บทที่ 4
ผลการวิจัย และอภิปรายผล

4.1 การทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าว

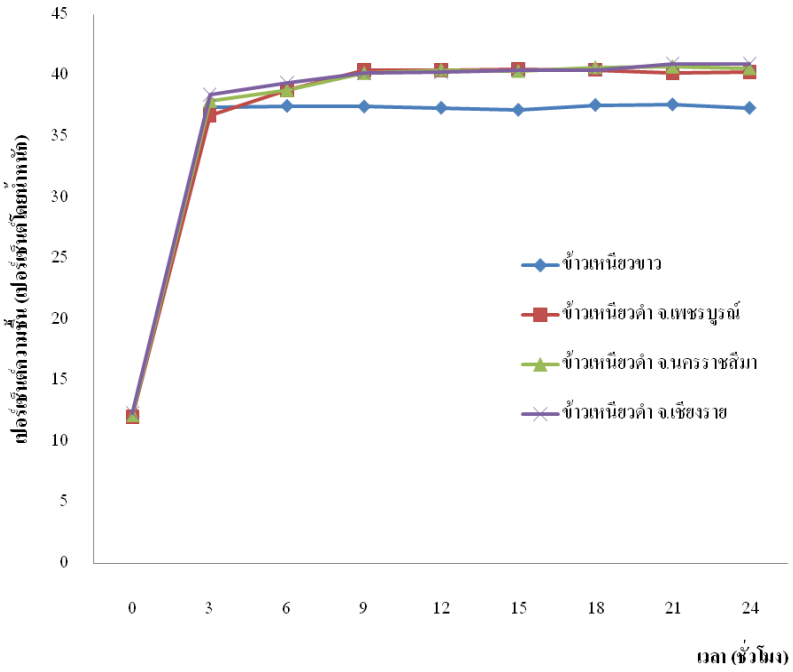
จากการทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าว ของข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข . 6 และข้าวเหนียวดำจาก 3 แหล่งปลูก (ข้าวหนียวดำจาก จ . เพชรบูรณ์ จ . นครราชสีมา และ จ .เชียงราย) โดยดูปริมาณ ความชื้นในเมล็ดข้าวที่แช่ในน้ำ ที่เวลา 0-24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเมล็ดข้าวเหนียวขาว กข.6 และเมล็ดข้าวเหนียวดำจาก 3 แหล่งปลูก ที่แช่ในน้ำ เป็นเวลา 0-24 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นในเมล็ดข้าว (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)			
	ข้าวเหนียวขาว กข. 6	ข้าวเหนียวดำ จ. เพชรบูรณ์	ข้าวเหนียวดำ จ. นครราชสีมา	ข้าวเหนียวดำ จ. เชียงราย
0	12.10±0.08	12.00±0.08	12.11±0.01	12.30±0.04
3	37.37±0.30	36.74±0.39	37.89±0.16	38.44±0.23
6	37.48±0.18	38.79±0.50	38.77±0.36	39.40±0.23
9	37.43±0.57	40.43±0.44	40.17±1.23	40.18±0.55
12	37.32±0.17	40.42±0.25	40.43±0.26	40.89±0.55
15	37.16±0.18	40.50±0.19	40.34±0.29	40.45±0.19
18	37.55±0.53	40.46±1.48	40.63±0.31	40.45±0.22
21	37.60±0.10	40.21±0.37	40.70±0.35	40.97±0.08
24	37.31±0.47	40.26±0.33	40.57±0.40	40.94±0.15

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเมล็ดข้าว จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแช่ข้าวเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงแรก โดยข้าวเหนียวขาว กข.6 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นค่อนข้างคงที่ เมื่อแช่ข้าวต่อไป โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงสุดประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ในขณะที่ข้าวเหนียวดำทุกสายพันธุ์ ยังคงมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย เมื่อแช่ข้าวต่อไปจนครบ 24 ชั่วโมง โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงสุดประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อแช่ข้าวเป็นเวลา 9 ชั่วโมง นั่นคือข้าวเหนียวขาวมีประสิทธิภาพในการดูดน้ำเข้ามาในเมล็ดข้าวได้น้อยกว่าข้าวเหนียวดำทำให้ข้าวเหนียวดำมีความชื้นสุดท้ายสูงกว่าข้าวเหนียวขาว แต่ข้าวเหนียวดำต้องใช้เวลาในการแช่ข้าวนานกว่าข้าวเหนียวขาว เพื่อให้ถึงจุดอิ่มตัว แสดงในภาพที่ 4.1

ผลการทดลองสรุปได้ว่า ระยะเวลาที่เหมาะสม ในการแช่ข้าวเ หนียวขาว กข. 6 คือ 3 ชั่วโมง และระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเหนียวดำจาก จ. เพชรบูรณ์ จ. นครราชสีมา และ จ.เชียงราย คือ 9 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาในการแช่ข้าว

1.2 การศึกษาราแดง *M. purpureus* ที่เหมาะสมในการผลิตสาโทแดง

การศึกษาสายพันธุ์ราที่เหมาะสมเพื่อผลิตสาโทแดงให้มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอ ในการทดลองจะใช้ข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข .6 และข้าวเหนียวดำจาก จ . เพชรบูรณ์ เป็นวัตถุดิบในการผลิตสาโทแดง การทดลองนี้ใช้รา *R. oryzae* 1 สายพันธุ์ และ รา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 และ 3090 และยีสต์ *S. bayanas* EC1118 ในกระบวนการผลิต

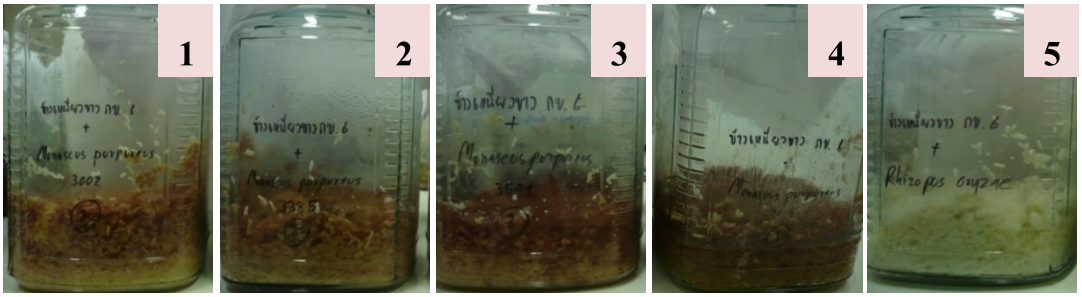
ผลการทดลอง พบว่า เมื่อทำการถ่ายราแต่ละชนิดลงบนข้าวนึ่งสุกแล้ว ทำการคลุกผสมให้เข้ากัน เมื่อระยะเวลาผ่านไป ในกรณีของข้าวเหนียวขาวจะสังเกตเห็นการเจริญของราบนเมล็ดข้าวเหนียว โดยจะเห็นเส้นใยสีขาวและสปอร์สีดำบนข้าวเหนียวในกรณี *R. oryzae* และจะมองเห็น เพียงเส้นใยสีขาวเจริญบนเมล็ดข้าว และสังเกตเห็นเมล็ดข้าวเปลี่ยนเป็นสีแดงที่บริเวณผิวหน้า เมื่อใช้ *M. purpureus* ในกรณีที่ใช้ข้าวเหนียวดำเป็นวัตถุดิบ จะสังเกตเห็นเพียงเส้นใยสีขาวเจริญคลุมเต็มเมล็ดข้าวเท่านั้นทั้ง *R. oryzae* และ *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 และ 3090

เมื่อระยะเวลาผ่านไป 5 วันสำหรับ *R. oryzae* และประมาณ 14 วันสำหรับ *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 และ 3090 สังเกตเห็นการเจริญของราบนเมล็ดข้าว เหนียวเกือบเต็มผื้นผิว และเห็นน้ำเยิ้มออกมาซึ่งเรียกว่า “น้ำต้อย” เมื่อวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o}Brix) ผลแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำต้อยที่เกิดจากการย่อยแป้งในข้าวเหนียวขาว กข.6 และข้าวเหนียวดำจาก จ. เพชรบูรณ์ โดยใช้รา 5 สายพันธุ์ได้แก่ *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 3090 และ *R. oryzae*

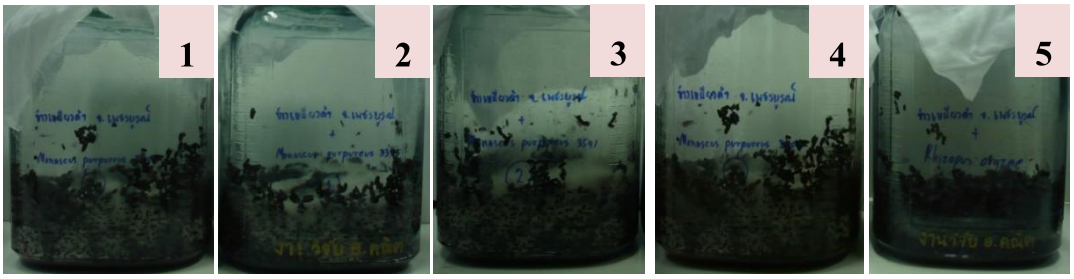
รา	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	
	ข้าวเหนียวขาว กข.6	ข้าวเหนียวดำจาก จ.เพชรบูรณ์
M. purpureus TISTR 3002	31.9[2]	29.1[4]
M. purpureus TISTR 3385	30.0[3]	28.4[4]
M. purpureus TISTR 3541	30.4[3]	27.9[5]
M. purpureus TISTR 3090	30.2[3]	28.5[4,5]
R. oryzae	36.4[1]	30.5[3]

หมายเหตุ : ตัวเลขยกกำลัง หมายถึง ระดับของประสิทธิภาพในการย่อยแป้ง เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเลขยกกำลังหนึ่ง มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งดีที่สุด



ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะของรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae* 1 สายพันธุ์ที่เลี้ยงบนเมล็ดข้าวเหนียวขาว กข.6 ได้แก่ *M. purpureus* TISTR 3002 (1) 3385 (2) 3541 (3) 3090 (4) และ *R. oryzae* (5)

จากภาพที่ 4.2 เมื่อเลี้ยงรา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์บนเมล็ดข้าวเหนียวขาวที่นึ่งสุกแล้วพบว่า เมล็ดข้าวเหนียวขาวมีสีน้ำตาลแดง แตกต่างกันตามแต่ละสายพันธุ์ของรา *M. purpureus* และเมื่อเลี้ยงรา *R. oryzae* บนเมล็ดข้าวเหนียวขาวนึ่งสุกพบว่าเมล็ดข้าวยังคงมีสีขาวเช่นเดิม และสังเกตเห็นเส้นใยและสปอร์สีดำ ปกคลุมอยู่บนผิวหน้าอีกด้วย



ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะของรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae* 1 สายพันธุ์ที่เลี้ยงบนเมล็ดข้าวเหนียวดำจาก จ.เพชรบูรณ์ ได้แก่ *M. purpureus* TISTR 3002 (1) 3385 (2) 3541 (3) 3090 (4) และ *R. oryzae* (5)

จากภาพที่ 4.3 เมื่อเลี้ยงรา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์บนเมล็ดข้าวเหนียวดำที่นึ่งสุกจะสังเกตเห็นเส้นใยสีขาวปกคลุมอยู่ทั่วทั้ง ผิวหน้า และไม่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำมากนัก เช่นเดียวกับการเลี้ยงรา *R. oryzae* บนเมล็ดข้าวเหนียวดำ พบว่า สังเกตเห็นเพียงเส้นใยสีขาวปกคลุมบริเวณผิวหน้าเท่านั้น และเมื่อเวลาผ่านไป เส้นใยดังกล่าวจะค่อยๆ ยุบตัว เหลือเส้นใยเพียงเล็กน้อย แล ะสังเกตเห็นน้ำต้อยเกิดขึ้นได้ชัดเจนกว่าการเลี้ยง *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์บนเมล็ดข้าวเหนียวดำ

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำต้อย ที่ผลิตได้จากข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวดำ โดยใช้รา 5 สายพันธุ์ มีความแตกต่างกันท างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และสามารถแบ่งได้เป็น 5 ระดับ โดย *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวขาว แล้วได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด คือ 36.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (^{o}Brix)

M. purpureus TISTR 3002 สามารถย่อยข้าวเหนียวขาวได้ดีรองลง มาเป็นอันดับสอง โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 31.9 ^{o}Brix

M. purpureus TISTR 3385 3541 และ 3090 สามารถย่อยข้าวเหนียวขาวได้ดีเป็นอันดับสาม โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 30.0 30.4 และ 30.2 ^{o}Brix ตามลำดับ เช่นเดียวกับ *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวดำได้ดีเป็นอันดับสาม โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 30.5 ^{o}Brix

M. purpureus TISTR 3002 3385 และ 3090 สามารถย่อยข้าวเหนียวดำได้ดีเป็นอันดับสี่ โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 29.1 28.4 และ 28.5 ^{o}Brix ตามลำดับ

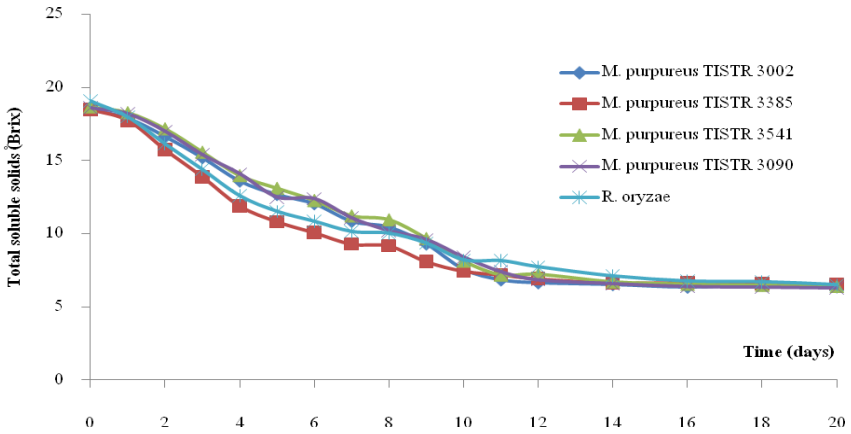
M. purpureus TISTR 3541 และ 3090 สามารถย่อยข้าวเหนียวดำได้น้อยที่สุดเป็นอันดับห้า โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 27.9 และ 28.5 ^{o}Brix ตามลำดับ

จากผลการทดลองสรุปว่า ราทั้ง 5 สายพันธุ์ สามารถย่อยข้าวเหนียวขาวได้ดีกว่าข้าวเหนียวดำ เนื่องจากเมล็ดข้าวเหนียวขาวมีความอ่อนนุ่ ม มากกว่าข้าวเหนียวดำ เพราะที่ผิวของเมล็ดข้าวเหนียวดำมีสารสี และสารอาหารที่เป็นประโยชน์เคลือบอยู่ในปริมาณมาก ทำให้ผิวของเมล็ดข้าวเหนียวดำมีความแข็งแรงกว่า ทำให้เส้นใยเชื่อราไม่สามารถย่อยแป้งในเมล็ดข้าวเหนียวดำได้มากนัก ทำให้น้ำต้อยที่ได้มีปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ทั้งหมดน้อยกว่า การย่อยข้าวเหนียวขาว

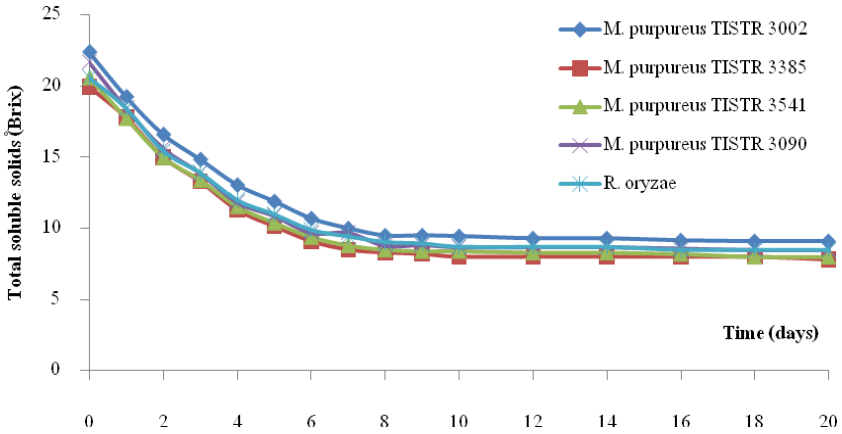
กรณีที่ใช้ *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวได้ดีกว่า *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ เนื่องจาก *R. oryzae* เป็นราสายพันธุ์ที่นิยม นำมาใช้ในกระบวนการผลิตสาโท เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งในเมล็ดข้าว

เหนียวให้กลายเป็นน้ำตาลได้ดี ในขณะที่ *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์สามารถย่อยข้าวเหนียวได้ดีในระดับหนึ่งเท่านั้น แต่จะสามารถผลิตสารสีได้ (สีเหลือง สีส้ม และสีแดง) ทำให้เมล็ดข้าวเหนียวขาวมีสีส้ม จนถึงสีแดง

เมื่อครบระยะเวลา 5 วัน สำหรับข้าวเหนียวขาว และ 14 วันสำหรับข้าวเหนียวดำ ทำการผ่านำ้โดยการเติมน้ำเชื่อมให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เริ่มต้นประมาณ 18-19 °Brix จากนั้นเติมยีสต์ *S. bayanas* EC1118 ที่ผ่านการทำรีไฮเดรชั่นแล้ว ติดตามการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการหมัก ผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

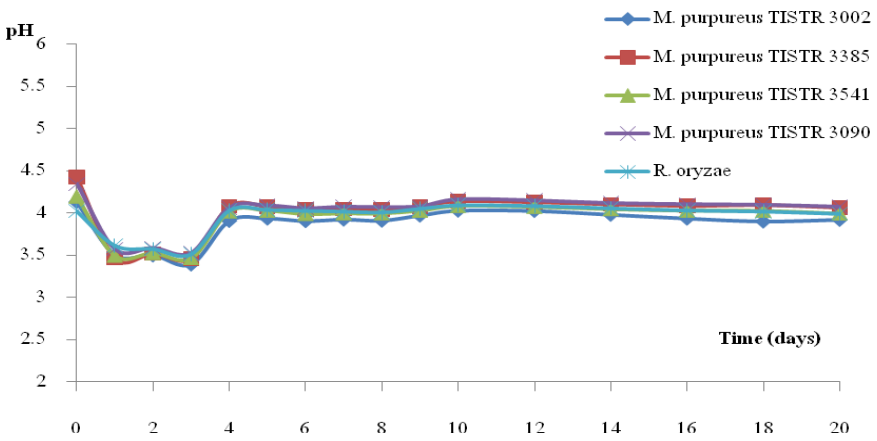


ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

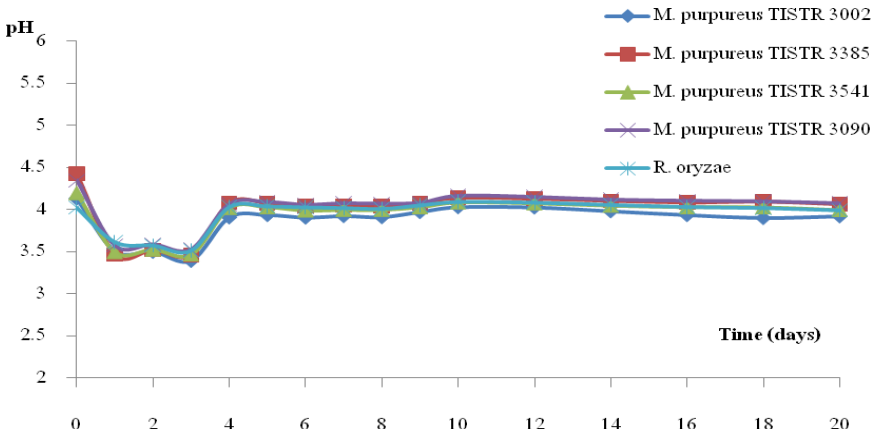


ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

จากภาพที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการหมักสาโท แดง ทั้งสาโทที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว และข้าวเหนียวดำ ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการหมัก เกิดจากการที่เซลล์ยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นเอทานอลในกระบวนการหมัก จนกระทั่งวันที่ 10 ของการหมัก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมัก

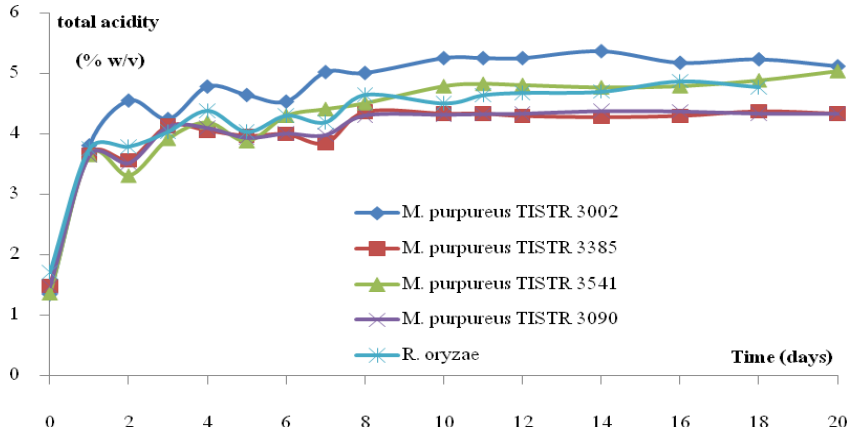


ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

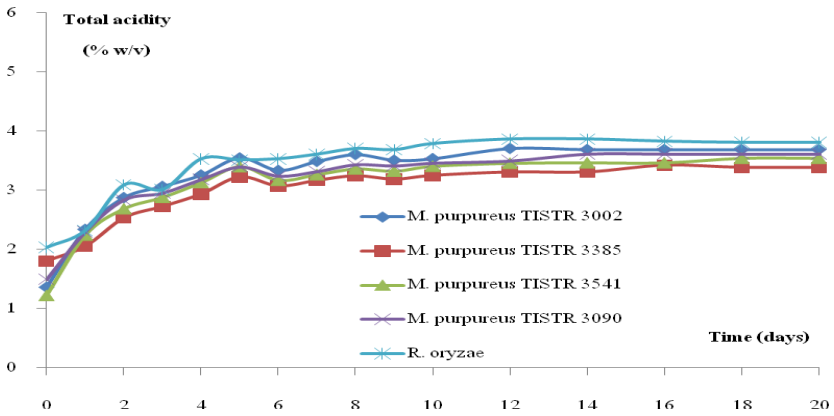


ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

จากภาพที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าค่าความเป็นกรด- ด่าง (pH) ในระหว่างการหมักสาโท แดง ทั้งสาโทที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว และข้าวเหนียวดำ ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการหมัก จนกระทั่งวันที่ 4 ของการหมัก มีการเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟส เพื่อช่วยในกระบวนการหมัก ทำให้ pH เพิ่มสูงขึ้น และมีค่าคงที่ จนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมัก

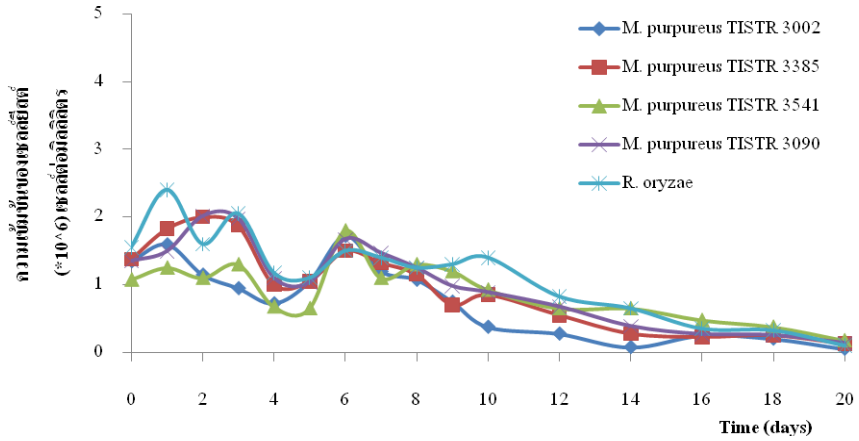


ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

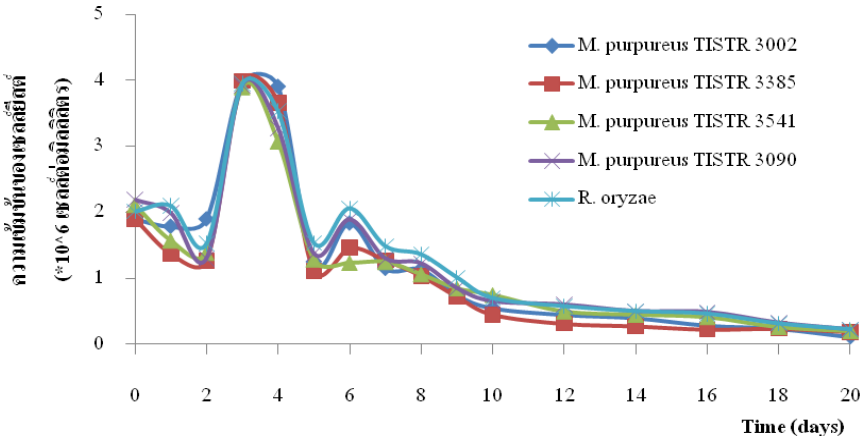


ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

จากภาพที่ 4.8 และ 4.9 พบว่า ปริมาณกรดทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการหมัก ซึ่งเกิดจากเซลล์ยีสต์มีการผลิตสารบางอย่างที่มีฤทธิ์เป็นกรดออกมา ในระหว่างกระบวนการหมัก ทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดในสาโทมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่มีค่าลดลง และเริ่มมีปริมาณคงที่ประมาณวันที่ 10 ของการหมัก จนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมัก

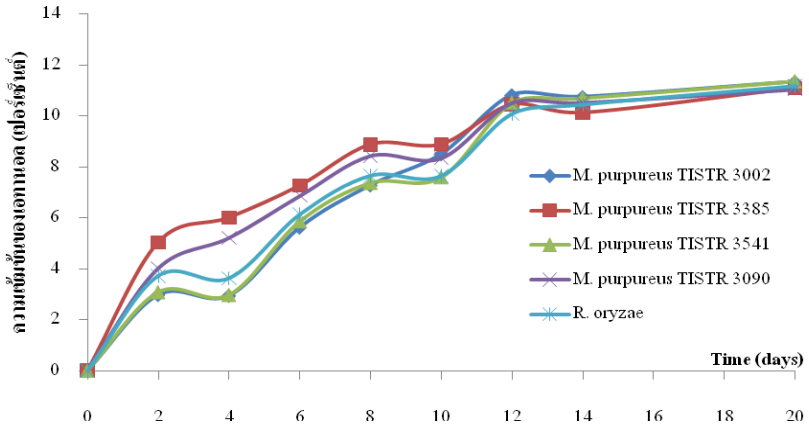


ภาพที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเซลล์ยีสต์ ในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

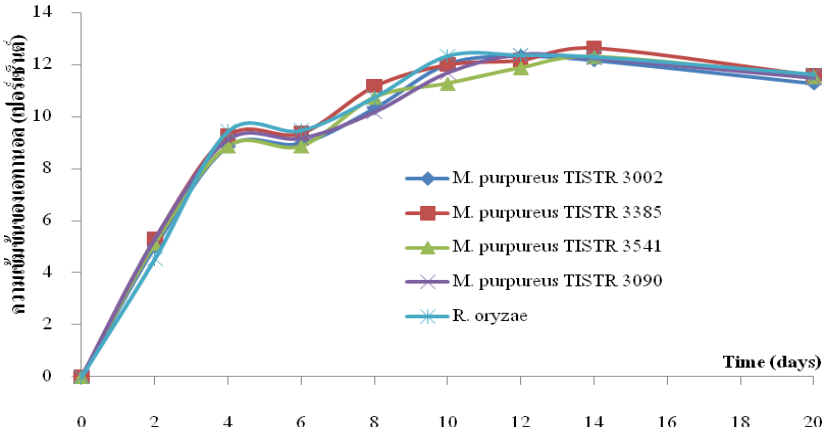


ภาพที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเซลล์ยีสต์ ในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

จากภาพที่ 4.10 และ 4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเซลล์ยีสต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมัก หลังจากนั้นพบว่าเซลล์ยีสต์มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว จึงมีการเติม ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟส ซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจน ของยีสต์ ทำให้ปริมาณเซลล์ยีสต์ เพิ่มสูงขึ้นอีกเล็กน้อยในช่วงวันที่ 6-7 ของการหมัก และเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมัก แทบไม่พบเซลล์ยีสต์หลงเหลืออยู่เลย

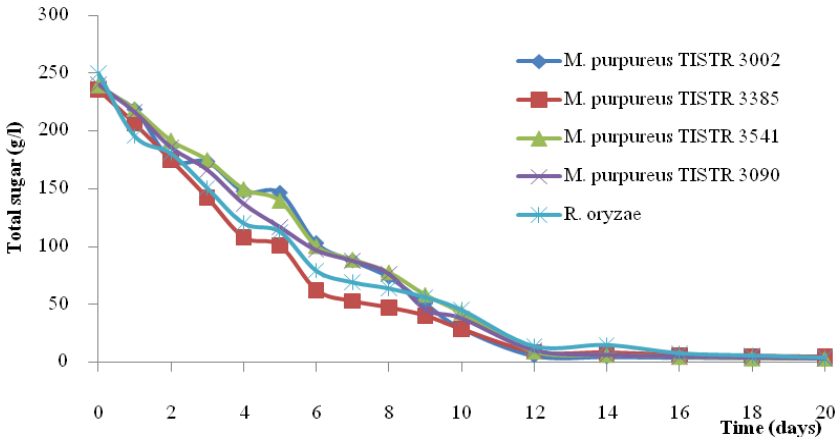


ภาพที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอล ในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

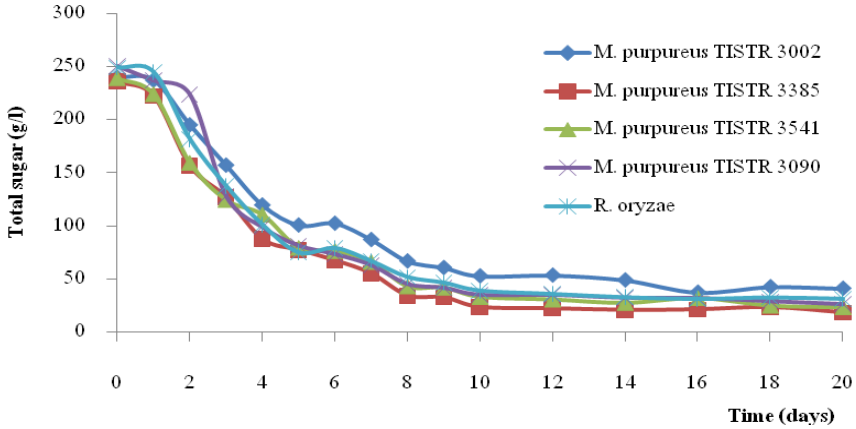


ภาพที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอล ในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

จากภาพที่ 4.12 และ 4.13 พบว่า ความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมัก โดยสาโทที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ มีปริมาณเอทานอลเพิ่มสูงขึ้น เร็วกว่าสาโทที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลง ปริมาณเซลล์ยีสต์ ในสาโทที่ผลิตจากข้าวเห นียวดำ มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสาโทที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว โดยความเข้มข้นของเอท านอลเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักสาโทที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวดำ มีความเข้มข้นประมาณ 11-12 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

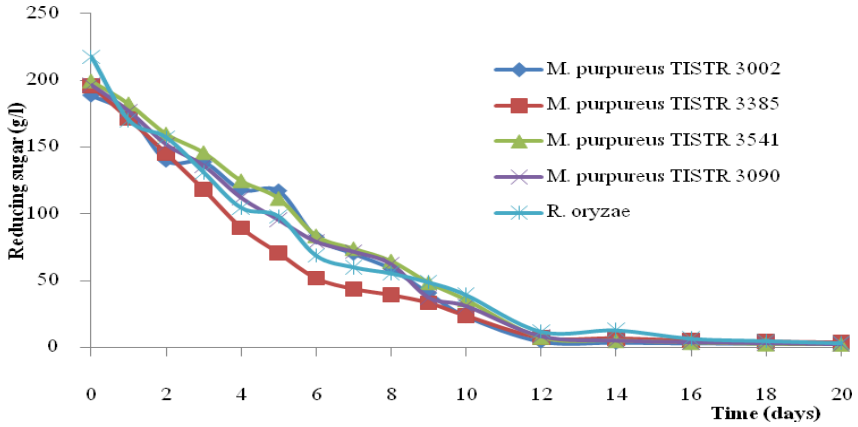


ภาพที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมด ในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

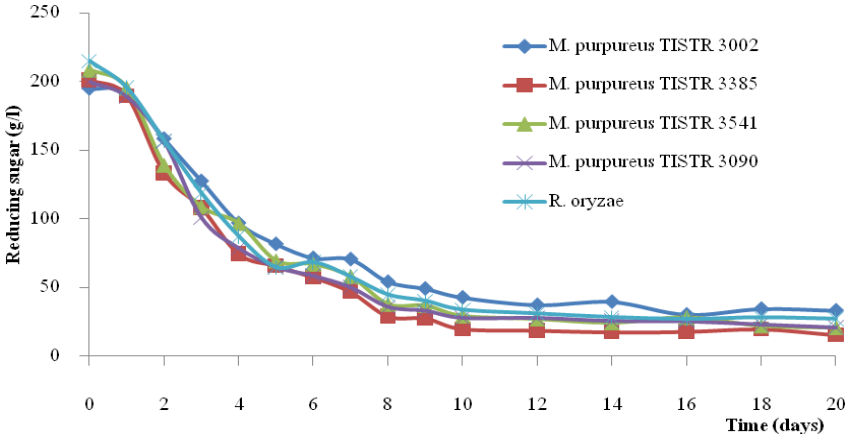


ภาพที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมด ในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

จากภาพที่ 4.14 และ 4.15 พบว่า ความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมด ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมัก ซึ่งเกิดจากการที่เซลล์ยีสต์เปลี่ยนน้ำตาล ให้กลายเป็นเอทานอลในกระบวนการหมัก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้ งหมดในภาพที่ 4.4 และ 4.5 จนกระทั่งวันที่ 10 ความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมดมีความคงที่ไปจนสิ้นสุดกระบวนการหมัก



ภาพที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ ในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*



ภาพที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ ในระหว่างการหมักสาโท ที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

จากภาพที่ 4.16 และ 4.17 พบว่า ความเข้มข้นของน้ำตาล รีดิวซ์มีปริมาณลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมัก สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมด เนื่องจากปริมาณน้ำตาลส่วนใหญ่ในกระบวนการหมักสาโท เป็นน้ำตาลซูโครส ที่ถูกเติมลงไปในรูปของน้ำเชื่อม เพื่อปรับความเข้มข้นของน้ำตาลก่อนกระบวนการหมัก

เมื่อกระบวนการหมักสิ้นสุดลงทำการแรคกิ้ง (Racking) 2 ครั้ง เติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์เพื่อฆ่าเชื้อและหยุดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ สารประกอบฟีนอลลิก ปริมาณสารสี และ color intensity ผลการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ และสารประกอบฟีนอลลิก ในสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว และข้าวเหนียวดำร่วมกับ รา *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 3090 และ *R. oryzae*

สาโทแดง		แกมมาโอไรซานอล µg/ml	แอนติออกซิแดนท์ mg/l	สารประกอบฟีนอลลิก mg/l
ข้าวเหนียวขาว กข. 6	*M. purpureus* TISTR 3002	158.39±2.53^{5}	9.07±0.30^{4}	254.53±2.98^{6}
	M. purpureus TISTR 3385	146.21±1.97^{6}	10.25±0.89^{4}	231.05±3.65^{9}
	M. purpureus TISTR 3541	156.57±2.20^{5}	10.42±0.47^{4}	242.05±3.53^{8}
	M. purpureus TISTR 3090	125.05±8.02^{7}	8.49±0.43^{4}	285.73±0.96^{4}
	R. oryzae	180.12±7.58^{4}	8.40±0.90^{4}	314.58±6.48^{2}
ข้าวเหนียวดำ จาก จ. เพชรบูรณ์	*M. purpureus* TISTR 3002	343.43±5.39^{2}	24.85±0.97^{2}	251.62±5.51^{6,7}
	M. purpureus TISTR 3385	224.40±6.38^{3}	23.61±2.67^{2,3}	266.22±3.68^{5}
	M. purpureus TISTR 3541	219.27±6.66^{3}	24.89±0.67^{2}	246.01±4.15^{7,8}
	M. purpureus TISTR 3090	184.91±3.19^{4}	22.78±1.30^{3}	293.44±7.14^{3}
	R. oryzae	510.00±8.88^{1}	28.43±1.96^{1}	330.02±7.53^{1}

หมายเหตุ : ตัวเลขยกกำลัง หมายถึง ระดับของปริมาณสารสำคัญ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเลขยกกำลังหนึ่ง มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด

จากตารางที่ 4.3 การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี ของสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว และข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 3090 และ *R. oryzae* โดยทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า

ในกรณีสารแกมมาโอไรซานอล พบว่า สาโท แดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้รา *R.* oryzae มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล สูงที่สุด คือ 510.00±8.88 µg/ml

รองลงมาคือสาโท แดงที่ผลิตจาก ข้าวเหนียวดำ ร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 โดยมีปริมาณแกมมาโอไรซานอล 343.43±5.39 µg/ml ซึ่งมีปริมาณมากเป็นอันดับสอง

อันดับสาม ได้แก่ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3385 และ 3541 โดยมีปริมาณแกมมาโอไรซานอล 224.40±6.38 และ 219.27±6.66 µg/ml ตามลำดับ

อันดับสี่ ได้แก่ สาโท แดงที่ผลิตจาก ข้าวเหนียวดำ ร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3090 และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *R.* oryzae โดยมีปริมาณแกมมาโอไรซานอล 184.91±3.19 และ 180.12±7.58 µg/ml ตามลำดับ

อันดับห้า ได้แก่ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 และ 3541 มีปริมาณแกมมาโอไรซานอล 158.39±2.53 µg/ml

และ สาโทแดงที่ผลิตจาก ข้าวเหนียวขาว ร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3385 และ 3090 มีปริมาณแกมมาโอไรซานอล เป็นอันดับที่หก และเจ็ด ตามลำดับ โดยมีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล 146.21±1.97 และ 125.02±8.02 µg/ml ตามลำดับ

จากผลการทดลองกล่าวได้ว่าสาโท แดงที่ผลิตจาก ข้าวเหนียวดำ มีปริมาณแกม มาโอไรซานอล มากกว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว และสาโทแดงที่ผลิตจากรา *R. oryzae* มีปริมาณแกมมาโอไรซานอล มากกว่าสาโทแดงที่ผลิตจาก *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ทั้งนี้เนื่องจาก ข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล มากกว่าข้าวเหนียวขาว ประกอบกับ *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวได้ดีกว่า *M. purpureus* ทำให้สามารถสกัดเอาสารแกมมาโอไรซานอล จากเมล็ดข้าวออกมาได้ดีกว่า และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวชนิดเดียวกัน แต่ใช้ราต่างสายพันธุ์กัน ทำให้ได้สาโท แดงที่มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลแตกต่างกัน ซึ่งประสิทธิภาพการย่อยข้าวแต่ละสายพันธุ์ มีผลต่อปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองกล่าวได้ว่า สารแกมมาโอไรซานอลพบได้ในเมล็ดข้าวทุกชนิด และจะมีมากบนผิวของเมล็ดข้าว ดังนั้นข้าวเหนียวขาวซึ่งผ่านกระบวนการขัดสี ทำให้เกิดการสูญเสียสารสำคัญนี้ได้ แต่ในขณะเดียวกันข้าวเหนีย วดำซึ่งมีสารสีและสารสำคัญที่เป็นประโยชน์เคลือบผิวอยู่ในปริมาณม าก ทำให้พบสารแกมมาโอไรซานอลอยู่ในปริมาณมาก

จากงานวิจัยของ Lilitchan et al. (2008) ที่ทำการสกัดสารแกมมาโอไรซานอล จากเมล็ดข้าวเหนียวขาว กข.6 โดยวิธี partial extraction โดยใช้สารละลายเฮกเซน ผล การทดลองพบปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล ปริมาณ 3.43±0.14 mg/g (3,430 µg/g) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลในผลิตภัณฑ์สาโทแดง พบว่า สาโทแดงที่มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลสูงที่สุดได้แก่ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียว ดำ โดยใช้รา *R.* oryzae ซึ่งมีปริมาณสารแกมมาโอ ไรซานอล 510.00±8.88 µg/ml ซึ่งปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลในสาโทแดงมีปริมาณต่ำกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการผลิตสาโทแดงนั้นสามารถย่อย หรือสกัดเอาสารแกมมาโอไรซานอล จากเมล็ดข้าวได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ตลอดจนขั้นตอนการผ่าน้ำก่อนกระบวนการผลิตเอทานอล มีการเติมน้ำเชื่อมลงไป ซึ่งเป็นการเจือจางความเข้มข้นของสารแกมมาโอไรซานอลในผลิตภัณฑ์สาโทแดง ทำให้พบปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลในผลิตภัณฑ์สาโทแดงในปริมาณต่ำนั่นเอง

เมื่อพิจารณาปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ในสาโท แดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราต่างสายพันธุ์กัน พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์สูงที่สุด คือ 28.43±1.96 mg/l

รองลงมา คือสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 3385 และ 3541 โดยมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ 24.85±0.97, 23.61±2.67 และ 24.89±0.67 mg/l ตามลำดับ

อันดับสาม ได้แก่ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ร่วมกับ ราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3385 และ 3090 โดยมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ 23.61±2.67 และ 22.78±1.30 mg/l ตามลำดับ

และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 3090 และ *R. oryzae* มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ต่ำที่สุดเป็นอันดับสี่ โดยมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ 9.07±0.30 10.25±0.89 10.42±0.47 8.49±0.43 และ 8.40±0.90 mg/l ตามลำดับ

จากผลการทดลอง สามารถกล่าวได้ว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์สูงกว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ทั้งนี้เพราะข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์มากกว่าข้าวเหนียวขาว และรา *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวได้ดีทั้งข้าวเหนียวข าวและข้าวเหนียวดำ ทำให้สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์สูงที่สุด รองลงมาคือสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 และ 3090 ในขณะที่สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว โดยใช้ราทั้ง 5 สายพันธุ์มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ต่ำที่สุด

จากการทดลอง สามาร ถกล่าวได้ว่า สารแอนติออกซิแดนท์ มาจากเมล็ดข้าวเหนียวดำเป็นหลัก โดยมีรายงานว่าที่ผิวของเมล็ดข้าวเหนียวดำมีปริมาณแอนติออกซิแดนท์สูง (Kong and Lee, 2010) ซึ่งราสายพันธุ์ *R. oryzae* ไปส่งเสริมกา รย่อยเมล็ดข้าวเหนียวดำ ทำให้พบสารแอนติออกซิแดนท์สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกั บสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำโดยใช้ราสายพันธุ์อื่น

จากรายงานการวิจัยของ Rattanachitthawat et al. (2010) ที่ทำการสกัดสารแอนติออกซิแดนท์จากข้าวแดง 9 ชนิด โดยวิธี DPPH ในรูปของกรดแ อสคอร์บิก (ascorbic acid) พบว่าในเมล็ดข้าวแดงทั้ง 9 ชนิดมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ 0.13-3.51 mg/g โดยข้าวแดง Hawm Deang Sukhothai 1 เป็นข้าวแดงที่มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์สูงที่สุด คือ 3.51 mg/g เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ในตัวอย่างผลิตภัณ ฑ์สาโทที่มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ 8.40-28.43 mg/l (ในรูปของกรดแกลลิก) ถือว่าในผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์สูงกว่ามาก ซึ่งอาจเกิดจากการวิเคราะห์สารแอนติออกซิแดนท์ในรูปที่แตกต่างกัน (กรดแอสคอร์บิกและกรดแกลลิก) รวมไปถึงข้าวต่างชนิดกัน ก็ทำให้ป ริมาณสารแอนติออกซิแดนท์มีความแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟินอลลิก พบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณสารประกอบฟินอลลิกสูงสุด โดยมีปริมาณสารประกอบฟินอลลิก 330.02±7.53 mg/l

รองลงมา คือ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณสารประกอบฟินอลลิกสูงที่สุด โดยมีปริมาณสารประกอบฟินอลลิก 314.58±6.48 mg/l

อันดับที่สาม ได้แก่ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3090 โดยมีปริมาณสารประกอบฟินอลลิก293.44±7.14 mg/l

อันดับที่สี่ ได้แก่สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3090 โดยมีปริมาณสารประกอบฟินอลลิก 285.73±0.96 mg/l

อันดับที่ห้า ได้แก่สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3385 โดยมีปริมาณสารประกอบฟินอลลิก 266.23±3.68 mg/l

อันดับที่หก ได้แก่สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 โดยมีปริมาณสารประกอบฟินอลลิก 254.53±2.98 และ 251.62±5.51 mg/l ตามลำดับ

อันดับที่เจ็ด ได้แก่สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 และ 3541 โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก 251.62±5.51 และ 246.01±4.15 mg/l ตามลำดับ

อันดับที่แปด ได้แก่สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3541 และส าโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3541 โดยมีปริมาณสาร ประกอบฟีนอลลิก 242.05±3.53 และ 246.01±4.15 mg/l ตามลำดับ

และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3385 มีปริมาณ สารประกอบฟีนอลลิกน้อยที่สุด โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก 231.05±3.65 mg/l

จากผลการทดลองพบว่าสายพันธุ์ราที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก ในสาโทแดงที่ผลิตได้ โดยสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้รา *R. oryzae* มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกมากกว่า *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพการย่อยข้าวของราแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกัน

จากรายงานการวิจัยของ Que et al. (2006) ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก ในรูปของกรดแกลลิก ในตัวอย่างไวน์ข้าว จำนวน 5 ตัวอย่างที่ผลิตในปี ค .ศ. 2004 (Guyuelongshan, Hongqu, Shousheng, Foshou และ Nuomi) พบว่า ในตัวอย่างไวน์ข้าวทั้ง 5 ชนิดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก 1.01-3.12 µg/ml (1.01-3.12 mg/l) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกในผลิตภัณฑ์สาโทแดง ซึ่งมีปริมาณ สารประกอบฟีนอลลิกสูงถึง 231.05-330.02 mg/l ซึ่งในตัวอย่างไ วน์ข้าวทั้ง 5 ชนิดมีปริมาณสารประกอบ ฟีนอลลิกต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์สาโทแดงมาก อาจเกิดจากวัตถุดิบและกระบวนการผลิตไวน์ข้าว และสาโทแดง มีความแตกต่างกัน อาจส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกมีปริมาณแตกต่างกัน

เนื่องจากมีการเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ในกระบว นการผลิตสาโทแดง จึงต้องมีการวิเคราะห์ ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมด เพื่อตรวจสอบระดับความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมดใน ผลิตภัณฑ์สาโทแดง เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคด้วย ผลการทดสอบ พบว่า ผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีปริมาณ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมดต่ำกว่า 300 mg/l ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และได้มาตรฐานตรง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 3/2546

จากตารางที่ 4.3 สามารถสรุปได้ว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้รา *R. oryzae* เป็นสาโทแดงที่ มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ และสารปร ะกอบฟีนอลลิกสูงที่สุด เนื่องจากในเมล็ด ข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารดังกล่าวสูงกว่าข้าวเหนียวขาว (Ichikawa et al., 2001) ประกอบกับ รา *R. oryzae* สามารถย่อยเมล็ดข้าวเหนียวดำได้ดี ทำให้สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณสาร แกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ และสารประกอบฟีนอลลิกสูงที่สุด

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณสารสีแดง สีส้ม สีเหลือง และ Colour intensity ในสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว และข้าวเหนียวดำ ร่วมกับ รา *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 3090 และ *R. oryzae*

สาโทแดง		ปริมาณสารสี (unit)			Colour intensity $OD_{520}+OD_{620}+OD_{720}$
		สีแดง OD_{500}	สีส้ม OD_{470}	สีเหลือง OD_{400}	
ข้าวเหนียวขาว	*M. purpureus* TISTR 3002	0.033 ± 0.002^{4}	0.088 ± 0.013^{3}	$0.288\pm0.010^{4,5}$	0.170 ± 0.004^{5}
	M. purpureus TISTR 3385	0.057 ± 0.010^{3}	0.051 ± 0.002^{4}	$0.277\pm0.012^{5,6}$	0.235 ± 0.022^{3}
	M. purpureus TISTR 3541	0.034 ± 0.003^{4}	0.129 ± 0.001^{2}	0.260 ± 0.003^{6}	$0.173\pm0.006^{4,5}$
	M. purpureus TISTR 3090	0.035 ± 0.003^{4}	0.058 ± 0.009^{4}	0.265 ± 0.003^{6}	0.197 ± 0.007^{4}
	R. oryzae	0.031 ± 0.001^{4}	0.053 ± 0.002^{4}	0.241 ± 0.002^{7}	$0.179\pm0.005^{4,5}$
ข้าวเหนียวดำ	*M. purpureus* TISTR 3002	0.097 ± 0.003^{2}	0.123 ± 0.004^{2}	$0.299\pm0.004^{3,4}$	0.313 ± 0.016^{2}
	M. purpureus TISTR 3385	0.093 ± 0.003^{2}	0.122 ± 0.008^{2}	$0.316\pm0.009^{2,3}$	0.312 ± 0.010^{2}
	M. purpureus TISTR 3541	0.097 ± 0.006^{2}	0.134 ± 0.016^{2}	$0.288\pm0.010^{4,5}$	0.320 ± 0.016^{2}
	M. purpureus TISTR 3090	0.105 ± 0.014^{2}	0.091 ± 0.029^{3}	0.332 ± 0.031^{2}	0.313 ± 0.016^{2}
	R. oryzae	0.163 ± 0.042^{1}	0.191 ± 0.046^{1}	0.475 ± 0.013^{1}	0.357 ± 0.035^{1}

หมายเหตุ : ตัวเลขยกกำลัง หมายถึง ระดับของปริมาณสารสำคัญ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเลขยกกำลังหนึ่ง มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด

จากตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารสี (Pigment concentration) ในตัวอย่างสาโทแดงทำการวิเคราะห์ 3 สีได้แก่ สีแดง สีส้ม และสีเหลือง โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 470 และ 400 นาโนเมตรตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างสาโทแดงจากทั้งข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวดำร่วมกับราทุกสายพันธุ์มีปริมาณสารสีเหลืองมากที่สุด รองลงมาคือสารสีส้ม และสารสีแดงตามลำดับ ทำให้เราสามารถมองเห็นสาโทแดงเป็นสีเหลืองอมส้ม นั่นเอง และจากการทดสอบ ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณสารสี ทั้งสีแดง สีส้ม และสีเหลือง มากที่สุด โดยมีปริมาณสารสีแดง สีส้ม และสีเหลือง 0.163±0.042 0.191±0.046 และ 0.475±0.013 unit ตามลำดับทั้งนี้เนื่องมากจากข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารสีมากกว่าข้าวเหนียวขาว ประกอบกับรา *R. oryzae* มีประสิทธิภาพในการย่อยข้าวได้ดีกว่ารา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ สามารถสกัดเอาสารสีที่หุ้มอยู่ที่ผิวของเมล็ดข้าวเหนียวดำ (ซึ่งมีสีม่วง ถึงสีแดง) ทำให้สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณสารสีทั้งสีแดง สีส้ม และสีเหลือง สูงที่สุด ทำให้สาโทแดงมีสีเข้มกว่าสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้สภาะอื่น

สำหรับสารสีแดง พบว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 และ 3090 มีปริมาณสารสีแดงมากเป็นอันดับที่สอง โดยมีปริมาณสาร สีแดง 0.097±0.003 0.093±0.003 0.097±0.006 และ 0.105±0.014 unit ตามลำดับ

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขา วร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3385 มีปริมาณสารสีแดงมากเป็นอันดับที่สาม โดยมีปริมาณสารสีแดง 0.057±0.010 unit

และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 3541 3090 และ *R. oryzae* มีปริมาณสารสีแดงน้อยที่สุดเป็นอันดับสี่ โดยมีปริมาณสารสีแ ดง 0.033±0.002 0.034±0.003 0.035±0.003 และ 0.031±0.001 unit ตามลำดับ

สำหรับสารสีส้ม พบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3541 มีปริมาณสารสีส้มมากเป็นอันดับสอง โดยมีปริมาณสารสีส้ม 0.123±0.004 0.122±0.008 0.134±0.016 และ 0.129±0.001 unit ตามลำดับ

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3090 และ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณสารสีส้มมากเป็นอันดับสาม โดยมีปริมาณสารสีส้ม 0.091±0.029 และ 0.088±0.013 unit ตามลำดับ

และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3385 3090 และ *R. oryzae* มีปริมาณสีส้ม ต่ำที่สุด โดยมีปริมาณสารสีส้ม 0.051±0.002 0.058±0.009 และ 0.053±0.002 unit ตามลำดับ

และสำหรับสารสีเหลือง พบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3090 และ 3385 มีปริมาณสารสีเหลืองมากเป็นอันดับสอง โดยมีปริมาณสารสีเหลือง 0.332±0.031 และ 0.316±0.009 unit ตามลำดับ

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 และ 3385 มีปริมาณสารสีเหลืองมากเป็นอันดับสาม โดยมีปริมาณสารสีเหลือง 0.299±0.004 และ 0.316±0.009 unit ตามลำดับ

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 3541 และ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณสารสีเหลืองมากเป็นอันดับสี่ โดยมีปริมาณสารสีเหลือง 0.299±0.004 0.288±0.010 และ 0.288±0.010 unit ตามลำดับ

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3541 และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 และ 3385 มีปริมาณสารสีเหลืองมากเป็นอันดับห้า โดยมีปริมาณสารสีเหลือง 0.288±0.010 0.288±0.010 และ 0.277±0.012 unit ตามลำดับ

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3385 3541 และ 3090 มีปริมาณสารสีเหลืองมากเป็นอันดับหก โดยมีปริมาณสารสีเหลือง 0.277±0.012 0.260±0.003 และ 0.265±0.003 unit ตามลำดับ

และ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *R. oryzae* มีปริมาณสารสีเหลืองต่ำที่สุดเป็นอันดับเจ็ด โดยมีปริมาณสารสีเหลือง 0.241±0.002 unit ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ปริมาณสารสี ทั้งสีแดง สีส้ม และสีเหลือง สูงกว่าข้าวเหนียวขาว ประกอบกับ เมื่อใช้ *R. oryzae* ที่สามารถย่อยเมล็ดข้าวเหนียวดำได้ดี ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่มีสีแดงเข้มที่สุด

จากรายงานการวิจัยของ Pattanagul et al. (2008) ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสีแดง สีส้ม และสีเหลืองในข้าวแดง (adlay angkak) ที่ผลิตจากรา *Monascus* sp. 5 สายพันธุ์ผลการทดลองพบว่า ข้าวแดงจากรา *M. ruber*

TISTR 3006 มีปริมาณสารสีแดงสูงที่สุด (13.45±0.30 unit) และข้าวแดงที่ผลิตจากรา *M. purpureus* ATCC 16365 มีปริมาณสารสีส้มและสีเหลือง สูงที่สุด (10.82±1.62 และ 9.56±1.34 unit ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารสีในสาโทแดง ซึ่งพบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจาก จ .เพชรบูรณ์ ร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* มีปริมาณสารสีแดง สีส้ม และสีเหลืองสูงที่สุด คือ 0.163±0.042 0.191±0.046 และ 0.475±0.013 unit ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีปริมาณสารสีต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารสีในข้าวแดง ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการผลิตสาโทมีการเติมน้ำเชื่อมในระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้ปริมาณสารสีถูกเจือจางไป

จากตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความเข้มของสี (Colour intensity) ในตัวอย่างสาโทแดง พบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *R. oryzae* มีความเข้มสีมากที่สุด โดยมีความเข้มสี 0.357±0.035 unit

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับร าสายพันธุ์ *R. oryzae* 3002 3385 3541 และ 3090 มีความเข้มสีเป็นอันดับที่สอง โดยมีความเข้มสี 0.313±0.016 0.312±0.010 0.320±0.016 และ 0.313±0.016 unit ตามลำดับ

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3385 มีความเข้มสีเป็นอันดับที่สาม โดยมีความเข้มสี 0.235±0.022 unit

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3541 3090 และ *R. oryzae* ความเข้มสีเป็นอันดับที่สี่ โดยมีความเข้มสี 0.173±0.006 0.197±0.007 และ 0.179±0.005 unit ตามลำดับ

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 3541 และ *R. oryzae* มีความเข้มสีต่ำที่สุด โดยมีความเข้มสี 0.170±0.004 0.173±0.006 และ 0.179±0.005 unit ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำมีความเข้มสีมากกว่าสาโทแดงจากข้าวเหนียวขาว ทั้งนี้เพรา ะเมล็ดข้าวเหนียวดำมีสารสีเคลือบอยู่นั่นเอง เมื่อเมล็ดข้าวถูกย่อยด้วยรา ทำให้สารสีถูกย่อยและละลายออกมาอยู่ในสาโทแดง ซึ่งจะทำให้สาโทแดงที่ได้มีสีแดง แตกต่างจากสาโทแดงตามท้องตลาดทั่วไปที่มีสีออกขาวใส ถึงสีเหลืองใส จากผลการทดลอง ควรเลือกใช้ข้าวเหนียวดำ เป็นวัต ถุดิบ เนื่องจากข้าวเหนียวดำจะทำให้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีปริมาณสารสี และสารสำคัญในปริมาณสูง เป็นประ โยชน์ต่อผู้บริโภค

จากรายงานการวิจัยของ Pérez-Lamela et al. (2007) ทำการวัด colour intensity ในไวน์แดง 3 ชนิด พบว่าไวน์แดงมี colour intensity 4.2-32 unit ในขณะที่ ผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีปริมาณ colour intensity เพียง 0.170-0.357 unit ซึ่งถือว่าต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจาก ไวน์แดงผลิตจากองุ่นแดง ซึ่งจะทำให้ไวน์มีสีแดงเข้ม ในขณะที่สาโทแดงผลิตจากข้าวเหนียวดำ ซึ่งราไม่สามารถย่อยเมล็ดข้าวได้ดีเท่าที่ควร ประกอบกับในขั้นตอนการผ่าน้ำ ทำให้ความเข้มสีถูกเจือจางลงไปด้วย ดังนั้นผลิตภัณฑ์สาโทแดงจึงมีปริมาณ colour intensity ต่ำ เมื่อเทียบกับไวน์แดง

เนื่องจากรา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ยังไม่สามารถย่อยข้าวเหนียวดำได้ดีเท่ากับรา *R. oryzae* แต่ *M. purpureus* เป็นราที่สามารถผ ลิตสารเมแทบอไลต์ ที่น่าสนใจและมีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น เมวิโนลิน (Mevinolin) และ ซิตรินิน (Citrinin) ซึ่งสารเหล่านี้จะช่วยเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์สาโทแดงได้ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หนึ่งของงานวิจัย แต่เนื่องจากทั้งเมวิโนลิน และซิตรินิน เป็นสารที่มีขั้นตอนและ วิธีการวิเคราะห์ที่ยุ่งยาก และซับซ้อน ไม่สามารถวิ เคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์สาโทแดง ที่ผลิตได้ เนื่องจากมีปริมาณน้อยมาก แต่งานวิจัยนี้ต้องการคัดเลือกราแดง *M. purpureus* ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จึงใช้วิธีทดสอบความสามารถในการย่อย

แป้งของรา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์แทน เพื่อเป็นแนวทางในการคัดเลือกราแดงไปใช้ในการทดลองต่อไป โดยการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยแป้งบนจานอาหารเลี้ยงของรา 5 สายพันธุ์

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการย่อยแป้งของรา 5 สายพันธุ์

เมื่อทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใสที่เกิดขึ้นบนอาหาร glutinous rice starch agar พบว่ารา *R. oryzae* สามารถย่อยแป้งใน glutinous rice starch agar ได้มากที่สุด โดยสามารถวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใสได้ 8.53 เซนติเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 2 วัน

ในขณะที่ราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 3541 3385 และ 3090 สามารถย่อยแป้งใน glutinous rice starch agar ได้ใกล้เคียงกัน ตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 4.18 โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใสที่เกิดขึ้นบนอาหาร glutinous rice starch agar ได้ 5.50±0.14 5.35±0.35 5.43±0.04 และ 5.25±0.21 เซนติเมตรตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ภาพที่ 4.18 แสดงตัวอย่างบริเวณโซนใสที่เกิดจากการย่อยแป้งใน glutinous rice starch agar ของรา *M. purpureus*

ตารางที่ 4.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใสบน glutinous rice starch agar ของ *M. purpureus* TISTR 3002 3385 3541 3090 และ *R.oryzae*

รา	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโซนใส (cm.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี (cm.)	อัตราส่วนโซนใส/โคโลนี (cm.)	เวลา (วัน)
M. purpureus TISTR 3002	5.50 ± 0.14	4.1 ± 0.04	1.33 ± 0.02	7
M. purpureus TISTR 3385	5.35 ± 0.35	4.1 ± 0.01	1.29 ± 0.08	7
M. purpureus TISTR 3541	5.43 ± 0.04	4.3 ± 0.08	1.26 ± 0.03	7
M. purpureus TISTR 3090	5.25 ± 0.21	4.1 ± 0.04	1.29 ± 0.06	7
R. oryzae	-	8.53 ± 0.11	-	2

หมายเหตุ ; ไม่สามารถระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของ *R. oryzae* ได้ เนื่องจากราสามารถเจริญได้ดีบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ glutinous rice starch agar เส้นใยของเชื้อราจึงเจริญเต็มผิวหน้าจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

จากตารางที่ 4.5 สรุปได้ว่ารา *R. oryzae* สามารถย่อยแป้งใน glutinous rice starch agar ได้ดีที่สุด ในขณะที่ *M. purpureus* TISTR 3002 3541 3385 และ 3090 และสามารถย่อยแป้งใน glutinous rice starch agar ได้ใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Dung et al. (2006) ซึ่งทำการคัดแยกราจากลูกแป้ง 6 ชนิด จากประเทศเวียดนาม (6 Vietnamese traditional rice wine fermentation starters) ได้รา 53 ไอโซเลท แล้วนำมาทดสอบประสิทธิภาพการย่อยแป้ งของราทั้ง 53 ไอโซเลท พบว่าสามารถจำแนกราทั้ง 53 ไอโซเลทออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่ 1 สามารถย่อยแป้งใน glutinous rice starch agar ได้ดีที่สุดคือสามารถวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใสได้ 7.1-9.0 เซนติเมตร (8 ไอโซเลท) กลุ่มที่ 2 สามารถย่อยแป้งได้รองลงมาโด ยสามารถวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใสได้ 5.0-6.3 เซนติเมตร (21 ไอโซเลท) และกลุ่มที่ 3 สามารถย่อยแป้งใน glutinous rice starch agar ได้ต่ำที่สุดโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใสได้ประมาณ 2.1-4.7 เซนติเมตร (24 ไอโซเลท)

โดยรา *R. oryzae* สามารถย่อยแป้งใน glutinous rice starch agar ได้เทียบเท่ากับกลุ่มที่ 1 ในขณะที่ *M. purpureus* TISTR 3002 3541 3385 และ 3090 สามารถย่อยแป้งใน glutinous rice starch agar ได้เทียบเท่ากับกลุ่มที่ 2 แต่ใช้ระยะเวลามากกว่า ผลการทดลองสรุปได้ว่า *R. oryzae* สามารถย่อยแป้งใน glutinous rice starch agar ได้ดีที่สุด ในขณะที่ *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ย่อยแป้งใน glutinous rice starch agar ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยที่ *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถย่อยแป้งได้ดีรองลงมาจาก *R. oryzae* และจากผลการทดลองที่ 4.2 ซึ่งพบว่า การผลิตสาโทแดงโดยใช้ข้าวเหนียวดำ ร่วมกับ *M. purpureus* TISTR 3002 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่มีปริมาณสารสำคัญ (แกมมาโอไรซานอล และสารแอนติออกซิแดนท์) มากเป็นอันดับสอง รองจากการใช้ *R. oryzae* ซึ่งถือว่าสูงกว่ารา *M. purpureus* อีก 3 สายพันธุ์ ในขณะที่ปริมาณสารสีในสาโท แดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่แตกต่างกันมากนัก จึงเลือกรา *M. purpureus* TISTR 3002 ในการทดลองขั้นต่อไปโดยเปรียบเทียบกับการใช้รา *R. oryzae*

4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบในข้าวเหนียว เพื่อคัดเลือกชนิดที่เหมาะสมในการผลิตสาโทแดง

เนื่องจากข้าวเหนียวดำมีผลต่อปริมาณสารสำคัญในผลิตภัณฑ์สาโทแดง การทดลองนี้จึงทดสอบหาองค์ประกอบที่สำคัญในข้าวเหนียวขาว 1 สายพันธุ์ได้แก่ ข้าวเหนียวขาว กข .6 และข้าวเหนียวดำที่ได้จากแหล่งต่างๆ จำนวน 4 แหล่ง ได้แก่ ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข . ข้าวเหนียวดำจาก จ . นครราชสีมา จ. เชียงราย และ จ. ร้อยเอ็ด โดยลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวแต่ละชนิดแสดงในรูปที่ 4.19 โดยวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล แอนโธไซยานิน สารประกอบฟีนอลลิก สารแอนติออกซิแดนท์ และทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6

ภาพที่ 4.19 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข.6 (1) และเมล็ดข้าวเหนียวดำจาก 4 แหล่งปลูก ได้แก่ ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข. (2) ข้าวเหนียวดำจาก จ.นครราชสีมา (3) ข้าวเหนียวดำจาก จ. เชียงราย (4) และข้าวเหนียวดำจาก จ. ร้อยเอ็ด (5)

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ สารประกอบฟีนอลลิก และสารแอนโธไซยานิน ในข้าวเหนียวจาก 5 แหล่งปลูก

ข้าวเหนียว	แกมมาโอไรซานอล µg/ml	แอนติออกซิแดนท์ mg/ml	สารประกอบฟีนอลลิก mg/ml	แอนโธไซยานิน mg/l
ข้าวเหนียวขาว กข.6	10.93±0.12^{4}	10.04±0.35^{4}	3.30±2.22^{5}	1.78±1.59^{4}
ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข.	27.44±2.92^{1}	61.94±3.46^{1}	420.18±4.80^{1}	72.22±2.80^{1}
ข้าวเหนียวดำจาก จ.นครราชสีมา	18.55±1.12^{3}	54.83±4.02^{2}	318.37±5.79^{3}	31.09±1.58^{2}
ข้าวเหนียวดำจาก จ.เชียงราย	18.90±1.04^{3}	51.12±0.51^{3}	291.03±5.45^{4}	26.60±1.60^{3}
ข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ด	22.65±0.28^{2}	57.29±0.95^{2}	355.69±4.93^{2}	74.14±4.02^{1}

หมายเหตุ : ตัวเลขยกกำลัง หมายถึง ระดับของปริมาณสารสำคัญ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเลขยกกำลังหนึ่ง มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด

จากตารางที่ 4.6 พบว่าข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลสูงกว่าข้าวเหนียวขาว โดยที่ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข. มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล สูงที่สุด โดยมีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล 27.44±2.92 µg/ml

รองลงมา คือข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ด มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล 22.65±0.28 µg/ml

อันดับสาม ได้แก่ ข้าวเหนียวดำจาก จ.นครราชสีมา และ จ.เชียงราย โดยมีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล 18.55±1.12 และ 18.90±1.04 µg/ml ตามลำดับ

ในขณะที่ข้าวเหนียวขาวมีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลต่ำที่สุด โดยมีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลเพียง 10.93±0.12 µg/ml

สารสกัดที่ได้จากการสกัดสารแอนติออกซิแดนท์ สารประกอบฟีนอลลิก แ ละสารแอนโธไซยานิน มีลักษณะเป็นสารละลายสีใส (ข้าวเหนียวขาว) และสีแดง (ข้าวเหนียวดำ) โดยสารสกัดจากข้าวเหนียวดำต่างชนิดกันจะมีสีเข้มแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.20

เมื่อพิจารณาปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ พบว่า ข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์สูงกว่าข้าวเหนียวขาว โดยที่ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข . มีสารแอนติออกซิแดนท์สูงที่สุด โดยมีสารแอนติออกซิแดนท์ 61.94±3.46 µg/ml

รองลงมาคือข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ด และข้าวเหนียวดำจาก จ .นครราชสีมา มีสารแอนติออกซิแดนท์ 57.29±0.95 และ 54.83±4.02 µg/ml

อันดับสาม ได้แก่ ข้าวเหนียวดำจาก จ.เชียงราย โดยมีสารแอนติออกซิแดนท์ 51.12±0.51 µg/ml ในขณะที่ข้าวเหนียวขาวมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์เพียง 10.04 µg/ml เท่านั้น

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก พบว่า ข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกสูงกว่าข้าวเหนียวขาว โดยข้าวเหนี ยวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข . มีสารประกอบฟีนอลลิกสูงที่สุด โดยมีสารประกอบฟีนอลลิก 420.18±4.80 µg/ml

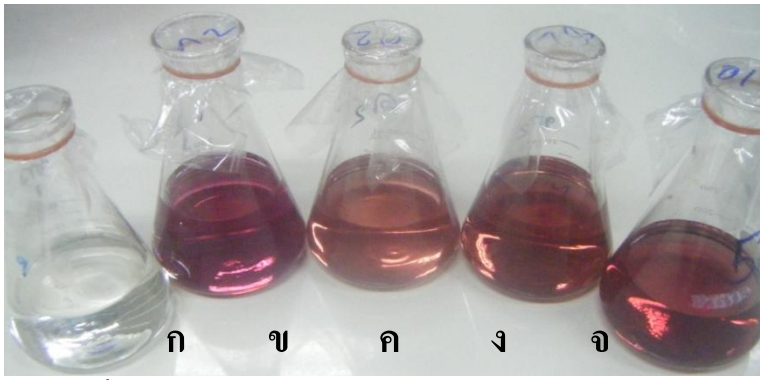
รองลงมาคือข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ด มีสารประกอบฟีนอลลิก 355.69±4.93 µg/ml

อันดับสาม ได้แก่ ข้าวเหนียวดำจาก จ.นครราชสีมา มีสารประกอบฟีนอลลิก 318.37±5.79 µg/ml และข้าวเหนียวดำจาก จ .เชียงราย มีสารประกอบฟีนอลลิก 291 .03±5.45 µg/ml ในขณะที่ข้าวเหนียวขาวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกเพียง 3.30±2.22 µg/ml เท่านั้น

และเมื่อพิจารณาปริมาณสารแอนโธไซยานิน ก็พบว่า ข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารแอนโธไซยานินสูงกว่าข้าวเหนียวขาวเช่นกัน โ ดยข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข . และข้าวเหนียวดำจาก จ .ร้อยเอ็ด มีปริมาณสารแอนโธไซยานินมากที่สุด โดยมีสารแอนโธไซยานิน 72.22±22 และ 74.14±4.02 mg/l

รองลงมาคือข้าวเหนียวดำจาก จ.นครราชสีมา มีสารแอนโธไซยานิน 31.09±1.58 mg/l

อันดับสาม ได้แก่ ข้าวเหนียวดำจา ก จ.เชียงราย มีสารแอนโธไซยานิน 26.60±1.60 mg/l และข้าวเหนียวขาวมีปริมาณสารแอนโธไซยานินต่ำที่สุด โดยมีปริมาณสารแอนโธไซยานินเพียง 1.78±1.59 mg/l



ภาพที่ 4.20 แสดงสารสกัด ที่ได้จากการสกัดสารแอนโธไซยานิน สารแอนติออกซิแดนท์ และสารประกอบฟีนอลลิก ในข้าวเหนียวขาว กข.6 (ก) และข้าวเหนียวดำจาก 4 แหล่งปลูก ได้แก่ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข. (ข) ข้าวเหนียวดำจากจ.นครราชสีมา (ค) ข้าวเหนียวดำจาก จ. เชียงราย (ง) และข้าวเหนียวดำจาก จ. ร้อยเอ็ด (จ)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในข้าวเหนียวขาว 1 สายพันธุ์ และข้าวเหนียวดำ 4 สายพันธุ์ พบว่า ปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลในสารสกัด (ตารางที่ 4.6) มีปริมาณต่ำกว่าปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลในผลิตภัณฑ์สาโทแดง (ตารางที่ 4.3) อาจเนื่องมาจาก การใช้ข้าวเหนียวจากแหล่งที่มาต่างกัน โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสาโทแดงเป็นข้ าวเหนียวขาว กข . 6 และ ข้าวเหนียวดำจาก จ .เพชรบูรณ์ ในขณะที่ การสกัดสารแกมมาโอไรซานอลใช้ข้าวเหนียวขาว กข . 6 ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข . ข้าวเหนียวดำจาก จ .นครราชสีมา จ.เชียงราย และ จ. ร้อยเอ็ด ซึ่งข้าวเหนียวที่แตกต่างกันนี้ ส่งผลต่อปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลได้ หรือสถานะของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง มีความแตกต่างกันก็ส่งผลต่อปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลเช่นเดียวกัน โดยการผลิตสาโทแดงใช้ข้าวเหนียวนึ่งเป็นวัตถุดิบ ในขณะที่การสกัดสารแกมมาโอไรซานอลใช้เมล็ดข้าวสารบดละเอียด และวิธีการสกัดไม่สามารถสกัดสารต่างๆได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดผ่านกระบวนการผลิตสาโท

สำหรับสารแอนติออกซิแดนท์และสารประกอบฟีนอลลิก พบว่า ในสารสกัดมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์และสารประกอบฟีนอลลิกสูงกว่าในผลิตภัณฑ์สาโทแดง เป็นเพราะกระบวนการผลิตสาโทแดง ไม่สามารถสกัดสารแอนติออกซิแดนท์และสารประกอบฟีนอลลิก ออกมาจากเมล็ดข้าวได้หมด จึงทำให้ปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์และสารประกอบฟีนอลลิกในผลิตภัณฑ์สาโทต่ำกว่าในสารสกัด

เมื่อพิจารณาปริมาณสารแอนโธไซยานิน พบว่า ในผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีปริมาณสารแอนโธไซยานินต่ำมาก จนไม่สามารถวัดได้ด้วยวิธี พีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล (pH-Differential) ด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ได้ สำหรับการสกัดสารแอนโธไซยานินจากเมล็ดข้าวเหนียวขาว 1 สายพันธุ์ และข้าวเหนียวดำ 4 สายพันธุ์ พบว่า ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข . และข้าวเหนียวดำจาก จ . ร้อยเอ็ด มีปริมาณสารแอนโธไซยานินสูงที่สุด คือ 72.22±2.80 และ 74.14±4.02 mg/l (7.22 และ 7.41 mg/g) เมื่อเปรียบเทียบการงานวิจัยของ Kong and Lee (2010) ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโธไซยานินในเมล็ดข้าวเหนียวดำ 2 ชนิด จากประเทศเกาหลี ได้แก่ Heugjinjubyeo และ Heugkwangbyeo พบว่า ข้าวเหนียวดำทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณสาร แอนโธไซยานิน 10.7±0.03 และ 7.07±0.41 mg/g ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีปริมาณสารแอนโธไซยานินใกล้เคียงกัน

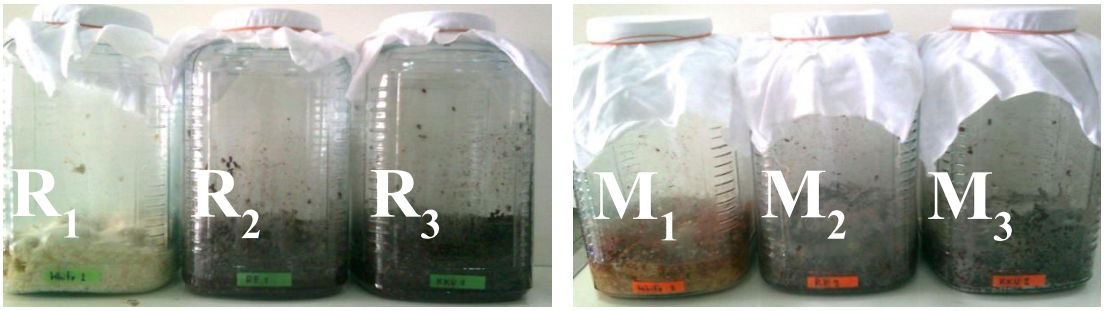
จากการทดลอง วิเคราะห์องค์ประกอบในข้าวเหนียวขาว 1 สายพันธุ์ และข้าวเหนียวดำ 4 สายพันธุ์ เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมในการผลิตสาโทแด ง พบว่า ข้าวเหนียวดำมีปริ มาณสารสำคัญทั้ง สารแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ สารประกอบฟีนอลลิก และสารแอนโธไซยานินสูงกว่าข้าวเหนียวขาว โดยข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข. และข้าวเหนียวดำจาก จ .ร้อยเอ็ด มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุดทั้งสารแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ สารประกอบฟีนอลลิก และสารแอนโธไซยานิน รองลงมาคือข้าวเหนียวดำจาก จ. นครราชสีมา และ ข้าวเหนียวดำจาก จ. เชียงราย จากการทดลองนี้ ได้เลือกสายพันธุ์ข้าวเหนียวที่เหมาะสมที่สุด 2 สายพันธุ์คือข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข . และข้าวเหนียวดำจาก จ .ร้อยเอ็ด ไปทำการทดลองผลิตสาโทแดงแดงต่อไป

4.5 การผลิตสาโทแดงโดยใช้ข้าวเหนียวดำและราแดงสายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

จากผลการทดลองที่ 4.3 และ 4.4 สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ราที่มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งได้ดีที่สุด ได้แก่ *R. oryzae* สำหรับราแดงพบว่า *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถย่อยแป้งได้ ดีที่สุด และสายพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีสารสำคัญสูงที่สุดสองอันดับแรก ได้แก่ ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข . และ ข้าวเหนียวดำ

จาก จ.ร้อยเอ็ด โดยทำการทดลองโดยใช้การทดลองการผลิตสาโทแดงข้าวเหนียวขาว เป็นชุดควบคุม และใช้ยีสต์ 1 สายพันธุ์คือ *S. bayanas* EC1118 ในกระบวนการผลิต

ขั้นตอนการย่อยข้าวเหนียว 3 ชนิด (ข้าวเหนียวขาว กข .6 ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข . และข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ด) โดยใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* เมื่อวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o}Brix) ของน้ำต้อย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.21 แสดงลักษณะของข้าวเหนียวเมื่อถูกย่อยด้วยรา *R. oryzae* และ *M. purpureus* TISTR 3002 โดย R_1 R_2 และ R_3 คือข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข.6 ข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ด และข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข. ที่ถูกย่อยด้วยรา *R. oryzae* และ M_1 M_2 และ M_3 คือข้าวเหนียวขาว กข.6 ข้าวเหนียวดำ จาก จ.ร้อยเอ็ด และข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข. ที่ถูกย่อยด้วยรา *M. purpureus* TISTR 3002

จากภาพที่ 4.21 พบว่า เมื่อเลี้ยงรา *R. oryzae* บนข้าวเหนียวขาว จะเห็นเส้นใยสีขาว และสปอร์สีดำเจริญคลุมเต็มเมล็ดข้าว และมีปริมาณน้ำต้อยมากที่สุด ในขณะที่การเลี้ยงรา *R. oryzae* บนข้าวเหนียวดำจะมองเห็นเพียงเส้นใยสีขาวเจริญเจริญบนเมล็ดข้าวเท่านั้น และสังเกตเห็นน้ำต้อยเยิ้มออกมามาก

ในขณะที่การเลี้ยงรา *M. purpureus* TISTR 3002 บนเมล็ดข้าวเหนียวขาว พบว่า ที่บริเวณผิวหน้า เมล็ดข้าวเหนียวขาวเปลี่ยนเป็นสีส้ม และสีแดง และมีน้ำต้อยเยิ้มออกมาเล็กน้อย และการเลี้ยงรา *M. purpureus* TISTR 3002 บนเมล็ดข้าวเหนียวดำ พบว่ามีเพียงเส้นใยสีขาวเจริญบนเมล็ดข้าวเท่านั้น และน้ำต้อยมีปริมาณน้อยมาก ทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำต้อย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำต้อย ที่ผลิตได้จากข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวดำ โดยใช้รา 2 สายพันธุ์ได้แก่ *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae*

ราข้าวเหนียว	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	
	M. purpureus TISTR 3002	*R. oryzae*
ข้าวเหนียวขาว กข.6	31.50±0.14[2]	35.80±0.81[1]
ข้าวเหนียวดำจาก คณะเกษตรศาสตร์ มข.	25.60±0.16[5]	30.43±0.30[3]
ข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ด	28.40±0.16[4]	30.15±0.19[3]

หมายเหตุ : ตัวเลขยกกำลัง หมายถึง ระดับของปริมาณสารสำคัญ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเลขยกกำลังหนึ่ง มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ทั้งรา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวขาวได้ดีกว่าข้าวเหนียวดำ โดย *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวขาวแล้วทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด คือ 35.80±0.81 °Brix และ *M. purpureus* TISTR 3002 ย่อยข้าวเหนียวขาวแล้วมีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 31.50±0.14 °Brix ซึ่งมากเป็นอันดับสอง

ในส่วนการย่อยข้าวเหนียวดำ *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวดำได้ดีกว่า *M. purpureus* TISTR 3002 โดย *R. oryzae* ย่อยข้าวเหนียวดำจาก คณะเกษตรศาสตร์ มข . และ จ .ร้อยเอ็ด ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 30.43±0.30 และ 30.15±0.19 °Brix ตามลำดับ ซึ่งมากเป็นอันดับสาม

และ *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถย่อยข้าวเหนียวดำจาก จ .ร้อยเอ็ด และข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข. ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพียง 28.40±0.16 และ 25.60±0.16 °Brix ตามลำดับ ซึ่งเป็นอันดับที่สี่และห้า ตามลำดับ

เมื่อกระบวนการหมักสิ้นสุดลง ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในผลิตภัณฑ์สาโท แดงเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.2 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณสารแกมมาโอไรซาอนล สารแอนติออกซิแดนท์ และสารประกอบฟีนอลลิก ในสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว และข้าวเหนียวดำ ร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae*

สาโทแดง		แกมมาโอไรซานอล µg/ml	แอนติออกซิแดนท์ mg/l	สารประกอบฟีนอลลิก mg/l
ข้าวเหนียวขาว	*M. purpureus* TISTR 3002	202.66±3.26^{6}	27.38±2.83^{6}	353.37±5.20^{5}
	R. oryzae	293.93±9.57^{5}	17.225±1.75^{5}	370.54±8.59^{4}
ข้าวเหนียวดำ คณเกษตรศาสตร์	*M. purpureus*TISTR 3002	437.73±6.44^{3}	34.30±10.25^{4}	415.87±4.34^{3}
	R. oryzae	540.00±9.62^{1}	55.00±0.44^{1}	463.30±7.57^{2}
ข้าวเหนียวดำ จ. ร้อยเอ็ด	*M. purpureus* TISTR 3002	314.64±9.06^{4}	37.26±0.54^{3}	422.99±9.19^{3}
	R. oryzae	460.68±6.14^{2}	52.50±0.51^{2}	499.51±1.59^{1}

หมายเหตุ : ตัวเลขยกกำลัง หมายถึง ระดับของปริมาณสารสำคัญ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเลขยกกำลังหนึ่ง มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด

จากตารางที่ 4.8 การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี ของสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว และข้าวเหนียวดำร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* โดยทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ จากคณะเกษตรศาสตร์ มข .โดยใช้ราสายพันธุ์ *R.* oryzae มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล สูงที่สุด คือ 540.00±9.62 µg/ml

รองลงมาคือสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ด ร่วมกับราสายพันธุ์ *R.* oryzae โดยมีปริมาณแกมมาโอไรซานอล 460.68±6.14 µg/ml ซึ่งมีปริมาณมากเป็นอันดับสอง

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียว จากคณะเกษตรศาสตร์ มข . และข้าวเหนียวดำจาก จ . ร้อยเอ็ด ร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณแกมมาโอไรซานอล 437.73±6.44 และ 314.64±9.06 µg/ml ตามลำดับ

และ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณแกมมาโอไรซานอล น้อยที่สุดเป็นอันดับที่หก โดยมีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลเพียง 202.66±3.26 µg/ml

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจาก คณะเกษตรศาสตร์ มข. และ จ.ร้อยเอ็ด มีปริมาณแกมมาโอไรซานอล มากกว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว และ สาโทแดงที่ผลิตจาก *R. oryzae* มีปริมาณแกมมาโอไรซานอล มากกว่าสาโทแดงที่ผลิตจาก *M. purpureus* TISTR 3002 ทั้งนี้เนื่องจาก ข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล มากกว่าข้าวเหนียวขาว ประกอบกับ *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวได้ดีกว่า *M. purpureus* ทำให้สามารถสกัดเอาสารแกมมาโอไรซานอล จากเมล็ดข้าวออกมาได้ดีกว่า

เมื่อพิจารณาปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ในผลิตภัณฑ์สาโทแดง พบว่า สาโทแดงที่ผลิตโดยใช้ ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษ ตรศาสตร์ มข . ร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์สูงที่สุด คือ 55.00±0.44 mg/l

รองลงมา คือสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ดร่วมกับราสายพันธุ์ *R. oryzae* โดยมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ 52.50±0.51 mg/l

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจากคณะเ กษตรศาสตร์ มข . และ จ .ร้อยเอ็ด ร่วมกับ ราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ 34.30±10.25 และ 37.26±0.54 mg/l ตามลำดับ

และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ร่วมกับรา *R. oryzae* และ *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ต่ำที่สุด โดยมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ 17.22±1.75 และ 27.38±2.83 mg/l ตามลำดับ

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข. และ จ.ร้อยเอ็ด มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์สูงกว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว ทั้งนี้เพราะข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์มากกว่าข้าวเหนียวขาว และรา *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวได้ดี ทำให้สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์สูง ในขณะที่สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ต่ำที่สุด

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก พบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ จ .ร้อยเอ็ด ร่วมกับราสายพันธุ์ *R. oryzae* มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกสูงที่สุด โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก 499.51±1.59 mg/l

รองลงมา คือ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสต ร์ มข. ร่วมกับราสายพันธุ์ *R. oryzae* มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก 463.30±7.57 mg/l

อันดับที่สาม ได้แก่ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข . และ จ.ร้อยเอ็ด ร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก 415.87±4.34 และ 422.99±9.19 mg/l ตามลำดับ

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกน้อยที่สุดคือ 353.37±5.20 และ 370.54±8.59 mg/l ตามลำดับ

จากผลการทดลอง พบว่า ชนิดของข้าวเหนียวและสายพันธุ์ ราที่ใช้ในกระบว นการผลิตสาโท แดงมีผลต่อปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ และสารประกอบฟีนอลลิกในผลิตภัณฑ์สาโทแดง โดยสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวดำจากคณะเกษตรศาสตร์ มข . และข้าวเหนียวดำจาก จ .ร้อยเอ็ด มีปริมาณสารสำคัญมากกว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว กข .6 และสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้รา *R. oryzae* มีปริมาณสารสำคัญมากกว่า *M. purpureus* TISTR 3002 ทั้งนี้เนื่องจากข้าวเหนียวดำมีสารสำคัญเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าข้าวเหนียวขาว และประสิทธิภาพการย่อยแป้งของรา *R. oryzae* สามารถย่อยแป้งได้ดีกว่า *M. purpureus* TISTR 3002

ส่วนปริมาณซั ลเฟอร์ไดออกไซด์อิสระ (Free SO_2) มีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมด (Total SO_2) ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ตรงตามเกณฑ์สุราแช่ของกรมสรรพสามิต และคุณลักษณะทางเคมีของสาโทแดงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช . 3/2546 ที่กำหนดให้มี ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมดในสาโทแดงได้ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในตารางที่ 4.3 และ การผลิตสาโทแดงโดยใช้ข้าวเหนียวดำและราแดงสายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ (ตารางที่ 4.8) พบว่า ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่ ผลิตจากข้าวเหนียวดำ (ข้าวเหนียวดำจาก

จ.ร้อยเอ็ด) และราสายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ (ราแดง *M. purpureus* TISTR 3002 และรา *R. oryzae*) มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ และสารประกอบฟินอลลิกสูงกว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจาก จ.เพชรบูรณ์ร่วมกับราแดง 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae* เนื่องจากทำการคัดเลือกข้าวเหนียวดำที่มีปริมาณสารสำคัญในปริมาณสูง ประกอบกับการคัดเลือกราที่มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งมาใช้ในกระบวนการผลิตสาโทแดง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ และสารประกอบฟินอลลิกในปริมาณสูง

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณ สารสีแดง สีส้ม สีเหลือง และ Colour intensity ในสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว และข้าวเหนียวดำ ร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae*

ตัวอย่างสาโทแดง		ปริมาณสารสี (unit)			Colour intensity
		สีแดง OD_{500}	สีส้ม OD_{470}	สีเหลือง OD_{400}	$OD_{520}+OD_{620}+OD_{720}$
ข้าวเหนียวขาว	*M. purpureus* TISTR 3002	0.025 ± 0.003^{3}	0.042 ± 0.003^{4}	0.145 ± 0.006^{4}	0.104 ± 0.006^{4}
	R. oryzae	0.027 ± 0.002^{3}	0.041 ± 0.003^{4}	0.129 ± 0.002^{4}	0.100 ± 0.004^{4}
ข้าวเหนียวดำ คณะเกษตรศาสตร์	*M. purpureus*TISTR 3002	0.125 ± 0.001^{2}	0.149 ± 0.013^{3}	0.321 ± 0.018^{3}	0.337 ± 0.006^{3}
	R. oryzae	0.226 ± 0.015^{1}	0.325 ± 0.020^{1}	0.926 ± 0.049^{1}	0.861 ± 0.051^{1}
ข้าวเหนียวดำ จ. ร้อยเอ็ด	*M. purpureus* TISTR 3002	0.124 ± 0.002^{2}	0.143 ± 0.003^{3}	0.319 ± 0.006^{3}	0.341 ± 0.007^{3}
	R. oryzae	0.126 ± 0.009^{2}	0.164 ± 0.005^{2}	0.441 ± 0.013^{2}	0.410 ± 0.010^{2}

หมายเหตุ : ตัวเลขยกกำลัง หมายถึง ระดับของปริมาณสารสำคัญ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเลขยกกำลังหนึ่ง มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด

จากตารางที่ 4.9 พบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ คณะเกษตรศาสตร์ มข . ร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณสารสีแดง สีส้ม สีเหลือง และ colour intensity สูงที่สุด โดยมีปริมาณสารสีแดง สีส้ม สีเหลือง และ colour intensity เท่ากับ 0.226±0.015 0.325±0.020 0.926±0.049 และ 0.861±0.051 unit ตามลำดับ

รองลงมา ได้แก่ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจาก จ. ร้อยเอ็ด ร่วมกับรา *R. oryzae* โดยมีปริมาณสารสีแดงสีส้ม สีเหลือง และ colour intensity เท่ากับ 0.126±0.009 0.164±0.005 0.441±0.013 และ 0.410±0.010 unit ตามลำดับ

ในขณะที่สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ จากคณะเกษตรศาสตร์ มข . ร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณสารสีแดง สีส้ม สีเหลือง และ colour intensity เท่ากับ 0.125±0.001 0.149±0.013 0.321±0.018 และ 0.337±0.006 unit ตามลำดับ

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจาก จ . ร้อยเอ็ด ร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณสารสีแดง สีส้ม สีเหลือง และ color intensity เท่ากับ 0.124±0.002 0.143±0.003 0.319±0.006 และ 0.341±0.007 unit ตามลำดับ

และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับรา *R. oryzae* และ *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณสารสีและ colour intensity ต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.10

เนื่องจากเมล็ดข้าวเหนียวดำมีสารสีเคลือบอยู่ในปริมาณมาก ประกอบกับรา *R. oryzae* มีประสิทธิภาพในการย่อยข้าวเหนียวดำได้ดีกว่า *M. purpureus* TISTR 3002 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่มีปริมา ณสารสี และความเข้มสีที่สูง ในขณะที่สาโทแดงที่ผลิต จากข้าวเหนียวขาว ร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* มีปริมาณสารสี และ colour intensity น้อยที่สุด ทั้ งนี้เนื่องจากเมล็ดข้าวเหนียวขาว มีสารสีเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณต่ำนั่นเอง

จากผลการทดลอง สามารถกล่าวได้ว่า ชนิดของข้าวเหนียว และสายพันธุ์ราที่ใช้ในการผลิตสาโทแดงมีผลต่อปริมาณสารสำคัญในสาโทแดง โดยสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำยังคงมีปริมาณสารสำคัญ และสารสีมากกว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว และสาโทแดงที่ผลิตจากรา *R. oryzae* โดยใช้ข้าวเหนียวดำ ยังคงมีปริมาณสารสำคัญมากกว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในตารางที่ 4.3 และ การผลิตสาโทแดงโดยใช้ข้าวเหนียวดำและราแดงสายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ (ตารางที่ 4.8) พบว่า ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ (ข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ด) และราสายพัน ธุ์ที่คัดเลือกได้ (ราแดง *M. purpureus* TISTR 3002 และรา *R. oryzae*) มีปริมาณสารสีแดง สีส้ม สีเหลือง และ colour intensity ใกล้เคียงกับ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจาก จ .เพชรบูรณ์ร่วมกับราแดง 4 สายพันธุ์ และรา *R. oryzae*

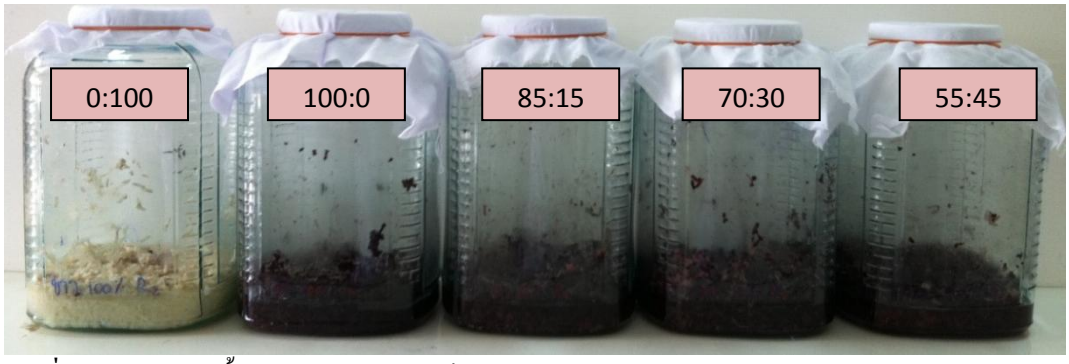
จากผลการทดลอง พบว่ารา *M. purpureus* TISTR 3002 ยังไม่สามารถย่อยข้าวเหนียวดำได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร จึงทำการทดลองต่อไป โดยทำการแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตสาโทแดงจากรา *M. purpureus* TISTR 3002 โดยมีเกณฑ์การพิจารณาจากปริมาณสารสำคัญในผลิตภัณฑ์สาโทแดง ตลอดจนการทดสอบคุณสมบัติ การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรคของสาโทแดงด้วย และผลการทดลองพบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจาก คณะเกษตรศาสตร์ มข. และข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ด โดยใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณสารสำคัญและสารสีไม่แตกต่างกันมากนัก จึงเลือกใช้ข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ด สำหรับการทดลองต่อไป

4.6 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว ในการผลิตสาโทแดง

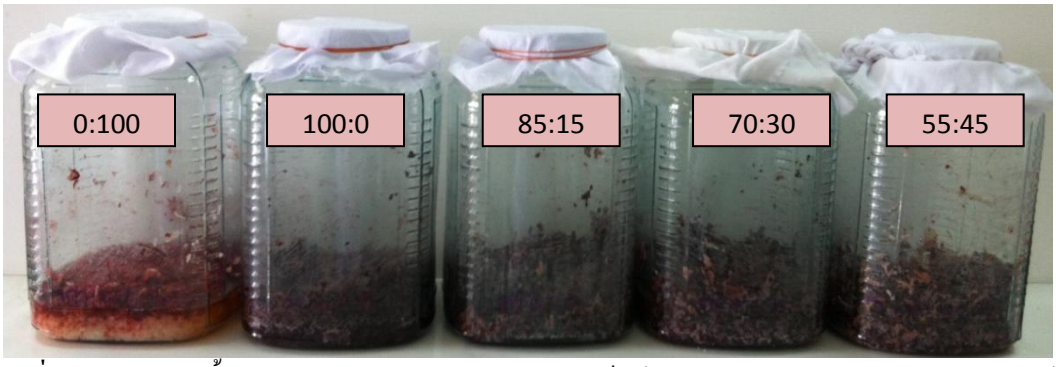
การทดลองนี้จะทำการแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำจาก จ .ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนีย วขาวกข.6 ในอัตราส่วน 0:100 55:45 70:30 85:15 และ 100:0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักโดยใช้รา 2 สายพันธุ์ได้แก่ *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* ผลการทดลองพบว่า การเลี้ยงรา *R. oryzae* บนเมล็ดข้าวเหนียวขาวจะสังเกตเห็นเส้นใยสีขาวและมีสปอร์สีดำ คลุมเมล็ดข้าว และสังเกตเห็นน้ำต้อยในปริมาณมาก และเมื่อเลี้ยงรา *R. oryzae* บนเมล็ดข้าวเหนียวดำ พบว่ามีเพียงเส้นใยสีขาวเจริญบนผิวของเมล็ดข้าวเหนียวดำเท่านั้น และสังเกตเห็นน้ำได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4.22 ในขณะที่การเลี้ยงรา *M. purpureus* TISTR 3002 บนเมล็ดข้าวเหนียวขาว พบว่า ที่บริเวณ

ผิวหน้าเมล็ดข้าวเหนียวขาวเปลี่ยนเป็นสีแดง และมีน้ำต้อยเยิ้มออกมา และการเลี้ยงรา *M. purpureus* TISTR 3002 บนเมล็ดข้าวเหนียวดำ จะมีเพียงเส้นใยสีขาวเจริญบนเมล็ดข้าวเท่านั้น และน้ำต้อยมีปริมาณน้อยมาก ดังภาพที่ 4.23

เมื่อกระบวนการหมักสิ้นสุดลง ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.2 และ 4.4 ผลการทดลองแสดงในตาราง 4.10



ภาพที่ 4.22 แสดงการเลี้ยงรา *R. oryzae* บนเมล็ดข้าวเหนียว โดยแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนียวขาว กข.6 ในอัตราส่วน 0:100, 100:0, 85:15, 70:30 และ 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4.23 แสดงการเลี้ยงรา *M. purpureus* TISTR 3002 บนเมล็ดข้าวเหนียว โดยแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนียวขาว กข.6 ในอัตราส่วน 0:100, 100:0, 85:15, 70:30 และ 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำต้อย สารแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ สารประกอบฟินอลลิก ในสาโทที่ผลิตจากการแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนียวขาว กข.6 ร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae*

สาโทแดง		ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	แกมมาโอไรซานอล µg/ml	แอนติออกซิแดนท์ mg/l	สารประกอบฟินอลลิก mg/l
ข้าวเหนียวดำ จ. ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนียวขาว กข.6	รา				
0 : 100	M	25.60 ± 0.16^{5}	176.18±9.04^{8}	10.38±0.39^{8}	305.27±1.02^{6}
	R	36.40 ± 0.16^{1}	214.07±8.49^{6}	32.18±0.98^{4}	304.73±4.46^{6}
55 : 45	M	23.40 ± 0.16^{6}	238.08±4.04^{5}	30.33±1.53^{5}	406.60±7.82^{3}
	R	32.25 ± 0.13^{2}	214.29±7.58^{6}	35.59±1.25^{2}	339.84±9.53^{4}
70 : 30	M	28.50 ± 0.26^{7}	269.88±6.29^{4}	30.26±0.27^{5}	318.03±4.63^{5}
	R	32.28 ± 0.15^{2}	301.00±8.48^{3}	36.42±0.55^{2}	421.50±3.13^{3}
85 : 15	M	20.40 ± 0.14^{8}	198.50±7.85^{7}	28.85±0.50^{6}	313.25±5.72^{5}
	R	30.13 ± 0.10^{3}	317.62±7.15^{2}	37.85±0.59^{1}	410.58±2.19^{2}
100 : 0	M	20.28 ± 0.10^{8}	192.29±7.01^{7}	12.78±0.78^{7}	220.96±2.53^{7}
	R	29.78 ± 0.05^{4}	367.65±5.90^{1}	34.33±0.52^{3}	447.82±6.67^{1}

หมายเหตุ : M หมายถึง รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ R หมายถึง รา *R. oryzae*

: ตัวเลขยกกำลัง หมายถึง ระดับของปริมาณสารสำคัญ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเลขยกกำลังหนึ่ง มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด

จากตารางที่ 4.10 พบว่าในขั้นตอนการย่อยแป้ง ของการผลิตสาโทสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว 100 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* น้ำต้อยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด คือ 36.40±0.16 °Brix

สาโทแดงที่ผลิตโดยการแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำ จ . ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนียวขาว กข . 6 ในอัตราส่วน 55:45 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* น้ำต้อยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากเป็นอันดับที่สอง โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 32.25±0.13 และ 32.28±0.15 °Brix ตามลำดับ

สาโทแดงที่ผลิตโดยการแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำ จ . ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนียวขาว กข . 6 ในอัตราส่วน 85:15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* น้ำต้อยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากเป็นอันดับที่สาม โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 30.13±0.10 °Brix

สาโทแดงที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวดำจาก จ . ร้อยเอ็ด 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* น้ำต้อยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากเป็นอันดับที่สี่ โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 29.78±0.05 °Brix

สาโทแดงที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวขาว 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 น้ำต้อยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากเป็นอันดับ ที่ห้า โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 25.60±0.16 °Brix

สาโทแดงที่ผลิตโดยการแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำ จ . ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนียวขาว กข . 6 ในอัตราส่วน 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 น้ำต้อยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากเป็นอันดับที่หก โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 23.40±0.16 °Brix

สาโทแดงที่ผลิตโดยการแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำ จ . ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนียวขาว กข . 6 ในอัตราส่วน 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 น้ำต้อยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากเป็นอันดับที่เจ็ด โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 28.50±0.26 °Brix

และสาโทแดงที่ผลิตโดยการแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำ จ . ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนียวขาว กข . 6 ในอัตราส่วน 85:15 และ 100:0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่ วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 น้ำต้อยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำที่สุดเป็นอันดับที่แปด โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 20.40±0.14 และ 20.28±0.10 °Brix ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล พบว่า สาโทแดงที่ผลิตโดยแปรผั นอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว ในอัตราส่วน 100:0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลสูงที่สุดโดยมีปริมาณ 367.65±5.90 µg/ml

รองลงมา คือสาโทแดงที่ผลิตโดยแปรผันอัตราส่วน 85:15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับรา *R. oryzae* โดยมีปริมาณ 317.62 µg/ml และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับรา *R. oryzae* มีปริมาณ 301.00 µg/ml มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลมากเป็นอันดับสาม

สำหรับสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้รา *R. oryzae* ที่อัตราส่วน 55:45 และ 0:100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลน้อยกว่า เนื่องจากมีปริมาณข้าวเหนียวดำซึ่งเป็นแหล่งของสารสารแกมมาโอไรซานอล อยู่ในปริมาณน้อยนั่นเอง

สาโทแดงที่ผลิตจากราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 พบว่าการใช้อัตราส่วน 70:30 และ 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลสูงที่สุด คือ 269.88±6.29 และ 238.08±4.04 µg/ml ตามลำดับ และใช้ข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาวในอัตราส่วน 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้สาโทแดงที่ผลิตจาก *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลสูงกว่าสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้ *R. oryzae*

โดยสาโทแดงที่ผลิตจากราสายพั นธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 ในอัตราส่วน 100:0 และ 85:15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลน้อย เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ข้าวเหนียวดำมาก ทำให้รา *M. purpureus* TISTR 3002 ไม่สามารถย่อยข้าวเหนียวดำได้ดีนัก ไม่สามารถสกัดเอาสารแกมมาโอ ไรซานอลออกมาจากเมล็ดข้าวได้ เช่นเดียวกับอัตราส่วน 0:100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งไม่มีข้าวเหนียวดำเป็นส่วนประกอบอยู่เลย ทำให้มีปริมาณแกมมาโอไรซานอลต่ำ เช่นเดียวกัน

จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว มีผลต่อปริมาณสา รแกมมาโอไรซานอลในผลิตภัณฑ์สาโทแดง คือ ถ้ามีปริมาณข้าวเหนียวดำมีปริมาณมาก ทำให้รา *M. purpureus* TISTR 3002 ไม่สามารถย่อยข้าวได้ ในขณะที่ ถ้ามีปริมาณข้าวเหนียวดำน้อยเกินไปก็ทำให้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีสารแกมมาโอไรซานอล น้อยเช่นกัน

โดยอัตราส่วนที่เหมาะสม สำหรับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 คือ 70:30 และ 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สำหรับการใช้รา *R. oryzae* อัตราส่วนของข้าวเหนียวดำ สามารถใช้ได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากรา *R. oryzae* มีประสิทธิภาพในการย่อยข้าวเหนียวดำได้ดีกว่า *M. purpureus* TISTR 3002

เมื่อพิจารณาปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ในสาโทแดง พบว่า อัตราส่วนของข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาวและสายพันธุ์รา มีผลต่อปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ในสาโทแดง สำหรับ รา *R. oryzae* อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ 85:15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์สูงที่สุด คือ 37.85±0.59 mg/l

รองลงมา คือ 70:30 และ 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนท์ 36.42±0.55 และ 35.59±1.25 mg/l ตามลำดับ

สำหรับราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด 70:30 และ 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีปริมาณ สารแอนติออกซิแดนท์ 30.26±0.27 และ 30.33±1.53 mg/l ตามลำดับ

รองลงมาคือ อัตราส่วน 85:15 และ 100:0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีปริมาณ สารแอนติออกซิแดนท์ 28.85±0.50 และ 12.78±0.78 mg/l ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.10 พบว่า อัตราส่วนของข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว และสายพันธุ์รา มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกในสาโทแดง โดยสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้รา *R. oryzae* มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกมากกว่าสาโทแดงที่ผลิตจากรา *M. purpureus* TISTR 3002

สำหรับรา *R. oryzae* สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว ในอัตราส่วน 100:0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกสูงที่สุด โดยมีปริมาณ 447.82±6.67 mg/l

รองลงมาคืออัตราส่วน 85:15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก 410.58±2.19 mg/l อันดับสาม คืออัตราส่วน 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก 421.50±3.13 mg/l

สำหรับรา *M. purpureus* TISTR 3002 อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก 406.60±7.82 mg/l ซึ่งมีปริมาณมากเป็นอันดับสาม เทียบเท่ากับการผลิตสาโทแดงโดยใช้ข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *R. oryzae* ซึ่งอัตราส่วนนี้น่าจะเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาวที่รา *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถจะใช้ข้าวเหนียวขาวสำหรับการเจริญเติบโตได้ในระยะแรก จนสามารถย่อยข้าวเหนียวดำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จนทำให้ผลิตภัณฑ์ สาโทแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกมากเทียบเท่าได้กับการใช้รา *R. oryzae*

ในขณะเดียวกันสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้อัตราส่วนที่มากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะไม่สามารถทำให้รา *M. purpureus* TISTR 3002 เจริญเติบโตและย่อยข้าวเหนียวดำที่มีปริมาณมากได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกในปริมาณต่ำ

สำหรับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมด (Total SO_2) ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ตรงตามเกณฑ์สุราแช่ของกรมสรรพสามิต และ คุณลักษณะทางเคมีของสาโทแดงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช . 3/2546 ที่กำหนดให้มี ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมดในสาโทแดงได้ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่า การแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว มีผลต่อปริมาณสารสำคัญทั้งสารแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ และสารป ระกอบฟีนอลลิก โดยสาโท

แดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว ในอัตราส่วน 85:15 และ 100:0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด เนื่องมาจากรา *R. oryzae* มีประสิทธิภาพในการย่อยข้าวเหนียวดำที่มีปริมาณสารสำคัญเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่มีคุณภาพ มีสารสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคในปริมาณสูง

ในขณะที่รา *M. purpureus* TISTR 3002 มีประสิทธิภาพในการย่อยข้าวเหนียวดำได้น้อยกว่า ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 ผลิตสาโทแดงที่มีคุณ ภาพ คือการใช้อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว ในอัตราส่วน 55:45 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนที่ทำให้รา *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถเจริญเติบโตได้ดีไปจนถึงระดับหนึ่ง จนกระทั่งแข็งแรงพอที่จะย่อยเมล็ดข้าวเหนียวดำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่มีคุณภาพได้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณสารสีแดง สีส้ม สีเหลือง และ Color intensity ในสาโทแดงที่ผลิตจากการแปรผันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำจาก จ.ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนียวขาว กข.6 ร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae*

สาโทแดง		ปริมาณสารสี			Colour intensity
ข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว	รา	สีแดง OD_{500}	สีแดง OD_{470}	สีแดง OD_{400}	$OD_{520}+ OD_{620+} OD_{720}$ (unit)
0 : 100	M	0.036 ± 0.010^{7}	0.056 ± 0.018^{2}	0.134 ± 0.012^{5}	0.122 ± 0.019^{4}
	R	0.053 ± 0.005^{7}	0.049 ± 0.005^{2}	0.090 ± 0.007^{6}	0.107 ± 0.010^{4}
55 : 45	M	$0.179\pm0.032^{4,5}$	0.198 ± 0.033^{1}	0.294 ± 0.051^{4}	$0.478\pm0.072^{2,3}$
	R	$0.198\pm0.019^{3,4}$	0.209 ± 0.022^{1}	0.351 ± 0.030^{2}	0.497 ± 0.057^{2}
70 : 30	M	0.172 ± 0.014^{5}	0.203 ± 0.016^{1}	$0.299\pm0.007^{3,4}$	$0.479\pm0.020^{2,3}$
	R	0.212 ± 0.007^{3}	0.238 ± 0.060^{1}	$0.371\pm0.011^{1,2}$	0.519 ± 0.011^{2}
85 : 15	M	0.145 ± 0.015^{6}	0.207 ± 0.061^{1}	$0.313\pm0.023^{3,4}$	$0.478\pm0.072^{2,3}$
	R	0.243 ± 0.006^{2}	0.209 ± 0.045^{1}	0.390 ± 0.008^{1}	0.525 ± 0.030^{2}
100 : 0	M	0.140 ± 0.025^{6}	0.198 ± 0.036^{1}	$0.334\pm0.021^{2,3}$	0.428 ± 0.003^{3}
	R	0.271 ± 0.006^{1}	0.226 ± 0.019^{1}	0.397 ± 0.037^{1}	0.586 ± 0.030^{1}

หมายเหตุ : ตัวเลขยกกำลัง หมายถึง ระดับของปริมาณสารสำคัญ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเลขยกกำลังหนึ่ง มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด

จากตารางที่ 4.11 พบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำจาก จ .ร้อยเอ็ด ในอัตราส่วน 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* มีปริมาณสารสี ทั้งสีแดง สีส้มและสีเหลือง รวมไปถึงปริมาณ colour intensity สูงที่สุดเป็นอันดับที่หนึ่ง โดยมีปริมาณสารสีแดง สีส้ม สีเหลือง และ colour intensity เท่ากับ 0.271±0.006 0.226±0.019 0.397±0.037 และ 0.586±0.030 unit ตามลำดับ เนื่องมาจาก วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

สาโทแดงมีปริมาณข้าวเหนียวดำสูงที่สุด และรา *R. oryzae* มีประสิทธิภาพในการย่อยข้าวเหนียวดำ ทำให้สารสีต่างๆ ที่เคลือบอยู่บนเมล็ดข้าวเหนียวดำละลายออกมาอยู่ในผลิตภัณฑ์สาโทแดงนั่นเอง

สำหรับสารสีแดง พบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนของข้าวเหนียวดำในปริมาณสูง ร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* ก็ยิ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่มีปริมาณสารสีแดงในปริมาณสูง เนื่องจากเมล็ดข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารสีอยู่มาก ปร ะกอบกับรา *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวดำได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้ได้สาโทแดงที่มีสารสีแดงในปริมาณสูง ได้สาโทแดงที่มีสีสันสวยงาม และมีคุณประโยชน์ต่อผู้บริโภค

สำหรับสารสีแดงในสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 พบว่า อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาวที่เหมาะสมคือ 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่มีปริมาณสารสีแดง 0.179±0.032 unit และหากปริมาณข้าวเหนียวดำสูงกว่า 55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีปริมาณสารสีแดงลดลง เนื่องจาก รา *M. purpureus* TISTR 3002 ไม่สามารถย่อยเมล็ดข้าวเหนียวดำได้ดีนัก ซึ่งอัตราส่วน 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ที่มีทั้งข้าวเหนียวขาว ที่รา *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถย่อยและใช้ในการเจริญเติบโต จนถึงระกับหนึ่ง หลังจากนั้นรา *M. purpureus* TISTR 3002 จึงจะสามารถย่อยข้าวเหนียวดำได้ ทำให้พบสาร สีแดงในผลิตภัณฑ์สาโทแดง มากที่สุด

สำหรับสารสีส้ม พบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากทั้ง *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* โดยใช้วัตถุดิบที่มีส่วนผสมของข้าวเหนียวดำทั้ง 55 70 85 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารสีส้มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณสารสีส้ม 0.198-0.238 unit ในขณะที่สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว โดยใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* มีปริมาณสารสีส้มต่ำกว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ เนื่องจากใน เมล็ดข้าวเหนียวขาว ไม่มีสารสี เป็นองค์ประกอบอยู่ โดยสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว โดยใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* มีปริมาณสารสีส้มเพียง 0.056±0.018 และ 0.049±0.005 unit ตามลำดับ

สำหรับสารสีเหลือง สาโทแดงที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนของข้าวเหนียวดำในปริมาณสูง ร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* ก็ยิ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่มีปริมาณสารสีเหลือง ในปริมาณสูง เนื่องจากเมล็ดข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารสีอยู่มาก ประกอบกับรา *R. oryzae* สามารถย่อยข้าวเหนียวดำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้สาโทแดงที่มีสารสีเหลืองในปริมาณสูง ได้สาโทแดงที่มีสีสันสวยงาม และมีคุณประโยชน์ต่อผู้บริโภค

สำหรับรา *M. purpureus* TISTR 3002 พบว่าสาโทแดงที่ผลิตจากอัตราส่วนของข้าวเหนียวดำ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 มีปริมาณสารสีเหลืองมากที่สุด โดยมีปริมาณสารสีเหลือง 0.334±0.021 unit และรองลงมาคือสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ 55 70 และ 85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารสีเหลือง 0.294±0.051 0.299±0.007 และ 0.313±0.023 unit ตามลำดับ และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวโดยใช้รารา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* มีปริมาณสารสีเหลืองน้อยที่สุด

จากตารางที่ 4.11 พบว่าปริมาณ colour intensity ของสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ในอัตราส่วน 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* มีปริมาณ colour intensity สูงที่สุด โดยมีปริมาณ 0.586±0.030 unit สำหรับสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำโดยใช้ *M. purpureus* TISTR 3002 ทุกอัตราส่วนมีปริมาณ colour intensity ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีปริมาณ colour intensity 0.428-0.479 unit

สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวทั้ง *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* มีปริมาณ colour intensity น้อยที่สุด โดยมีปริมาณ colour intensity 0.122±0.019 และ 0.107±0.010 unit ตามลำดับ

ดังนั้น สาโทแดงที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวดำ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้รา *R. oryzae* จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่มีสีสันสวยงาม ตลอดจนมีปริมาณสารสำคัญที่เป็นประโยชน์กับผู้บริโภคอีกด้วย

นอกจากผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่ผลิตได้ จะมีปริมาณสารสำคัญในปริมาณสูงแล้ว ยังได้นำสาโทแดงจากการทดลองที่ 4.6 ไปทำการทดสอบคุณสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรค จำนวน 5 สายพันธุ์ อีกด้วย

4.7 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคของสาโทแดง

นำสาโทแดงจากการทดลองที่ 4.6 มาทำการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรค 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *B. cereus S. aureus* TISTR 029 *P. aeruginosa* ATCC 27533 *E. coli* TISTR 073 และ *E. aerogenes* TISTR 1540 โดยใช้วิธี agar diffusion assay

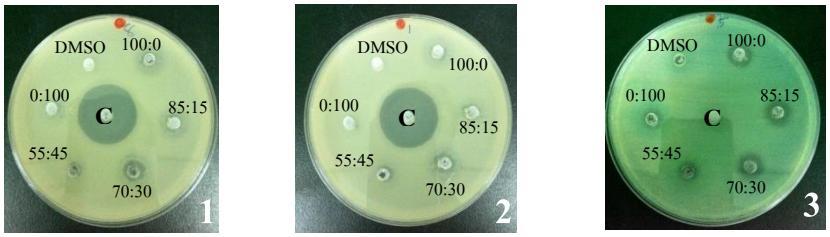
ประสิทธิภาพ การยับยั้งการเจริ ญของแบคทีเรียก่อโรคของสาโทแดง คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้งทั้งหมด ลบด้วยขนาดของเส้นผ่านศูนย์ของกลางหลุมที่ใช้หยดสารตัวอย่าง โดยเส้นผ่านศูนย์ของกลางหลุมที่ใช้หยดสารตัวอย่าง เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4.24 และผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้ง (เซนติเมตร) จากการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคของสาโทแดงที่ผลิตได้

ตัวอย่าง		*B. cereus*	*S. aureus* TISTR 029	*P. aeruginosa* ATCC 27533	*E. coli* TISTR 073	*E. aerogenes* TISTR 1540
500 mg/l Chloram phenicol (positive control)		2.0	2.2	0.0	2.0	2.1
20 เปอร์เซ็นต์ DMSO (negative control)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0 : 100	M	0.00 ± 0.00^{5}	0.00 ± 0.00^{2}	0.00 ± 0.00^{5}	1.40 ± 0.08^{2}	0.00 ± 0.00^{4}
	R	0.00 ± 0.00^{5}	0.00 ± 0.00^{2}	0.30 ± 0.08^{3}	1.68 ± 0.10^{1}	0.00 ± 0.00^{4}
55 : 45	M	0.70 ± 0.08^{1}	0.00 ± 0.00^{2}	0.60 ± 0.08^{1}	0.28 ± 0.05^{4}	0.00 ± 0.00^{4}
	R	0.50 ± 0.08^{2}	0.00 ± 0.00^{2}	0.58 ± 0.10^{2}	0.43 ± 0.05^{3}	0.53 ± 0.10^{3}
70 : 30	M	0.53 ± 0.10^{2}	0.60 ± 0.82^{1}	$0.65\pm0.06^{1,2}$	0.30 ± 0.08^{4}	0.68 ± 0.10^{1}
	R	0.30 ± 0.08^{3}	0.00 ± 0.00^{2}	0.70 ± 0.08^{1}	0.30 ± 0.08^{4}	0.78 ± 0.05^{1}
85 : 15	M	$0.25\pm0.13^{3,4}$	0.00 ± 0.00^{2}	0.15 ± 0.06^{4}	0.20 ± 0.05^{4}	0.00 ± 0.00^{4}
	R	0.15 ± 0.06^{4}	0.00 ± 0.00^{2}	0.30 ± 0.08^{3}	0.23 ± 0.08^{4}	0.68 ± 0.10^{2}
100 : 0	M	$0.20\pm0.08^{3,4}$	0.00 ± 0.00^{2}	$0.08\pm0.10^{4,5}$	0.00 ± 0.00^{5}	0.00 ± 0.00^{4}
	R	0.00 ± 0.00^{5}	0.00 ± 0.00^{2}	0.28 ± 0.05^{3}	0.00 ± 0.00^{5}	0.55 ± 0.06^{3}

หมายเหตุ : M หมายถึง *M. purpureus* TISTR 3002 R หมายถึง *R. oryzae*

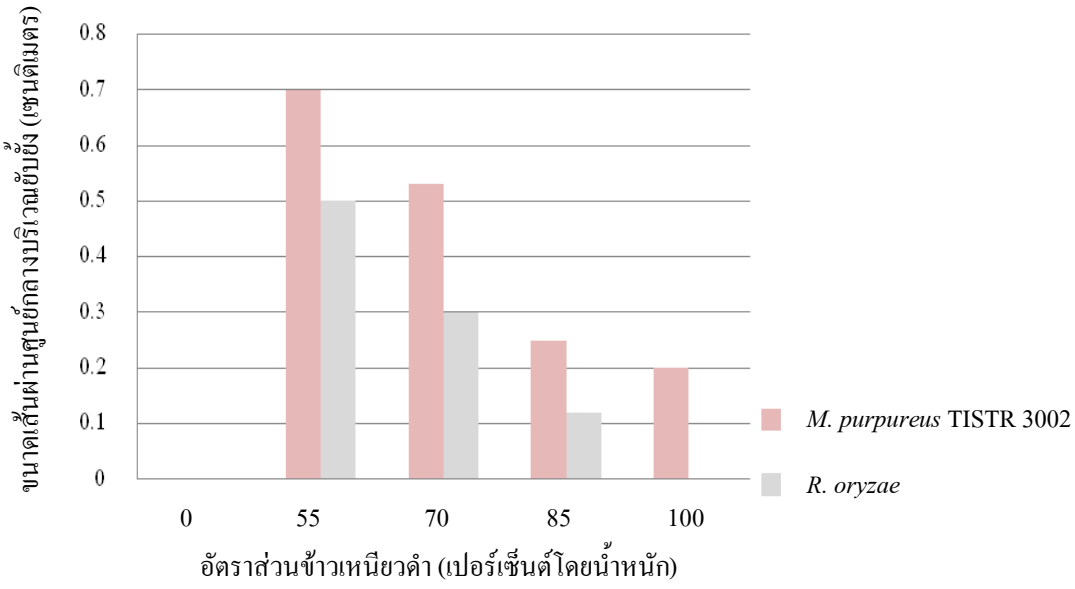
: ตัวเลขยกกำลัง หมายถึง ระดับของปริมาณสารสำคัญ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเลขยกกำลังหนึ่ง มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด



ภาพที่ 4.24 แสดงตัวอย่างบริเวณโซนใสที่เกิดจากการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคของสาโทแดง เมื่อทดสอบกับ *B. cereus* (1) *E. aerogenes* TISTR 1540 (2) และ *P. Aeruginosa* ATCC 27533 (3)

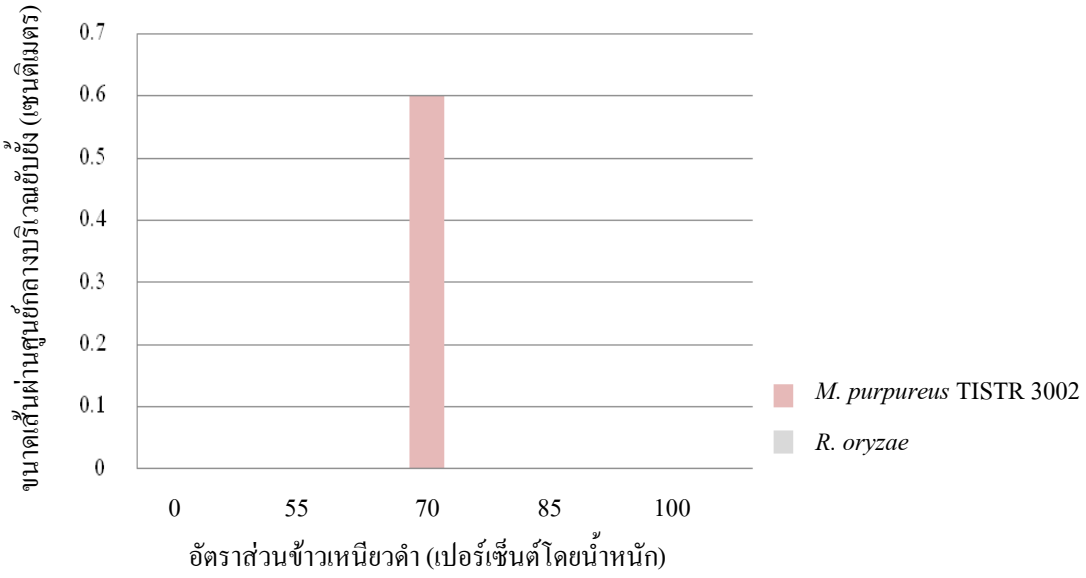
จากตารางที่ 4.12 การทดสอบคุณสมบัติการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียก่อโรค 5 สายพันธุ์ของตัวอย่างสาโทแดง ที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำในอัตราส่วนต่างๆ ร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* ผลการทดลอง พบว่า แบคทีเรียก่อโรคทั้ง 5 สายพันธุ์ ไม่ถูกยับยั้งโดยสารละลาย 20 เปอร์เซ็นต์ DMSO ที่ใช้เป็น negative control และในกรณีของ 500 mg/l คลอแรมฟินิคอล ที่ใช้เป็น positive control นั้นพบว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคได้ทุกชนิด ยกเว้น *P. aeruginosa* ATCC 27533 ที่ไม่ถูกยับยั้งจากสารละลายดังกล่าว ซึ่งตรงกับรายงานการวิจัยของ นิวัตร ช่วงโชติ (2550) ที่พบว่าเชื้อ *P. aeruginosa* ดื้อต่อยาปฏิชีวนะ 3 ชนิด คือ ยาปฏิชีวนะคะนาไมซิน (Kanamycin) คลอแรมฟินิคอล (Chloramphenicol) และแอมพลิซิลลิน (Amplicillin)

ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *B. cereus* พบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำในอัตราส่วน 55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *B. cereus* ได้ดีที่สุด ทั้งสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* ดังแสดงในภาพที่ 4.25 และหากเพิ่มเปอร์เซ็นต์ข้าวเหนียวดำ จะยิ่งทำให้ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของ เชื้อแบคทีเรีย *B. cereus* ลดลงตามลำดับ และสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง เชื้อแบคทีเรีย *B. cereus* สูงกว่าสาโทแดงที่ผลิตจากรา *R. oryzae* และสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวขาวร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* ไม่เกิดการยับยั้ง ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสาโทแดงมีผลต่อการผลิตสารยับยั้งของรา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* โดยอัตราส่วนของข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว ในอัตราส่วน 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* ผลิตสารยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคที เรีย *B. cereus* เนื่องจากวัตถุดิบมีปริมาณข้าวเหนียวขาวมากพอที่รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* สามารถเจริญเติบโตไปได้ระดับหนึ่ง และเมื่อข้าวเหนียวขาวหมด ราจะต้องเปลี่ยนไปใช้ข้าวเหนียวดำในการเจริญเติบ โต ซึ่งใช้ได้ยากกว่า ส่งผลให้รา มีการผลิตสารบางอย่า งออกมา เมื่อตรวจสอบแล้ว พบว่า สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ ต่อข้าวเหนียวขาว ในอัตราส่วน 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีประสิทธิภาพในการผลิตสารยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *B. cereus* ได้ดีที่สุดโดยเฉพาะสาที่ผลิตจากรา *M. purpureus* TISTR 3002 ในขณะที่อัตราส่วน 70, 85 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อาจจะมีปริมาณข้าวเหนียวขาวน้อยเกินไป ทำให้รายังเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ จึงพบการยับยั้งลดลง



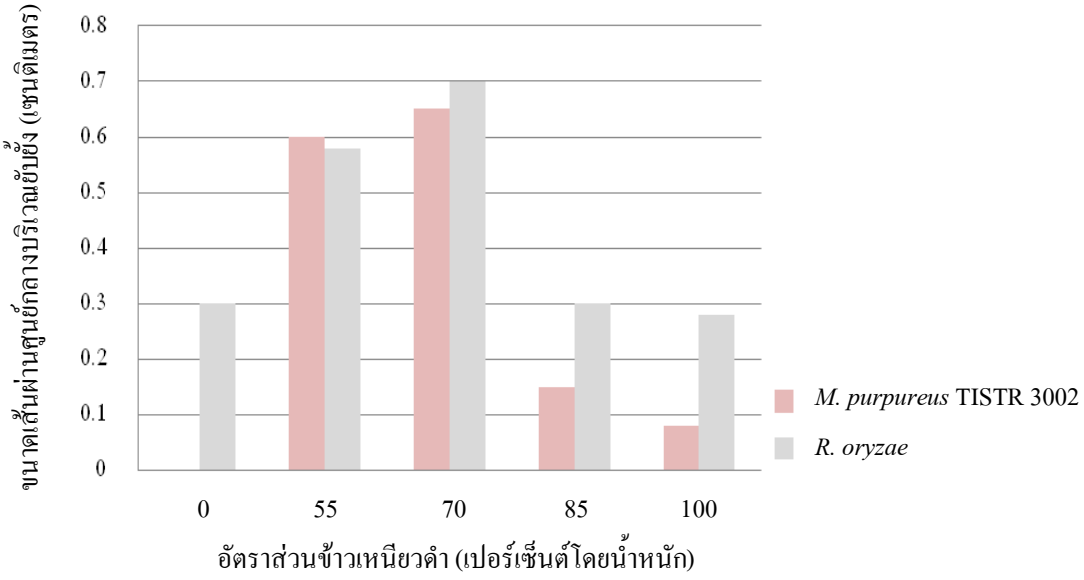
ภาพที่ 4.25 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *B. cereus* ที่เกิดจากสาโทแดง ที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวดำในอัตราส่วน 0 55 70 85 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. Oryzae*

ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* TISTR 029 พบว่ามีเพียงสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำในอัตราส่วน 75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* TISTR 029 ดังแสดงในภาพที่ 4.26 ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า *M. purpureus* TISTR 3002 เท่านั้นที่สารผลิตยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* TISTR 029 ได้ ในขณะที่รา *R. oryzae* ไม่สามารถผลิตสารยับยั้งดังกล่าวได้ ในขณะเดียวกันอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสาโทแดงจะต้องมีอัตราส่วนที่เ หมาะสมด้วย โดยสามารถกล่าวได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างข้าวเหนียวขาวต่อข้าวเหนียวดำ และสายพันธุ์ราที่เหมาะสม ที่ใช้ในการผลิตสาโทแดงแล้วทำให้สาโทแดงมีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* TISTR 029 ได้แก่ อัตราส่วน 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 เนื่องจากวัตถุดิบมีปริมาณข้าวเหนียวขาวมากพอที่รา *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถเจริญเติบโตไปได้ระดับหนึ่ง และเมื่อข้าวเหนียวขาวหมด ราจะต้องเปลี่ยนไปใช้ข้าวเหนียวดำในการเจริญเติบโต ซึ่ง *M. purpureus* TISTR 3002 ย่อยข้าวเหนียวดำได้ไม่ดีนัก ทำให้ราเกิดความเครียด มีการผลิตสารบางอย่างที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นออกมาเพื่อช่วยในการอยู่รอด



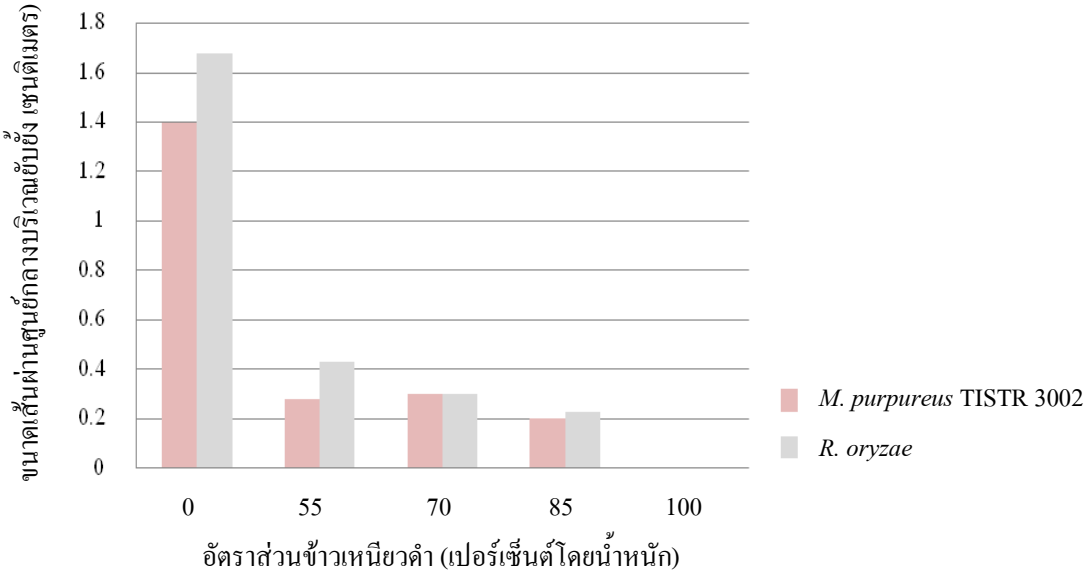
ภาพที่ 4.26 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* TISTR 029 ที่เกิดจากสาโทแดง ที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวดำในอัตราส่วน 0 55 70 85 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae*

ประสิทธิภาพการยับยั้งก ารเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *P. aeruginosa* ATCC 27533 พบว่า อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำ :ข้าวเหนียวขาวมีผลต่อการผลิตสารยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียของรา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* มีความแตกต่างกัน โดยอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำ:ข้าวเหนียวขาวที่ดีที่สุด ที่ทำให้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* สามารถผลิตสารยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *P. aeruginosa* ATCC 27533 ได้ดีที่สุด ได้แก่ อัตราส่วน 55:45 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ เช่นเดียวกับการผลิตสารยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *B. cereus* ของรา *M. purpureus* TISTR 3002 ในภาพที่ 4.27 คือวัตถุดิบต้องมีปริมาณข้าวเหนียวขาวมากพอที่รา *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถเจริญเติบโตไปได้ระดับหนึ่ง และเมื่อข้าวเหนียวขาวหมด ราจะต้องเปลี่ยนไปใช้ข้าวเหนียวดำในการเจริญเติบโต ซึ่งข้าวเหนียวดำย่อยได้ยากกว่าข้าวเหนียวขาว ทำให้ราเกิดความเครียด และผลิตสารบางอย่างที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *P. aeruginosa* ATCC 27533 ในขณะที่รา *R. oryzae* สามารถผลิตสารยับยั้งการเจริญของ *P. aeruginosa* ATCC 27533 ได้โดยใช้เปอร์เซ็นต์ข้าวเหนียวดำที่มากกว่า คือ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากรา *R. oryzae* มีประสิทธิภาพในการย่อยเมล็ดข้าวเหนียวดำได้ดีกว่า รา *M. purpureus* TISTR 3002 จึงทำให้ ผลิตสารบางอย่างที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของ *P. aeruginosa* ATCC 27533 ได้โดยใช้เปอร์เซ็นต์ข้าวเหนียวดำที่มากกว่า



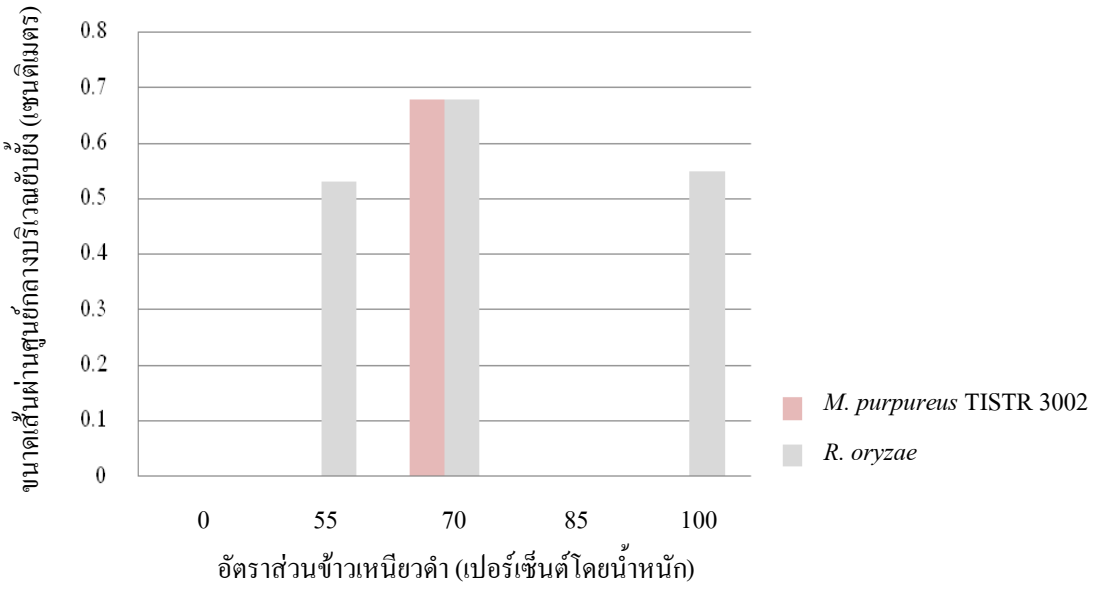
ภาพที่ 4.27 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *P. aeruginosa* ATCC 27533 ที่เกิดจากสาโทแดง ที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวดำในอัตราส่วน 0 55 70 85 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae*

ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* TISTR 073 พบว่าอัตราส่วนของข้าวเหนียวขาวมีผลต่อการผลิตสารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* TISTR 073 กล่าวคือ สาโทแดงที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวขาว 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว 0:100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* TISTR 073 ได้ดีที่สุด ดังแสดง ในภาพที่ 4.28 และหากวัตถุดิบมีปริมาณข้าวเหนียวขาวลดลงประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* TISTR 073 ก็ลดลงตามไปด้วย จนกระทั่งเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว ในอัตราส่วน 100:0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไม่พบการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* TISTR 073 เลย สามารถกล่าวได้ว่า สารยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* TISTR 073 ดังกล่าวมาจากวัตถุดิบ คือ ข้าวเหนียวขาว เป็นหลัก และรา *R. oryzae* มีประสิทธิภาพในการย่อยข้าวเหนียวขาวได้ดีกว่ารา *M. purpureus* TISTR 3002 ทำให้สาโทแดงที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว 0:100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้รา *R. oryzae* สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* TISTR 073 ได้ดีกว่าการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002



ภาพที่ 4.28 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* TISTR 073 ที่เกิดจากสาโทแดง ที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวดำในอัตราส่วน 0 55 70 85 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae*

ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *E. aerogenes* TISTR 1540 พบว่า อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาวมีผลต่อการผลิตสารยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียของรา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* โดยอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว ที่ดีที่สุด ที่ทำให้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* สามารถผลิตสารยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E.aerogenes* TISTR 1540 ได้ดีที่สุด คืออัตราส่วน 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 4.29 โดยวัตถุดิบต้องมีปริมาณข้าวเหนียวขาวมากพอที่รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* สามารถเจริญเติบโตไปได้ระดับหนึ่ง และเมื่อข้าวเหนียวขาวหมด ราจะต้องเปลี่ยนไปใช้ข้าวเหนียวดำในการเจริญเติบโต ซึ่งทำได้ยากกว่า ทำให้ราเกิดความเครียด มีการผลิตสารยั บยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นออกมาเพื่อช่วยในการอยู่รอด สำหรับอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ทำให้รา *R. oryzae* สามารถผลิตสารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *E. aerogenes* TISTR 1540 ได้แก่ 55:45 70:30 85:15 และ 100:0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ยกเว้น 0:100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไม่สามารถทำให้รา *R. oryzae* ผลิตสารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *E. aerogenes* TISTR 1540 ได้ ในขณะที่รา *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถผลิตสารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *E. aerogenes* TISTR 1540 ได้ก็ต่อเมื่ อใช้อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวขาวต่อข้าวเหนียวดำ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เท่านั้น สามารถกล่าวได้ว่าอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวขาวต่อข้าวเหนียวดำ ที่เหมาะสมที่จะทำให้รา *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถเจริญเติบโตไปได้ระดับหนึ่ง และทำให้ราเกิ ดความเครียดเมื่อต้องเปลี่ยนไปใช้ชข้าวเหนียวดำ จนต้องมีการผลิตสารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *E. aerogenes* TISTR 1540 ออกมาได้มากที่สุด ได้แก่ อัตราส่วน 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเท่านั้น โดยถ้าอัตราส่วนมาก หรือน้อยกว่านี้ ไม่สามารถทำให้ *M. purpureus* TISTR 3002 ผลิตสารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *E. aerogenes* TISTR 1540 ได้เลย



ภาพที่ 4.29 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *E. aerogenes* TISTR 1540 ที่เกิดจากสาโทแดง ที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวดำในอัตราส่วน 0 55 70 85 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae*

จากการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 5 สายพันธุ์ ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำจาก จ . ร้อยเอ็ดต่อข้าวเหนียวขาว กข .6 มีผลในการผลิตสารยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 5 สายพันธุ์ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 55:45 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ยกเว้นเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* TISTR 073 ที่มีอัตราส่วนที่เหมาะสมอยู่ที่ 0:100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังนั้นสาโทแดงที่ผลิตจากการใช้ข้าวเหนียวดำร่วมกับรา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในทางเดินอาหารได้ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีคุณค่า และมีประโยชน์ต่อร่างกายของผู้บริโภคได้

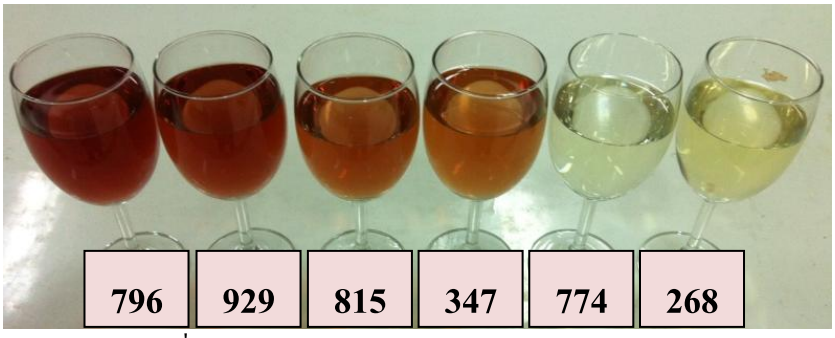
นอกจากสาโทแดงที่ผลิตได้จะมีคุณค่าและมีประโยชน์ต่อร่างกายของผู้บริโภคแล้ว ยังต้องมีคุณลักษณะและรสชาติที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคด้วย ดังนั้นจะต้องมีการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

4.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

หลังจากวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างสาโทแดงแล้ว คัดเลือกสาโทแดงที่ผลิตได้มา 4 ตัวอย่าง โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกจากปริมาณสารแกมมาโอไรซานอล สารแอนติออกซิแดนท์ สารประกอบฟีนอลิก colour intensity และสารสี รวมไปถึงตัวอย่างสาโทแดงที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรค ได้แก่ สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว ในอัตราส่วน 70:30 และ 100:0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำต่อข้าวเหนียวขาว ในอัตราส่วน 70:30 และ 100:0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* โดยใช้สาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวร่วมกับการใช้ราสายพันธุ์ *R. oryzae* เป็นตัวอย่างควบคุม ร่วมกับตัวอย่างสาโทที่มีจำหน่ายในท้องตลาด รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 6 ตัวอย่าง รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.13 โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

ตารางที่ 4.13 แสดงตัวอย่างสาโทที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส และการให้รหัสตัวอย่าง

ลำดับ	ตัวอย่างสาโทที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส		รหัสตัวอย่างในการทดสอบทางประสาทสัมผัส
	อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวดำ ต่อ ข้าวเหนียวขาว	รา	
1	70 : 30	*M. purpureus* TISTR 3002	347
2	100 : 0	*M. purpureus* TISTR 3002	815
3	0 : 100	*R. oryzae*	268
4	70 : 30	*R. oryzae*	929
5	100 : 0	*R. oryzae*	796
6	สาโททางการค้า		774



ภาพที่ 4.30 แสดงตัวอย่างสาโทที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 6 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสาโท

รหัสตัวอย่างในการทดสอบทางประสาทสัมผัส	คุณลักษณะของสาโท				
	สี (2)	ความใส (2)	กลิ่น (4)	รสชาติ (12)	รวม (20)
347	0.57±0.77^{2}	1.57±0.57^{1,2}	2.70±1.06^{1}	5.60±3.53^{2,3}	10.43±4.67^{1,2}
815	1.07±0.74^{1}	1.37±0.76^{2}	2.40±1.00^{1}	7.67±2.54^{1}	12.50±3.63^{1}
268	0.83±0.70^{1,2}	1.33±0.71^{2}	2.43±1.17^{1}	7.07±4.21^{1,2}	11.70±5.31^{1}
929	0.90±0.61^{1,2}	1.33±0.66^{2}	2.23±1.10^{1}	3.00±4.04^{4}	7.47±4.97^{3}
796	1.03±0.67^{1}	1.63±0.61^{1,2}	2.57±0.94^{1}	3.97±3.83^{3,4}	9.20±4.30^{2,3}
774	0.77±0.77^{1,2}	1.77±0.50^{1}	1.10±1.35^{2}	3.87±3.53^{3,4}	7.50±4.70^{3}

หมายเหตุ : ตัวเลขยกกำลัง หมายถึง ระดับของปริมาณสารสำคัญ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเลขยกกำลังหนึ่ง มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด

นำคะแนนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสใ นแต่ละด้าน (สี ความใส กลิ่น รสชาติ และคะแนนรวม) ไปทดสอบความแตกต่างทางสถิติ ด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของสาโทแดง ในด้านสี พบว่า ตัวอย่าง 815 และ 796 เป็นตัวอย่าง ที่มีสีสันสวยงาม ตรงกับความต้องการของผู้ ทดสอบมากที่สุด โดยมีคะแนน 1.07±0.74 และ 1.03±0.67 คะแนน ตามลำดับ (คะแนนเต็ม 2 คะแนน) ซึ่งทั้ง 2 ตัวอย่างเป็นสาโทแดงที่ผลิตจาก การใช้ข้าวเหนียวดำ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นวัตถุดิบโดยใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* ตามลำดับ ซึ่งการใช้วัตถุดิบเป็นข้าวเ หนียวดำ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงที่มีสีสันสวยงาม ตรงกับความต้องการของผู้ทดสอบ

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของสาโทแดง ในด้านความใส พบว่า ตัวอย่าง 774 ซึ่งเป็นตัวอย่างสาโททางการค้า ได้รับคะแนนในด้านความใสสูงสุด คือ 1.77±0.50 คะแนน (คะแนนเต็ม 2 คะแนน) ซึ่งเป็นไปได้ว่าสาโททางการค้าเป็นสาโทที่มีกระบวนการผลิตที่ทันสมัย มีเครื่องมือในการกรองสาโทที่มีคุณภาพ ทำให้ได้สาโทที่มีความใสมากที่สุด ในขณะที่ตัวอย่างสาโทแดง 347 และ 796 ได้คะแนน 1.57± 0.57 และ 1.63± 0.61 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิ ติแล้วพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตัวอย่างสาโทแดง 347 และ 796 เป็นสาโทแดงที่ถูกผลิตขึ้นในห้องปฏิบัติการในระดับการทดลอง

เท่านั้น ทำให้กระบวนการหลังการหมัก ไม่สามารถทำให้สาโทแดงใสได้เท่ากับสาโททางการค้า แต่สามารถได้คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านควา มใสได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ กับสาโท ทางการค้า ซึ่งหมายถึงสาโทแดงเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของสาโท ในด้าน กลิ่น พบว่า ตัวอย่างสาโทแดง 347, 815, 268, 929 และ 796 ซึ่งเป็นสาโทแดงที่ผลิตขึ้นโดยใช้ข้าวเหนี ยวดำในอัตราส่วนต่างๆ ร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 และ *R. oryzae* ดังแสดงในตารางที่ 4.14 มีคะแนนจากการทดสอบทางประสา ทสัมผัสในด้านกลิ่นสูงกว่าสาโททางการค้า โดยได้คะแนน 2.70±1.06, 2.40±1.00, 2.43±1.17, 2.23±1.10 และ 2.57±0.94 คะแนน ตามลำดับ (คะแนนเต็ม 4 คะแนน) ในขณะที่สาโททางการค้าได้คะแนนเพียง 1.10±1.35 คะแนน สามารถกล่าวได้ว่า วัตถุดิบและสายพันธุ์ราที่ใช้ในกระบวนการผลิตสาโทแดงมีผลต่อกลิ่นของผลิตภัณฑ์สาโทแดง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์สาโทแดงมีกลิ่นที่พึงประสงค์ของผู้ทดสอบ

ทดสอบทางประสาทสัมผัสของสาโท ในด้านรสชาติ พบว่า ตัวอย่างสาโทแดง 815 และ 268 เป็นตัวอย่างที่ได้รับคะแนนมากสี่สุด โดยมีคะแนน 7.67±2.54 และ 7.07±4.21 คะแนน ตามลำดับ (คะแนนเต็ม 12 คะแนน) ซึ่งตัวอย่าง 815 เป็นสาโทแดงที่ผลิตจากการใช้ข้าวเหนียวดำ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 ซึ่งการใช้ข้าวเหนียวดำเป็นวัตถุดิบ จะทำให้สาโทแดงมีรสชาติดี เกิดจากสารสำคัญต่างๆที่เป็นองค์ประกอบในข้าวเหนียวดำ ร่วมกับสารที่รา *M. purpureus* TISTR 3002 ผลิตขึ้นมาในระหว่างกระบวนการหมัก และตัวอย่าง 268 สาโทที่ผลิตจากการใช้ข้าวเหนียวขาว 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ข้าวเหนียวและส ายพันธุ์ราที่ใช้ในการผลิตสาโท กันโดยทั่วไปอยู่แล้ว จึงเป็นตัวอย่างสาโทที่ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติสูงที่สุด

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสาโท โดยรวมพบว่า ตัวอย่างสาโทแดง 815 268 และ 347 เป็นตัวอย่างสาโทแดงที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยมีคะแนน 12.50±3.63 11 .70±5.31 และ 10.43±4.67 คะแนน ตามลำดับ (คะแนนเต็ม 20 คะแนน) โดยตัวอย่าง 268 สาโทที่ผลิตจากการใช้ ข้าวเหนียวขาว 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้รา *R. oryzae* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ข้าวเหนียวและสายพันธุ์ราที่ใช้ในการผลิตสาโทกันโดยทั่วไปอยู่แล้ว จึงเป็นตัวอย่างสาโทที่ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยรวมสูง และตัวอย่างสาโทแดง 815 และ 268 เป็นสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้ข้าวเหนียวดำ 100 และ 70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ร่วมกับการใช้รา *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถกล่าวได้ว่าสาโทแดงที่ผลิตโดยใช้ข้าวหนียวดำร่วมกับ *M. purpureus* TISTR 3002 เป็นสาโทแดงที่ผู้ทดสอบชิมมีความพึงพอใจ เนื่องมาจากวัตถุดิบที่ใช้มีสารสำคัญอยู่ในปริมาณมาก ทำให้ได้สาโทแดงที่มีรสชาติดี และ องค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่ อความพึงพอใจของผู้ทดสอบประกอบกับ ราสายพันธุ์ *M. purpureus* TISTR 3002 ที่สามารถผลิตสารสำคัญที่ทำให้สาโทแดงมีคุณลักษณะที่ดีเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภคด้วย