Pharmaceutical Chemistry Journal*, vol. 5, pp. 110-118, 2018.
- [93] L. Mousavi, R. M. Salleh, V. Murugaiyah, and M.Z. Asmawi, "Anti-diabetic chemical constituents isolated from traditional medicinal plants," *Journal of Global Trends in Pharmaceutical Sciences*, vol. 7, pp. 3074-3083, 2016.
- [94] V. A. Gideon, "GC-MS analysis of phytochemical components of *Pseudoglochidion anamalayanum* Gamble: An endangered medicinal tree," *Asian Journal of Plant Science and Research*, vol. 5, pp. 36-41, 2015.



ภาคผนวก
ผลงานเผยแพร่ทางวิชาการ

ตีพิมพ์งานวิจัยในวารสาร Journal of Bioscience and Bioengineering เล่มที่ 132 (ฉบับที่ 4) มกราคม - มิถุนายน พ.ศ. 2564 ในหัวข้อเรื่อง Effect of gamma irradiation on growth, proline content, bioactive compound changes, and biological activity of 5 popular Thai rice cultivars





Effect of gamma irradiation on growth, proline content, bioactive compound changes, and biological activity of 5 popular Thai rice cultivars

Kannika Archanachai, Siritwan Teepoo, and Sompong Sansenya*

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12110, Thailand

Received 13 January 2021; accepted 28 June 2021

Available online xxx

Gamma irradiation is the technique used to induce plant mutation and it has affected both the physiological and biochemical compounds of the plant. Some new rice lines are also created through the gamma-irradiation technique. We investigated the effect of gamma irradiation on plant growth, volatile compounds, and the biological activity of gamma-irradiated rice extract compared to non-gamma-irradiated rice extract. The results reveal that the gamma-irradiated rice growth was related to the proline content, as the low gamma dose induced rice growth and proline accumulation in gamma-irradiated rice. We induced the bioactive compounds, including the flavonoid content and phenolic content of gamma-irradiated rice, through the low gamma irradiation dose at 60–100 Gy. Interestingly, bioactive compounds were stimulated by a gamma dose similar to that of the biological activity (antioxidant activity and enzyme inhibition) of gamma-irradiated rice. The results suggest that gamma-irradiated rice extract's biological activity was closely related to the flavonoid and phenolic content of rice. We also identified the variety of volatile compounds in gamma-irradiated rice and they were also reported for the biological activity. Our results can generate a new rice line that exhibits high plant growth and is rich with bioactive compounds such as flavonoid and phenolic compounds which related to the improved for human health.

© 2021, The Society for Biotechnology, Japan. All rights reserved.

[Key words: Gamma irradiation technique; Bioactive compounds; α -Glucosidase and α -amylase inhibitory activity; Tyrosinase inhibitory activity; Thai rice cultivars]

Rice is a food staple globally, especially in Asia (1). Rice consumption slightly increased from 2016 to 2018 (i.e., from approximately 476.74 to 499.18 million metric tons). In Asia, China was the top country producing rice in 2019, followed by India, Indonesia, Bangladesh, and Vietnam. However, Thailand was listed as the fifth country producing rice (The United States Department of Agriculture (USDA)). Thailand has many rice varieties, especially local rice groups. Local rice means that rice is cultivated in a specific local area that is suitable for that rice cultivar (2). However, Thailand has Khao Dawk Mali 105 (KDML 105), the most famous rice globally due to its characteristic aroma. Moreover, the Thai rice market also has more rice variety, which has similar characteristics to that of KDML 105 such as Khao Pathum Thani 1, Khao Gor Kor 6, and some glutinous rice cultivars (Thai Rice Exporter Association (TRED)).

With the increasing rice demand, rice production must be enough to supply the rice market. Researchers have studied the increasing rice yield using several methods such as rice breeding and rice mutation (3–5). Furthermore, the newly generated rice line has also been studied to determine its special characteristics such as tolerance to stress from the environment and plant disease (6–8), the increase of aroma intensity in rice grain (9), and the increase of bioactive compounds in rice grain for human health benefits (10). The gamma-irradiation technique is easy to use for induced plant mutation and this technique has not got any

regulatory restrictions when compare to other technique such as GMOs (Genetically Modified Organisms). The gamma-ray can produce reactive oxygen species, causing damage to the DNA and generating mutation in plants (11,12). In rice, the gamma-irradiation technique has also been used to generate the new rice line for improved special characteristics. Sansenya et al. (13,14) used the low gamma irradiation dose to improve 2-acetyl-1-pyrroline and γ -aminobutyric acid content. Hwang et al. (15) also reported that gamma irradiation could induce tocopherol accumulation in the rice mutant line. Moreover, gamma irradiation also affects rice growth and rice grain yield (16).

In this study, we selected 5 famous rice cultivars in the Thai rice market, including KDML105, Khao Pathum Thani 1, Khao Gor Kor 31, Khao Gor Kor 41 and Khao Gor Kor 57. We investigated gamma irradiation on rice characteristics, including rice growth and bioactive compound changes, antioxidant capacity, and the inhibitory activity efficiency on α -glucosidase, α -amylase, and tyrosinase of the rice extract (gamma-irradiated and non-gamma-irradiated rice). KDML105 is fragrant rice, and this rice is very famous due to its aroma intensity and characteristics. Khao Pathum Thani 1 is hybrid rice generated from rice cultivar number BKNA6-18-3-2 with rice cultivar number PTT85061-86-3-2-1 (development by Pathum Thani Rice Research Center, Thailand). Khao Gor Kor 31 is also hybrid rice generated from rice cultivar number SPR85163-5-1-1-2 with rice cultivar number IR54017-131-1-3-2 (development by Suphan Buri Rice Research Center, Thailand). Khao Gor Kor 41 is hybrid rice generated from F1 hybrid rice (rice cultivar number

* Corresponding author.

E-mail address: sompong_s@rmutt.ac.th (S. Sansenya).

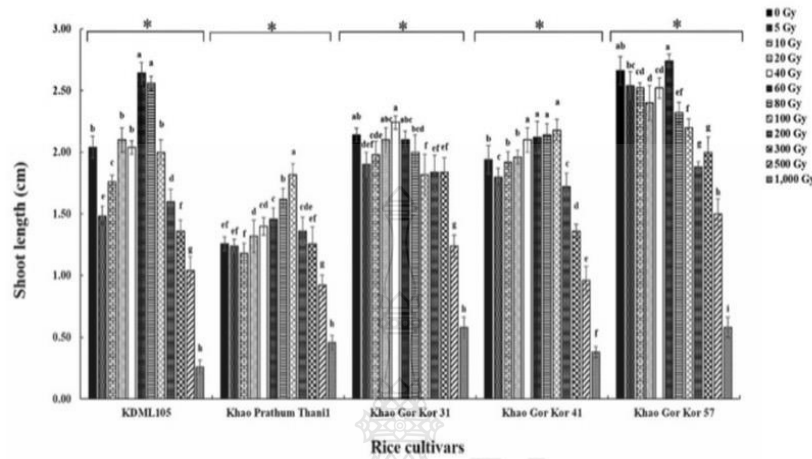


FIG. 1. The shoot length of five rice cultivars (gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice). The different bar colors indicate the differences in gamma dose (0 through 1000 Gy). The error bar is expressed as mean \pm standard deviation ($n = 5$). * Indicated within a cultivar by the same letters above error bar indicate no significant difference ($P > 0.05$).

CNT85059-27-1-3-2 with Suphan Buri 60 rice cultivar) with RP217-635-8 rice cultivar (development by Chi Nat Rice Research Center, Thailand). Khao Gor Kor 57 is hybrid rice generated from Suphan Buri 1 rice cultivar with IR64 rice cultivar (development by Suphan Buri Rice Research Center, Thailand). KDML105 and Khao Pathum Thani 1 are fragrant rice, whereas Khao Gor Kor 31, Khao Gor Kor 41, and Khao Gor Kor 57 are non-fragrant rice, and all of these are white rice. This research study is expected to discover a novel new rice line that contains a wide variety of bioactive compounds that benefit human health.

MATERIALS AND METHODS

Chemical reagents The enzymatic reactions include α -glucosidase from *Saccharomyces cerevisiae*, α -Amylase from *Aspergillus oryzae*, and tyrosinase from mushroom, and we obtained all chemical reagents from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO).

Plant material The rice seeds, including Khao KDML 105, Khao Pathum Thani 1, Khao Gor Kor 31, Khao Gor Kor 41, and Khao Gor Kor 57, were obtained from the Pathum Thani Rice Research Center. The rice seeds were sterilized with 0.1% NaClO for 30 min and then washed with distilled water. Finally, the sterilized rice seed's moisture content was decreased by less than 13% using a hot air oven. Fifty grams of rice seeds were packed with a polyethylene bag. The rice seed was exposed to a gamma-ray with a gamma dose of 0 (non-gamma-irradiated rice), 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 500, and 1000 Gy, and the gamma-ray source was ^{137}Cs . The Gamma Irradiation Center and the Nuclear Technology Research Center Faculty of Science Kasetsart University provided the gamma-irradiation experiment.

Plant growth experiment One hundred rice seeds (non-gamma-irradiated and gamma-irradiated rice seeds) were soaked with distilled water for 24 h. The soaked rice seeds were germinated using germinating paper moistened with distilled water. The germinated experiment was carried out at 30 C and sprayed with distilled water (250 mL) every 12 h until harvested. The rice seedling was harvested at 3 days, and the rice shoot and rice root were separated and measured (Fig. S1). The rice samples (gamma-irradiated and non-gamma-irradiated rice) were kept at -20°C for the next experiments.

Proline quantification Rice shoots, including gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice, were ground thoroughly using a mortar and pestle with liquid nitrogen. The proline content of the rice sample was determined using the modified method (2). The homogenized rice sample (0.01 g) was extracted with 2 mL of 3% sulfosalicylic acid for 1 h. After that, the extraction was centrifuged at 6000 rpm for 15 min, followed by filtration using a 0.45 μm syringe filter. The reaction mixture was mixed with 3 mL of 2% ninhydrin solution and 2 mL of glacial acetic acid, after which the mixture was boiled for 20 min. Finally, the reaction mixture was extracted with 4 mL of toluene and shaken for 5 min. The extracted solution was measured at 520 nm using a spectrophotometer. The rice sample's

proline content was calculated using the calibration curve of the proline: $y = 0.0505x - 0.0048$ ($R^2 = 0.9992$).

Rice extraction Rice shoots, including gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice, were ground to fine pieces, similarly to the section on proline quantification. The homogenized samples were extracted with methanol, with a ratio between the sample and solvent of 1 g:5 mL. Then, the extraction mixture was shaken for 24 h at ambient temperature. After that, the extraction mixture was filtered with filter paper (Whatman No.1). Then, the methanol was removed from the sample by evaporation in a hot air oven at 50 C. The crude extract was kept at -20°C until bioactive compound quantification, antioxidant determination, and enzyme inhibitory activity assay.

Flavonoid content determination by Dowd method The rice samples' flavonoid content was determined using the modified method (17,18). We mixed 300 μL of the sample solution (1 mg/mL in methanol) with 200 μL deionized water and 30 μL of 5% NaNO_2 and shook it for 5 min. This was followed by adding 30 μL of 10% AlCl_3 and shaking for 5 min. Then, the reaction was mixed with 200 mL of 1M NaOH. The reaction's final volume was adjusted to 1 mL by deionized water and stood at room temperature for 15 min. Then, the absorbance was measured at 415 nm. The total flavonoid content was calculated by the calibration curve of quercetin ($y = 20.87x - 0.0174$; $R^2 = 0.9991$). The results of flavonoid content were expressed as milligrams of quercetin equivalent (QE) per gram of dry weight (dw).

Phenolic content determination by Folin-Ciocalteu method The rice samples' phenolic content was determined using the modified method (17). Briefly, 1 mg of crude extract was dissolved with 1 mL of deionized water to make 1 mg/mL of sample concentration. The 1 mL sample solution was mixed with 200 μL of 10% (v/v) Folin-Ciocalteu reagent and shaken for 3 min. The reaction mixture was mixed with 800 μL of 20% (w/v) sodium carbonate, followed by incubation for 60 min in the dark, and absorbance was measured at 765 nm. The rice samples' total phenolic content was calculated by the calibration curve of gallic acid ($y = 0.0214x - 0.1531$; $R^2 = 0.9990$). The total phenolic content results were expressed as milligrams of gallic acid equivalent (GAE) per gram of dry weight (dw).

DPPH antioxidant assay The rice samples' antioxidant capacity was determined using DPPH (2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl) with the modified method (19). One gram of rice sample was dissolved with methanol. The sample solution was added to 0.1 mM DPPH solution to give a 0.1 mg/mL final concentration of the sample. Then, the reaction mixture was incubated at room temperature for 30 min in the dark. The absorbance of radical inhibition was measured at 517 nm with a UV/Vis spectrophotometer. The percentage of inhibition was calculated by $[(A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}})/A_{\text{blank}}] \times 100$ (A_{blank} = absorbance without sample; A_{sample} = absorbance with sample).

ABTS radical scavenging assay The radical cation assay (ABTS $^{+\cdot}$) was determined using the modified method (20). The ABTS $^{+\cdot}$ solution was prepared with 7 mM of ABTS and 2.45 mM of potassium persulfate with a ratio of 1:0.5 v/v. The reaction mixture stood for more than 12 h in the dark or until the absorbance was stable. Ethanol was used to dilute the ABTS $^{+\cdot}$ solution to the absorbance of 0.700 ± 0.02 by measurement at 734 nm. The inhibition of ABTS $^{+\cdot}$ was determined by mixing 10 μL of samples (0.1 mg/mL final concentration) with 90 μL of ABTS $^{+\cdot}$ solution, then letting it stand at room temperature for 6 min. Then, the absorbance of the final product was measured at 734 nm. The inhibition percentage was calculated similarly to that of the DPPH assay.

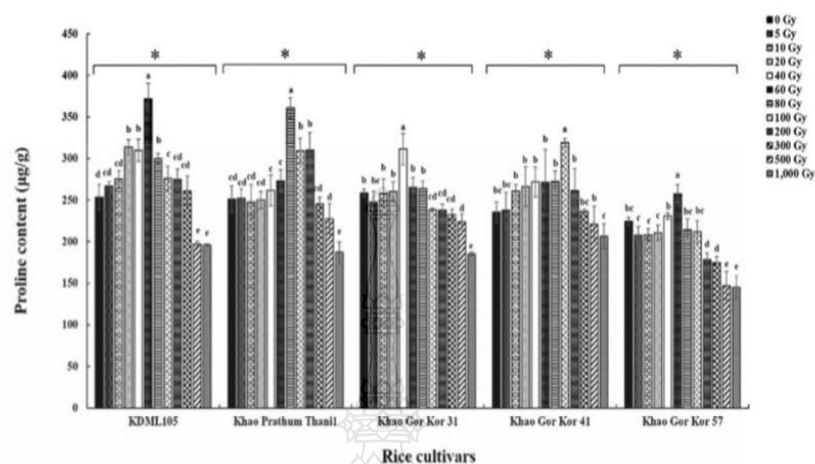


FIG. 2. The proline content of gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice. The different bar colors indicate the differences in gamma dose (0 through 1000 Gy). The error bar is expressed as mean \pm standard deviation ($n = 3$). * indicated within a cultivar by the same letters above error bar indicate no significant difference ($P > 0.05$).

α -Glucosidase inhibitory activity The enzyme inhibitory activity was determined using the modified method (21). p-Nitrophenyl- α -glucopyranoside (4-pNPG) was used as the substrate. The enzymatic reaction was mixed with 0.1 mg/mL of samples, 0.25 mM of 4-pNPG, and 0.0025 mg/mL of α -glucosidase. The reaction experiment was carried out at 37 °C for 20 min. The enzyme activity was stopped by using 0.5 M Na₂CO₃. The absorbance of the final product was measured at 405 nm using a UV/Vis spectrophotometer. The inhibition percentage was calculated by $[(A_0 - A_s)/A_0] \times 100$ (A_0 = absorbance without sample; A_s = absorbance with sample).

α -Amylase inhibitory activity The enzyme inhibitory activity was determined using the modified method (21). Amylose from potato was used as a substrate. The enzymatic reaction mixture was mixed with 10 μ L of samples (1.0 mg/mL), 10 μ L of amylose (0.05 mg/mL), and 10 μ L of α -amylase (0.05 mg/mL). The reaction mixture was incubated for 30 min at 37 °C. After that, the enzyme reaction was stopped by boiling for 5 min. The glucose content was determined using a peroxidase-glucose oxidase assay, and the absorbance was measured at 475 nm. The inhibition percentage was calculated similarly to that of α -glucosidase inhibitory activity.

Tyrosinase inhibitory activity The enzyme inhibitory activity was determined using the modified method (21). We used 3,4-Dihydroxy-L-phenylalanine (L-DOPA) as the substrate. The enzymatic reaction was mixed with 10 μ L of samples (1.0 mg/mL) and 10 μ L of tyrosinase (0.5 mg/mL). The enzyme reaction mixture was incubated for 15 min at 37 °C. After that, 5 μ L of L-DOPA (5 mM) was added to the mixture. Then, the mixture was incubated at 37 °C for 20 min. Finally, the absorbance of the final product was measured at 492 nm. The inhibition percentage was calculated similarly to that of α -glucosidase and α -amylase inhibitory activity.

Volatile compound identification The volatile compound profiles of gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice were determined by the modified method (13,14). Rice shoots were homogenized using the CryoMill (Retsch, Haan, Germany) with liquid nitrogen. The homogenized samples were weighed into a vial with 20 mL of headspace and capped. Then, the samples were preheated at 80 °C for 50 min. After that, the volatile compounds of samples were extracted using SPME fiber (50/30 μ m DVB/CAR/PDMS, SUPELCO, Bellefonte, PA, USA). The volatile mixture was separated by gas chromatography-mass spectrometry (Agilent 7890A GC-7000 Mass Triple Quad). Finally, the volatile compounds were identified by comparing mass spectra with NIST mass spectral libraries (National Institute of Standards, 2011 version).

Statistical analysis The analyzed data were expressed as the mean \pm standard deviation (mean \pm SD). The statistical significance of differences among experimental groups was determined by one-way analysis of variance (ANOVA), and a post hoc analysis was performed using Duncan's multiple range test comparisons. The significance level was set at $P < 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

The relationship between proline content and rice growth of gamma-irradiated rice (five rice cultivars) The rice shoot length of gamma-irradiated rice (0 Gy) and non-gamma-irradiated rice (5–1000 Gy) was measured and is shown in Fig. 1. The results revealed that gamma irradiation at approximately 40 Gy–100 Gy

significantly ($P < 0.05$) stimulated gamma-irradiated rice growth compared with non-gamma-irradiated rice. A decrease in rice growth was continuously observed at the high gamma dose of 100 to 1000 Gy for KDML 105, at 200 to 1000 Gy for Khao Pathum Thani 1 and Khao Gor Kor 41 and at 80 to 1000 Gy for Khao Gor Kor 31 and Khao Gor Kor 57. However, the gamma dose of 500 and 1000 Gy largely affected all rice cultivars' growth compared to non-gamma-irradiated rice. Fig. 2 shows the proline content of gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice for all rice cultivars. The significantly ($P < 0.05$) highest proline content of Khao Pathum Thani 1, Khao Gor Kor 31, and Khao Gor Kor 41 was determined from 80 Gy, 40 Gy and 100 Gy, respectively. In comparison, the highest proline content of KDML105 and Khao Gor Kor 57 was obtained with 60 Gy. A decrease in all rice cultivars' proline content resulted from high gamma dose ranges of 100 to 1,000, with similar effect to that of rice growth.

In plants, proline is synthesized from glutamate and via pyrroline-5-carboxylate (P5C) intermediate (22,23). Proline plays an important role in plant development, such as plant growth and cell wall synthesis (24). The accumulation of proline in plants is affected by various environmental stressors (25). One type of environmental stress is radiation. This stress creates reactive oxygen species and causes DNA damage in plant cells (11,12). Gamma irradiation is related to growth and proline content in plants. Sansenya et al. (26) reported that with a low gamma dose and salt concentration, growth and proline content are stimulated in Thai rice. Some other ionization radiation, such as X-irradiation, also induced growth and the proline content of *Phoenix dactylifera* L. (27). Our results indicated that the low gamma irradiation dose seemed to stimulate the rice growth of KDML105, Khao Pathum Thani 1, Khao Gor Kor 31, and Khao Gor Kor 41 in the range of 40–100 Gy. Also, a gamma dose of 5–10 Gy can reduce these rice cultivars' growth. However, every gamma dose seems to inhibit the growth of Khao Gor Kor 57. A decrease in rice growth was observed at high gamma doses, especially the dose of 500 to 1000 Gy (Fig. 1). The growth rate of some plants affected by gamma radiation is similar to our findings. Asare et al. (28) reported that Okra's plant height could be induced by a low gamma dose, while a continuous decrease of plant height was observed after 600 Gy, and especially at 800 to 1000 Gy. Al-Safadi and Simon (29) also reported that the germination and plant growth (plant size and root weight) of carrots was induced by

a low gamma dose (5–10 Gy), while at a high gamma dose, the seed germination and plant growth were inhibited. In some plants, such as maize, a decrease in plant growth resulted from increasing the gamma irradiation dose; especially at 500 Gy, the plant could not survive more than 10 days (30). In some Thai rice cultivars, such as Thai black glutinous rice and Thai upland rice, the plant growth was stimulated by a low gamma dose, while a high gamma dose inhibited the rice growth (13,14). Our results indicated that the trend of proline content stimulated by gamma irradiation was similar to the rice growth rate (Fig. 2). The low gamma dose stimulated the proline content and rice growth rate, while the high gamma dose inhibited the proline content and rice growth rate. This indicates that rice growth is closely related to proline accumulation.

The flavonoid content and phenolic content related to the antioxidant capacity of gamma-irradiated rice extract In addition to plant growth, some bioactive compounds, such as flavonoid content and phenolic content accumulation in plants, were also affected by gamma irradiation (31). Our results showed that the low gamma irradiation dose seemed to stimulate the total flavonoid content and total phenolic content. On the other hand, the high gamma dose seemed to reduce the total flavonoid content and total phenolic content. The significantly ($P < 0.05$) highest total flavonoid content of KDML105, Khao Gor Kor 31, Khao Gor Kor 41, and Khao Gor Kor 57 resulted from the gamma dose of 60 Gy (Fig. 3). While the highest total flavonoid content of Khao Pathum Thani 1 was obtained from 100 Gy. A similar effect was also observed from the total phenolic content. A significant increase in rice cultivars' phenolic content was induced by a gamma dose range of 60–100 Gy (Fig. 4). The research by Najafabadi et al. (32) also supports our findings in that the phenolic content of Jujube was stimulated by gamma irradiation. Flavonoids and phenolic compounds are the bioactive compounds found in many plant species (33). The antioxidant potential of plant extract was related to the flavonoid and phenolic content, Jing et al. (34) reported that *Rhododendron anthopogon* extract's antioxidant potential was related to the total phenolic and total flavonoid contents. Afzal et al. (8) also reported a significant correlation between the flavonoid content and wild vegetables' phenolic content with antioxidant potential. Our results indicated that KDML105, Khao Gor Kor 31,

Khao Gor Kor 41, and Khao Gor Kor 57 had the significantly highest total flavonoid content and total phenolic content from the gamma dose of 60 Gy. Along with this, the highest total flavonoid content and total phenolic content of Khao Pathum Thani 1 were determined from the gamma dose of 100 Gy. The antioxidant capacity of all rice cultivars was determined by DPPH and ABTS assay. The significantly highest antioxidant capacity of all rice cultivars was determined from a gamma dose of 60 Gy, except for the rice cultivar of Khao Pathum Thani 1, for which the highest antioxidant potential was determined from the gamma dose of 100 Gy (Figs. 5 and 6). The results showed that the gamma dose that gives the highest flavonoid content and phenolic content of rice extract also gives the highest antioxidant capacity. As previously reported, and as our results indicated, the antioxidant capacity values of plant extract might be due to flavonoid and phenolic content.

The α -glucosidase, α -amylase, and tyrosinase inhibitory activity of gamma-irradiated rice extract compared with non-gamma-irradiated rice extract In recent years, others have reported that much of the inhibitory activity of bioactive compounds in plants inhibit the key carbohydrate hydrolysis enzymes (α -glucosidase, α -amylase). Many bioactive compounds that contained a high inhibitory percentage on both enzymes were in the flavonoid compound and phenolic compound groups (35,36). For example, apigenin and apigenin-7-O-glucuronide are flavonoids that show high α -glucosidase and α -amylase inhibitory activity (37). Moreover, some flavonoid compounds such as quercetin, catechin, epicatechin, and myricetin also show high inhibitory activity against α -glucosidase (38–40). We reported that Thai rice cultivars' flavonoid and phenolic content could be stimulated by gamma irradiation at the gamma dose range of 60–100 Gy (Figs. 3 and 4). Previous research reported that some flavonoid compounds, such as apigenin and apigenin-7-O- β -glucoside from *Chrysanthemum morifolium*, were induced by the low gamma irradiation dose of 30 Gy (41). Quercetin, catechin, and epicatechin were stimulated by gamma irradiation in the condition with CO₂, which was identified from *Centella asiatica* (42). We also reported that gamma irradiation stimulated the enzyme inhibition activity on α -glucosidase and α -amylase of rice extract, a similar gamma dose trend to that of the total flavonoid and phenolic content. The gamma dose of 60 Gy stimulated both the highest inhibitory activity of α -glucosidase and

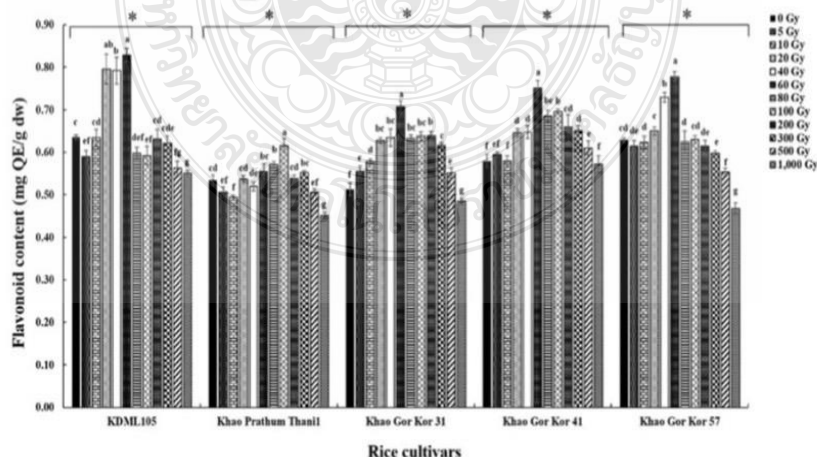


FIG. 3. The flavonoid content of gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice. The different bar colors indicate the differences in gamma dose (0 through 1000 Gy). The error bar is expressed as mean \pm standard deviation ($n = 3$). * indicated within a cultivar by the same letters above error bar indicate no significant difference ($P > 0.05$).

Please cite this article as: Archanachai, K et al., Effect of gamma irradiation on growth, proline content, bioactive compound changes, and biological activity of 5 popular Thai rice cultivars, J. Biosci. Bioeng., <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2021.06.011>

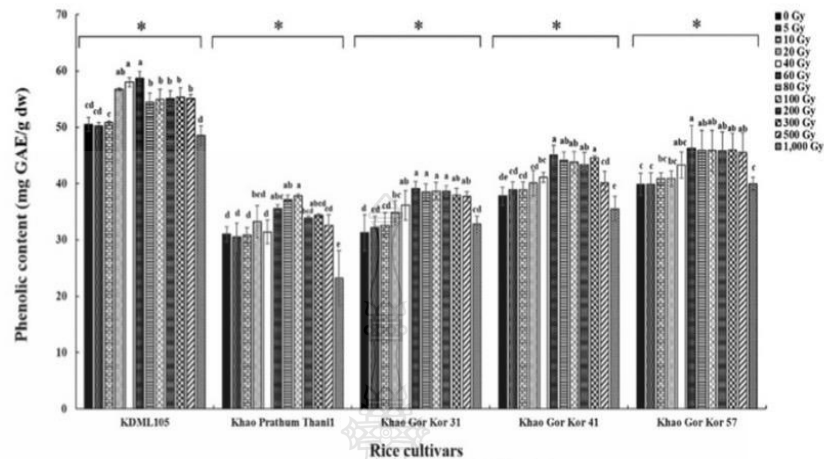


FIG. 4. The phenolic content of gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice. The different bar colors indicate the differences in gamma dose (0 through 1000 Gy). The error bar is expressed as mean \pm standard deviation ($n = 3$). * indicated within a cultivar by the same letters above error bar indicate no significant difference ($P > 0.05$).

α -amylase and flavonoid content and phenolic content of KDML105, Khao Gor Kor 31, Khao Gor Kor 41, and Khao Gor Kor 57, while the 100 Gy dose stimulated both the highest enzyme inhibition potential and flavonoid content and phenolic content of Khao Prathum Thani 1 (Figs. 7 and 8). Our results indicated that the enzyme inhibition potential (α -glucosidase and α -amylase) of rice extract was related to the flavonoid content and phenolic content, and a low gamma irradiation dose can stimulate flavonoid and phenolic content and enzyme inhibitory potential of all rice cultivars. Moreover, previous reports indicated that some compounds in the group of flavonoid and phenolic compounds were related to the inhibitory activity on α -glucosidase and α -amylase, which are compounds that can be stimulated by gamma irradiation.

The tyrosinase inhibitory activity of the extract from all rice cultivars (gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice) is

shown in Fig. 9. The 60 Gy rice extract of all rice cultivars showed the highest tyrosinase inhibition percentage, except for Khao Prathum Thani 1; the highest tyrosinase inhibitory activity was obtained from 100 Gy rice extract. The tyrosinase inhibition of plant extract was related to the variety and content of flavonoid compounds and phenolic compounds (43). One flavonoid from compounds isolated from *Geranium purpureum* Vill showed inhibitory activity on mushroom tyrosinase and had higher potential than standard inhibitor kojic acid (44). Two flavonoid compounds, artocae-pin E artocarpanone and steppogenin, were isolated from *Artocarpus heterophyllous* and showed a stronger tyrosinase inhibitory activity than that of kojic acid (45). Previous research and our results reported in the section above indicated that gamma irradiation stimulated flavonoid content. Our results showed that gamma-irradiated rice extract's highest flavonoid and phenolic

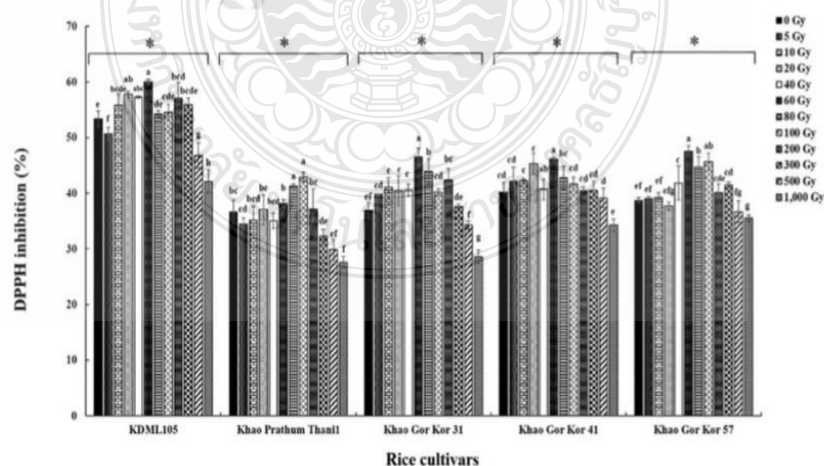


FIG. 5. The antioxidant potential (DPPH inhibition at 0.1 mg/mL (%)) of gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice. The different bar colors indicate the differences in gamma dose (0 through 1000 Gy). The error bar is expressed as mean \pm standard deviation ($n = 3$). * indicated within a cultivar by the same letters above error bar indicate no significant difference ($P > 0.05$).

Please cite this article as: Archanachai, K et al., Effect of gamma irradiation on growth, proline content, bioactive compound changes, and biological activity of 5 popular Thai rice cultivars, J. Biosci. Bioeng., <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2021.06.011>

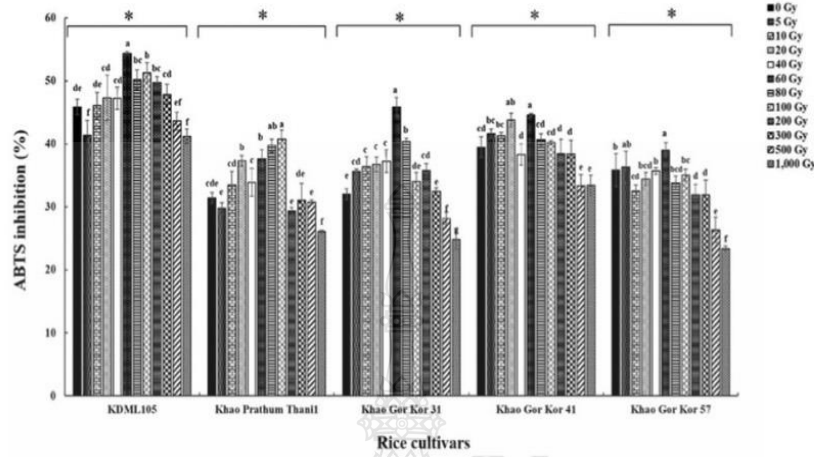


FIG. 6. The scavenged ABTS⁺ free radical (% inhibition at 0.1 mg/mL) of gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice. The different bar colors indicate the differences in gamma dose (0 through 1000 Gy). The error bar is expressed as mean \pm standard deviation (n = 3). * indicated within a cultivar by the same letters above error bar indicate no significant difference (P > 0.05).

content were obtained from 60 to 100 Gy gamma doses and showed the highest tyrosinase inhibitory potential. Thus, the results suggest that gamma irradiation can stimulate the accumulation of flavonoid compounds and phenolic compounds that exhibit tyrosinase inhibitory activity in rice.

The volatile compounds of gamma-irradiated rice as related to biological properties As previously reported, the volatile compounds that accumulate in plants can be stimulated by gamma irradiation. Shim et al. (46) reported that irradiated samples' volatile compounds (medicinal herb, *Paeoniae Radix*) showed changes when compared with non-irradiated samples. In rice (Thai upland rice), the gamma irradiation dose of 20–300 Gy was affected by the volatile compounds of gamma-irradiated rice compared to non-gamma-irradiated rice (14). Some volatile compounds identified from rice have been reported to have pharmaceutical properties,

such as 2-methoxy-4-vinylphenol, vanillyl alcohol, and 2-pentyl furan, which have shown antioxidant activity (47,48). Also, vanillin has shown tyrosinase inhibitory activity (49) and guaiacol has shown α -glucosidase and α -amylase inhibitory activity (50). These volatile compounds were also identified from the gamma-irradiated rice (14). The volatile compounds identified from Thai rice cultivars (KDML105, Khao Prathum Thani 1, Khao Gor Kor 31, Khao Gor Kor 41, and Khao Gor Kor 57) varied in number and variety (Table S1 through S5). The total volatile compounds of gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice for all rice cultivars were in the range of 58–78 compounds. Sansanya et al. (2) reported that 14 Thai local rice cultivars also showed variations in variety and number of volatile compounds. Our results showed that under gamma-irradiated treatment, some volatile compounds were stimulated. The volatile compounds from irradiated rice had

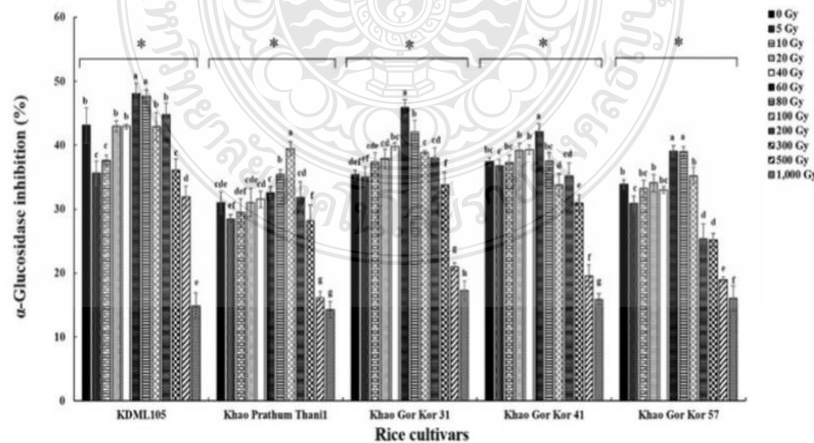


FIG. 7. The α -glucosidase inhibitory activity (% inhibition at 0.1 mg/mL) of the extract from all rice cultivars (gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice). The different bar colors indicate the differences in gamma dose (0 through 1000 Gy). The error bar is expressed as mean \pm standard deviation (n = 3). * indicated within a cultivar by the same letters above error bar indicate no significant difference (P > 0.05).

Please cite this article as: Archanachai, K et al., Effect of gamma irradiation on growth, proline content, bioactive compound changes, and biological activity of 5 popular Thai rice cultivars, J. Biosci. Bioeng., <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2021.06.011>

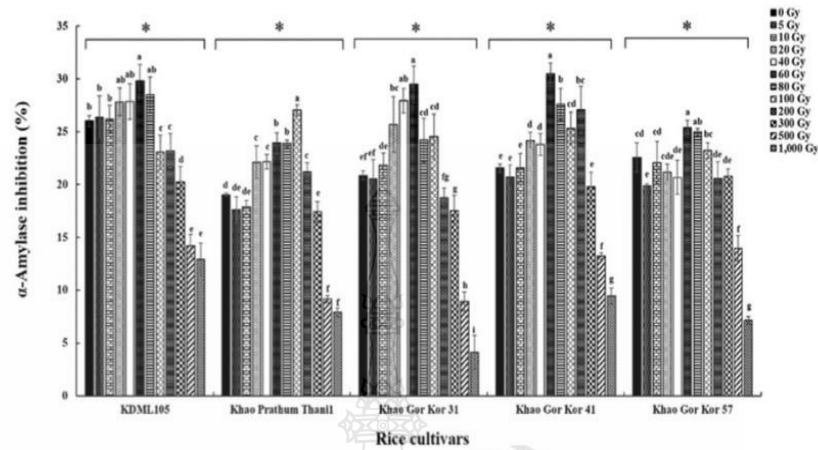


FIG. 8. The α -amylase inhibitory activity (% inhibition at 0.1 mg/mL) of the extract from all rice cultivars (gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice). The different bar colors indicate the differences in gamma dose (0 through 1000 Gy). The error bar is expressed as mean \pm standard deviation ($n = 3$). * indicated within a cultivar by the same letters above error bar indicate no significant difference ($P > 0.05$).

been previously reported on for their biological activity (Table S6). Some activities had interesting side effects, such as anti-diabetes obtained from octanal and diphenylamine. Some obtained from R,S-2,3-hexanediol were also reported for Gaucher disease treatment. Other compounds have shown anti-hyperlipidemia, which is obtained from tetramethylpyrazine. Some compounds related to hemostatic treatment were obtained from 2-pentadecanone. Most of the compounds showed antioxidant, antimicrobial, antibacterial, antifungal, and antiviral activity. Our results suggest that gamma irradiation is a suitable technique for generating a new rice variety that contains rich bioactive compounds.

This study investigated gamma irradiation on plant growth and the biological activity of rice extracts (between gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice) of five famous Thai rice cultivars. The results showed that gamma irradiation could induce

plant growth and proline content at a low gamma dose (especially for a gamma dose at 60 Gy) for all rice cultivars. In contrast, a high gamma dose inhibited plant growth and proline content, especially at 1000 Gy. The bioactive compounds, including flavonoid and phenolic content, were also induced by gamma irradiation at 60 Gy for KDML105, Khao Gor Khao 31, Khao Gor Khao 41, and Khao Gor Khao 57 and 100 Gy for Khao Pathum Thani 1. Furthermore, a high gamma dose, especially at 500 and 1000 Gy, decreased both flavonoid content and phenolic content for all rice cultivars. The gamma irradiation also affected gamma-irradiated rice extract's biological activity compared to non-gamma-irradiated rice extract. The antioxidant capacity of rice extract (gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice) was determined using DPPH and ABTS; the results indicated that the antioxidant trend capacity of gamma-irradiated rice extract was higher than that of non-gamma-

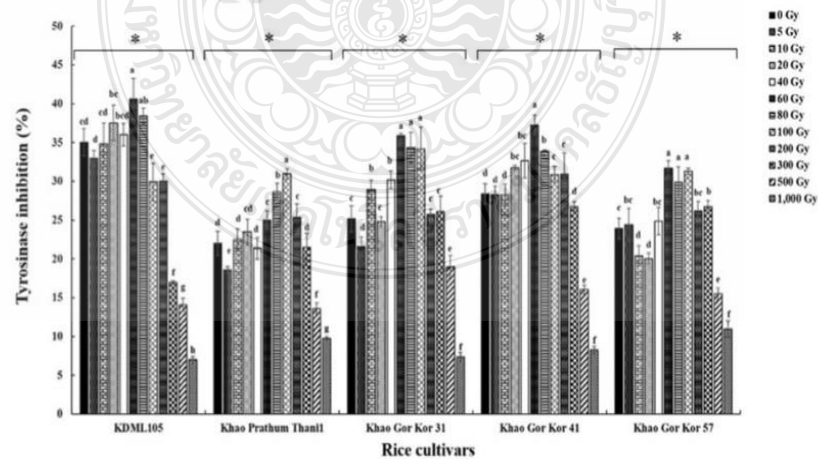


FIG. 9. The tyrosinase inhibitory activity (% inhibition at 0.1 mg/mL) of the extract from all rice cultivars (gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice). The different bar colors indicate the differences in gamma dose (0 through 1000 Gy). The error bar is expressed as mean \pm standard deviation ($n = 3$). * indicated within a cultivar by the same letters above error bar indicate no significant difference ($P > 0.05$).

Please cite this article as: Archanachai, K et al., Effect of gamma irradiation on growth, proline content, bioactive compound changes, and biological activity of 5 popular Thai rice cultivars, J. Biosci. Bioeng., <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2021.06.011>

irradiated rice extract, of both the DPPH and ABTS assays. The highest antioxidant capacity was obtained from 60 Gy for KDML105, Khao Gor Khao 31, Khao Gor Khao 41, and Khao Gor Khao 57 and 100 Gy for Khao Pathum Thani 1. The inhibition of carbohydrate hydrolytic enzymes (α -glucosidase and α -amylase) and melanogenesis-related enzyme (tyrosinase) of gamma-irradiated rice and non-gamma-irradiated rice was also investigated. The α -glucosidase and α -amylase inhibitory activity of gamma-irradiated rice extract seem higher than that of non-gamma-irradiated rice. The tyrosinase inhibitory activity also showed a similar trend with the inhibition of carbohydrate hydrolytic enzymes by the highest tyrosinase inhibitory activity obtained from 60 Gy for KDML105, Khao Gor Khao 31, Khao Gor Khao 41, and Khao Gor Khao 57 and 100 Gy for Khao Pathum Thani 1. The gamma irradiation also stimulated the production of volatile compounds that exhibited biological activity found in gamma-irradiated rice. The volatile compounds identified from gamma-irradiated rice showed various biological activity, such as antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, antidiabetes, and anticancer properties.

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2021.06.011>.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the Rajamangala University of Technology. The financial support was received by the grant of Rajamangala University of Technology (grant number: 25620001213).

References

- Fairhurst, T. and Dobermann, A.: Rice in the global food supply. *Better Crop Int.*, **16**, 3–6 (2002) (special supplement).
- Sansanya, S., Hua, Y., and Chumanee, S.: The correlation between 2-acetyl-1-pyrroline content, biological compounds and molecular characterization to the aroma intensities of Thai local rice. *J. Oleo Sci.*, **67**, 893–904 (2018).
- Zhu, G., Peng, S., Huang, J., Cui, K., Nie, L., and Wang, F.: Genetic improvements in rice yield and concomitant increases in radiation-and nitrogen-use efficiency in middle reaches of Yangtze river. *Sci. Rep.*, **6**, 21049 (2016).
- Huang, L., Zhang, R., Huang, G., Li, Y., Melaku, G., Zhang, S., Chen, H., Zhao, Y., Zhang, J., Zhang, Y., and Hu, F.: Developing superior alleles of yield genes in rice by artificial mutagenesis using the CRISPR/Cas9 system. *J. Crop Prod.*, **6**, 475–481 (2018).
- Kakar, K., Xuan, T. D., Quan, N. V., Wafa, I. K., Tran, H. D., Khanh, T. D., and Dat, T. D.: Efficacy of n-methyl-n-nitrosourea (MNU) mutation on enhancing the yield and quality of rice. *Agriculture*, **9**, 212 (2019).
- Takatsujii, H.: Development of disease-resistant rice using regulatory components of induced disease resistance. *Plant Sci.*, **5**, 630 (2014).
- Liao, Y., Bai, Q., Xu, P., Wu, T., Guo, D., Peng, Y., Zhang, H., Deng, X., Chen, X., Luo, M., and other 3 authors: Mutation in rice abscisic acid 2 results in cell death, enhanced disease-resistance, altered seed dormancy and development. *Front. Plant Sci.*, **9**, 1–15 (2018).
- Afzal, S., Sirohi, P., Yadav, A. K., Singh, M. P., Kumar, A., and Singh, N. K.: A comparative screening of abiotic stress tolerance in early flowering rice mutants. *J. Biotechnol.*, **302**, 112–122 (2019).
- Niu, X., Tang, W., Huang, W., Ren, G., Wang, Q., Luo, D., Xiao, Y., Yang, S., Wang, F., Lu, B. R., and other 3 authors: RNAi-directed downregulation of OsBADH2 results in aroma (2-acetyl-1-pyrroline) production in rice (*Oryza sativa* L.). *BMC Plant Biol.*, **8**, 100 (2008).
- Lee, G., Piao, R., Lee, Y., Kim, B., Seo, J., Lee, D., Jang, S., Jin, Z., Lee, C., Chin, J. H., and Koh, H. J.: Identification and characterization of LARGE EMBRYO, a new gene controlling embryo size in rice (*Oryza sativa* L.). *Rice*, **12**, 22 (2019).
- Kovacs, E. and Keresztes, A.: Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron*, **33**, 199–210 (2002).
- Qi, W., Zhang, L., Feng, W., Xu, H., Wang, L., and Jiao, Z.: ROS and ABA signaling are involved in the growth stimulation induced by low-dose gamma irradiation in arabidopsis seedling. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, **175**, 1490–1506 (2015).
- Sansanya, S., Hua, Y., Chumanee, S., and Winyakul, C.: Effect of gamma irradiation on the 2-acetyl-1-pyrroline content during growth of Thai black glutinous rice (Upland rice). *Aust. J. Crop Sci.*, **11**, 631–637 (2017).
- Sansanya, S., Hua, Y., Chumanee, S., Phasai, K., and Sricheewin, C.: Effect of gamma irradiation on 2-acetyl-1-pyrroline content, GABA content and volatile compounds of germinated rice (Thai Upland Rice). *Plants*, **6**, 18 (2017).
- Hwang, J. E., Ahn, J. W., Kwon, S. J., Kim, J. B., Kim, S. H., Kang, S. Y., and Kim, D. S.: Selection and molecular characterization of a high tocopherol accumulation rice mutant line induced by gamma irradiation. *Mol. Biol. Rep.*, **41**, 7671–7681 (2014).
- Masruroh, F., Samanahudi, S., and Yunus, A.: Improvement of rice (*Oryza sativa* L.) var. Ciherang and Cempo Ireng productivity using gamma irradiation. *J. Agr. Sci. Tech-iran B.*, **6**, 289–294 (2016).
- Baba, S. A. and Malik, S. A.: Determination of total phenolic and flavonoid content, antimicrobial and antioxidant activity of a root extract of *Arisaema jacquemontii* Blume. *J. Taibah Univ. Sci.*, **9**, 449–454 (2015).
- Pourmorad, F., Hosseinimehr, S. J., and Shahabimajid, N.: Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. *Afr. J. Biotechnol.*, **5**, 1142–1145 (2006).
- Yen, G. C. and Hsieh, C. L.: Antioxidant effects of dopamine and related compounds. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **61**, 1646–1649 (1997).
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C.: Antioxidant activity applying improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, **26**, 1231–1237 (1999).
- Nanok, K. and Sansanya, S.: α -Glucosidase, α -amylase, and tyrosinase inhibitory potential of capsaicin and dihydrocapsaicin. *J. Food Biochem.*, **44**, e13099 (2020).
- DeLauney, A. J. and Verma, D. P. S.: Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.*, **4**, 215–223 (1993).
- Dar, M. I., Naikoo, M. I., Rehman, F., Naushin, F., and Khan, F. A.: Proline accumulation in plants: roles in stress tolerance and plant development, pp. 155–166. in: *Osmolytes and plants acclimation to changing environment: emerging Omics Technologies*. Springer, New Delhi (2016).
- Kishor, K., Polavarapu, B., Hima Kumari, P., Sunita, M. S. L., and Sreenivasulu, N.: Role of proline in cell wall synthesis and plant development and its implications in plant ontogeny. *Front. Plant Sci.*, **6**, 544 (2015).
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., and Ahmad, A.: Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signal. Behav.*, **7**, 1456–1466 (2012).
- Sansanya, S., Hua, Y., Chumanee, S., and Sricheewin, C.: The combination effect of gamma irradiation and salt concentration on 2-acetyl-1-pyrroline content, proline content and growth of Thai Fragrant Rice (KDML 105). *Orient. J. Chem.*, **35**, 938–946 (2019).
- Al-Enezi, N. A. and Al-Khayri, J. M.: Effect of X-irradiation on proline accumulation, growth, and water content of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedlings. *J. Biol. Sci.*, **12**, 146–153 (2012).
- Asare, A. T., Mensah, F., Acheampong, S., Asare-Bediako, E., and Armah, J.: Effects of gamma irradiation on agronomorphological characteristics of Okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench.). *Adv. Agric.*, **3**, 2017 (2017).
- Al-Safadi, B. and Simon, P. W.: Gamma irradiation-induced variation in carrots (*Daucus carota* L.). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, **121**, 599–603 (1996).
- Marcu, D., Damian, G., Cosma, C., and Cristea, V.: Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (*Zea mays*). *J. Biol. Phys.*, **39**, 625–634 (2013).
- Jan, S., Parween, T., and Siddiqi, T. O.: Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environ. Rev.*, **20**, 17–39 (2012).
- Najafabadi, N. S., Sahari, M. A., Barzegar, M., and Esfahani, Z. H.: Effect of gamma irradiation on some physicochemical properties and bioactive compounds of jujube (*Ziziphus jujuba* var. *vulgaris*) fruit. *Radiat. Phys. Chem.*, **130**, 62–68 (2017).
- Kumar, S. and Pandey, A. K.: Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *Sci. World J.*, **162750** (2013) 2013.
- Jing, L., Ma, H., Fan, P., Gao, R., and Jia, Z.: Antioxidant potential, total phenolic and total flavonoid contents of Rhododendron anthopogonoides and its protective effect on hypoxia-induced injury in PC12 cells. *BMC Complement. Altern. Med.*, **15**, 287 (2015).
- Yin, Z., Zhang, W., Feng, F., Zhang, Y., and Kang, W.: α -Glucosidase inhibitors from medicinal plants. *Food Sci. Hum. Wellness*, **3**, 136–174 (2014).
- Al-Ishaq, R. K., Abotaleb, M., Kubatka, P., Kajo, K., and Büsselberg, D.: Flavonoids and their anti-diabetic effects: cellular mechanisms and effects to improve blood sugar levels. *Biomolecules*, **9**, 430 (2019).
- Li, K., Yao, F., Xue, Q., Fan, H., Yang, L., Li, X., Sun, L., and Liu, Y.: Inhibitory effects against α -glucosidase and α -amylase of the flavonoids-rich extract from *Scutellaria baicalensis* shoots and interpretation of structure-activity relationship of its eight flavonoids by a refined assign-score method. *Chem. Cent. J.*, **12**, 82 (2018).
- Tadera, K., Minami, Y., Takamatsu, K., and Matsuoka, T.: Inhibition of α -glucosidase and α -amylase by flavonoids. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **52**, 149–153 (2006).

Please cite this article as: Archanachai, K et al., Effect of gamma irradiation on growth, proline content, bioactive compound changes, and biological activity of 5 popular Thai rice cultivars. *J. Biosci. Bioeng.*, <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2021.06.011>

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
39. Yilmazer-Musa, M., Griffith, A. M., Michels, A. J., Schneider, E., and Frei, B.: Grape seed and tea extracts and catechin 3-gallates are potent inhibitors of α -amylase and α -glucosidase activity, *J. Agric. Food Chem.*, **60**, 8924–8929 (2012).
40. Wu, X., Hu, M., Hu, X., Ding, H., Gong, D., and Zhang, G.: Inhibitory mechanism of epicatechin gallate on α -amylase and α -glucosidase and its combinational effect with acarbose or epigallocatechin gallate, *J. Mol. Liq.*, **290**, 4892–4902 (2019).
41. Ryu, J., Nam, B., Kim, B. R., Kim, S. H., Jo, Y. D., Ahn, J. W., Kim, J. B., Jin, C. H., and Han, A. R.: Comparative analysis of phytochemical composition of gamma-irradiated mutant cultivars of *Chrysanthemum morifolium*, *Molecules*, **24**, 3003 (2019).
42. Moghaddam, S. S., Ibrahim, R., Damalas, C. A., and Noorhosseini, S. A.: Effects of gamma stress and carbon dioxide on eight bioactive flavonoids and photosynthetic efficiency in *Centella asiatica*, *J. Plant Growth Regul.*, **36**, 957–969 (2017).
43. Zolghadri, S., Bahrani, A., Hassan Khan, M. T., Munoz-Munoz, J., Garcia-Molina, F., Garcia-Canovas, F., and Saboury, A. A.: A comprehensive review on tyrosinase inhibitors, *J. Enzyme Inhib. Med. Chem.*, **34**, 279–309 (2019).
44. Söhretoglu, D., Sari, S., Barut, B., and Ozel, A.: Tyrosinase inhibition by some flavonoids: inhibitory activity, mechanism by in vitro and in silico studies, *Bioorg. Chem.*, **81**, 168–174 (2018).
45. Nguyen, H. X., Nguyen, N. T., Nguyen, M. H. K., Le, T. H., Van, D. T. N., Hung, T. M., and Nguyen, M. T. T.: Tyrosinase inhibitory activity of flavonoids from *Artocarpus heterophyllous*, *Chem. Cent. J.*, **10**, 2 (2016).
46. Shim, S. L., Hwang, I. M., Ryu, K. Y., Jung, M. S., Seo, H. Y., Kim, H. Y., Song, H. P., Kim, J. H., Lee, J. W., Byun, M. W., Kwon, J. H., and Kim, K. S.: Effect of γ -irradiation on the volatile compounds of medicinal herb, *Paeoniae Radix*, *Radiat. Phys. Chem.*, **78**, 665–669 (2009).
47. Fukai, S., Tanimoto, S., Maeda, A., Fukuda, H., Okada, Y., and Nomura, M.: Pharmacological activity of compounds extracted from persimmon peel (*Diospyros kaki* THUNB.), *J. Oleo Sci.*, **58**, 213–219 (2009).
48. Velicković, D., Dimitrijević, A., Bihelović, F., Bezbradica, D., Knezević-Jugović, Z., and Milosavić, N.: Novel glycoside of vanillyl alcohol, 4-hydroxy-3-methoxybenzyl- α -D-glucopyranoside: study of enzymatic synthesis, in vitro digestion and antioxidant activity, *Bioproc. Biosyst. Eng.*, **35**, 1107–1115 (2012).
49. Ashraf, Z., Rafiq, M., Seo, S. Y., and Babar, M. M.: Synthesis, kinetic mechanism and docking studies of vanillin derivatives as inhibitors of mushroom tyrosinase, *Bioorg. Med. Chem.*, **23**, 5870–5880 (2015).
50. Oboh, G., Isaac, A. T., Akinyemi, A. J., and Ajani, R. A.: Inhibition of key enzymes linked to type 2 diabetes and sodium nitroprusside induced lipid peroxidation in rats' pancreas by phenolic extracts of avocado pear leaves and fruit, *Int. J. Biomed. Sci. IJBS.*, **10**, 208–216 (2014).
- 22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวกรรณิการ์ อาชนะชัย
วัน เดือน ปีเกิด 21 สิงหาคม 2537
ที่อยู่ 65 หมู่ 1 ตำบลท่าวัด อำเภอแวงน้อย จังหวัดขอนแก่น
40230
การศึกษา ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาเคมี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
เบอร์โทรศัพท์ 062-997-6496
อีเมล Archanachai.K@gmail.com

