บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ข้าวมีสีที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นข้าวชนิดพื้นเมืองที่ปลูกในภาคใต้ของประเทศไทย จำนวน 8 ชนิด เป็นข้าวเจ้าจำนวน 3 ชนิด คือ ชนิดสังข์หยด (SY) ชนิดหอมกระดังงา (HK) ชนิดกำหยาน (KN) และข้าวเหนียวจำนวน 5 ชนิดคือ ชนิดกรามแรด (KR) ชนิดข้าวเหนียวแดงรหัส 96060 (RWR96060) ชนิดช่อไม้ไผ่ (CMP) ชนิดข้าวเหนียวดำ รหัส 96025 (BWR96025) และ ชนิดข้าวเหนียวดำ รหัส 96044 (BWR96044) โดยเตรียมให้อยู่ในรูปของข้าวกล้อง ลักษณะข้าวกล้องที่ได้ แสดงดังรูปที่ 5

Figure 5 Pigmented rice samples used in this study

4.1 สมบัติของน้ำสกัดจากข้าวมีสี (pigmented rice water extract, PWE)

ข้าวกล้องจากข้าวมีสีทั้ง 8 ชนิดนำมาสกัดด้วยน้ำ โดยกำหนดสภาวะในการสกัด คือ อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:25 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 15 นาที วิธีการสกัดดังข้อที่ 3.3.2 (บทที่ 3) ศึกษาสมบัติของ PWE ได้ผลดังต่อไปนี้

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.1 ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าการส่องผ่านของแสง

พีเอชของ PWE จากข้าวทั้ง 8 ชนิด มีความเป็นกลางคือ มีค่าอยู่ในช่วง 7.02-7.45 และปริมาณของแข็งของ PWE จากข้าวทั้ง 8 ชนิด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.08-0.13 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เกิดจาก เยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวมีสีที่สกัดออกมาระหว่างการให้ความร้อนขณะสกัดตัวอย่าง สำหรับการส่องผ่านของแสง วิเคราะห์ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ซึ่งบ่งบอกถึงความใสของน้ำสกัด พบว่า PWE จากข้าวกล้องมีสีทั้ง 8 ชนิดมีค่าการส่องผ่านของแสง อยู่ในช่วง 61.76-76.70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

4.1.2 ค่าสี

ค่าสีของ PWE วัดโดยใช้ Hunter Lab ระบบ CIE (L*, a*, b*) ซึ่งค่า L* เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสว่าง ถ้าค่า L* มีค่าสูงแสดงว่ามีความสว่างมาก ส่วนค่า a* เป็นค่าที่แสดงความเข้มของสีแดงหรือสีเขียว โดยถ้า a* ติดลบมากแสดงถึงความมีสีเขียวมาก ในทางตรงข้ามถ้าค่า a* มีค่ามากกว่าศูนย์และเป็นเลขจำนวนบวกมากแสดงถึงความมีสีแดงมาก และค่า b* เป็นค่าที่แสดงความเข้มของสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ถ้าค่า b* ติดลบมากแสดงถึงความมีสีน้ำเงินมาก ในทางตรงข้ามถ้าค่า b* มีค่ามากกว่าศูนย์เป็นเลขจำนวนบวกมากแสดงถึงความมีสีเหลืองมาก จากการวิเคราะห์ค่าสีของ PWE (ตารางที่ 10) พบว่าข้าวมีสีแต่ละชนิดมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 43.66-94.18 และ PWE ชนิด SY มีค่าความสว่างสูงที่สุด ส่วน PWE ของข้าว HK, KN และ RWR96060 มีค่า L* ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ซึ่งเป็นข้าวกลุ่มที่มีสีของเยื่อหุ้มเมล็ดสว่างกว่าข้าวมีสีชนิดอื่นๆ ขณะที่ PWE ชนิด KR, CMP, BWR96044 และ BWR96025 มีค่า L* น้อยลงตามลำดับ สำหรับค่าสีแดง (a*) ของ PWE อยู่ในช่วง 3.30-44.95 โดยที่ PWE ชนิด BWR 96025 มีค่า a* สูงสุด และ PWE ชนิด SY มีค่า a* ต่ำสุด โดย PWE แต่ละชนิดมีค่า a* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ผลการวิเคราะห์ค่า b* ของ PWE ทั้ง 8 ชนิด พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 10.49-45.58 โดย PWE ชนิด SY มีค่า b* น้อยที่สุดคือ 10.49 และ PWE ชนิด BWR96025 มีค่า b* สูงสุดเท่ากับ 45.58 และมีความแตกต่างกับ PWE ชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อพิจารณา PWE ดังกล่าว พบว่า PWE ชนิด BWR96025 มีสีแดงของน้ำสกัดเข้มที่สุด รองลงมาคือ BWR96044, CMP, KR, RWR96060, KN, HK และ SY ซึ่งมีสีของน้ำสกัดที่สว่างที่สุด โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อสีของน้ำสกัดแตกต่างกันนั้นคือสีและรงควัตถุของเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าว ซึ่งมีผลให้สีของน้ำสกัดของข้าวต่างชนิดกันมีสีที่แตกต่างกัน (Escribano-Bailon *et al.,* 2004)

Prince of Songkla University Pattani Campus

จากการศึกษาคุณภาพข้าวมีสีพื้นเมืองมีสีของภาคใต้ประเทศไทย (สัญชัย, 2552) พบว่า สามารถแบ่งข้าวกล้องตามกลุ่มของสีได้เป็น 2 กลุ่มคือ สีม่วงแก่และสีน้ำตาลแดง ข้าวกล้องที่อยู่ในโทนสีม่วงแก่ประกอบด้วย ข้าวชนิด BWR96044 ซึ่งมีสีม่วงคล้ำสุด รองมาคือ ข้าวชนิด BWR96025 และ CMP ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาใน PWE ในการทดลองนี้ ส่วนข้าวกล้องที่มีสีน้ำตาลแดงประกอบด้วย ข้าวชนิด SY มีสีน้ำตาลแดงเข้มสุด รองมาคือข้าวชนิด KR และ RWR96060 ส่วนข้าวกล้อง HK และ KN เป็นข้าวกล้องที่มีสองสี คือเมล็ดกลุ่มหนึ่งเป็นสีเหลืองอ่อนและอีกกลุ่มเป็นสีน้ำตาลแดง

Table 10 Total solid, transmission and color parameters of pigmented rice water extracts*

Rice varieties		pH	Total solid (%)	Transmission (%)	Color parameters		
					L*	a*	b*
Non-waxy rice	SY	7.45±0.03^{e}	0.10±0.01^{bc}	64.86±0.41^{b}	94.18±0.00^{f}	3.30±0.01^{a}	10.49±0.01^{a}
	HK	7.33±0.02^{d}	0.13±0.01^{d}	64.63±0.61^{b}	85.04±0.02^{e}	10.54±0.01^{b}	25.21±0.01^{b}
	KN	7.12±0.02^{b}	0.10±0.00^{bc}	76.30±0.60^{f}	85.57±0.00^{e}	12.04±0.11^{c}	26.02±0.01^{c}
Waxy-rice	KR	7.05±0.03^{a}	0.12±0.00^{d}	61.76±0.25^{a}	80.68±0.01^{d}	17.90±0.01^{e}	35.70±0.00^{e}
	RWR 96060	7.02±0.01^{a}	0.09±0.00^{b}	72.03±0.60^{d}	86.15±0.01^{e}	16.96±0.01^{d}	38.38±0.02^{f}
	CMP	7.14±0.03^{b}	0.11±0.01^{c}	67.67±0.56^{c}	67.87±0.01^{c}	25.19±0.01^{f}	35.15±0.01^{d}
	BWR 96025	7.25±0.01^{c}	0.09±0.01^{b}	74.10±0.36^{e}	43.66±0.01^{a}	44.95±0.01^{h}	45.58±0.03^{h}
	BWR 96044	7.27±0.01^{c}	0.08±0.00^{a}	76.70±0.20^{f}	52.63±0.01^{b}	38.50±0.37^{g}	41.52±0.02^{g}

*Rice grains: water = 1:25, Heating at 100^{o}C for 15 min

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Mean values with different letter in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$)

4.1.3 ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดและปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด

สารประกอบโพลีฟีนอลเป็นสารที่มีความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชัน โดยจะพบมากในพืช และผักที่มีสีแดงไปจนถึงสีม่วงดำ นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในข้าวที่มีรงควัตถุ (ข้าวมีสี) โดยทั่วไปสารประกอบโพลีฟีนอลจะถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด (Escribano-BailÓn *et al*., 2004) การศึกษานี้ได้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดใน PWE จำนวน 8 ชนิด และรายงานปริมาณฟีนอลิกในรูปของกรดแกลลิก เนื่องจากมีการรายงานพบปริมาณสูงในข้าวมีสี สำหรับผลการทดลองพบว่า PWE มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.18-2.19 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ตาราง

Prince of Songkla University Pattani Campus

ที่ 11) และ PWE ชนิด BWR96025 มีปริมาณโพลีฟีนอลสูงสุด รองลงมาคือ BWR96044, CMP, RWR96060, KR, SY, KN และ HK ตามลำดับ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของสัญชัย (2552) ที่พบว่า ข้าวมีสีที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ (พันธุ์ CMP BWR96025 และ BWR96044) มีปริมาณโพลีฟีนอลสูงกว่าข้าวมีสีชนิดซึ่งมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง (พันธุ์ SY KN HK KR และ RWR96060) นอกจากนี้ยังรายงานว่า ปริมาณสารโพลีฟีนอลที่สกัดมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าว โดยที่ข้าวกล้องที่มีความยาวของเมล็ดมาก ทำให้มีพื้นผิวของเยื่อหุ้มเมล็ดมากด้วย ดังนั้นปริมาณสารสกัดที่ได้จะมีปริมาณสารโพลีฟีนอลสูงไปด้วย โดยสีของเยื่อหุ้มเมล็ดมีความสัมพันธ์กับปริมาณของโพลีฟีนอลอย่างมีนัยสำคัญ คือ ถ้าเยื่อหุ้มเมล็ดมีสีที่เข้มก็จะมีปริมาณโพลีฟีนอลสูง นั่นคือส่งผลให้ปริมาณสารโพลีฟีนอลที่สกัดได้แตกต่างกัน โดยสารโพลีฟีนอลมักพบอยู่ในชั้นของเยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งสร้างพันธะโควาเลนท์กับสารโพลีเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ เมล็ดพืชที่มีสีของเยื่อหุ้มเมล็ดเข้ม มักพบว่ามีปริมาณของโพลีฟีนอลสูงด้วย (Choi *et al*., 2007)

สารประกอบโพลีฟีนอลจะสกัดได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว และตัวทำละลายที่มีขั้วสูงกว่าก็จะสามารถสกัดปริมาณสารได้มากกว่า (Escribano-Bailon *et al*., 2004) การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้เอธานอลในการสกัด เนื่องจาก เอธานอลได้รับความนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารมากกว่าเมธานอล และมีปริมาณสารตกค้างในผลิตภัณฑ์น้อยกว่าตัวทำละลายอื่นๆ (Chiriboga and Francis, 1970) จากการสกัดข้าวมีด้วยตัวทำละลาย โดยใช้สัดส่วนของข้าวต่อตัวทำละลายเช่นเดียวกับการสกัดด้วยน้ำคือ 1:25 พบว่า สารสกัดที่ได้มีปริมาณโพลีฟีนอลได้สูงกว่าสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ A1)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 11 Total polyphenol and total anthocyanin contents of pigmented rice water extracts*

Rice varieties		Total polyphenol (mg GAE/ml extracts)	Total anthocyanin (mg Cy-3-G/ml extracts)
Non-waxy rice	SY	0.28 ± 0.00^{b}	0.19 ± 0.00^{b}
	HK	0.18 ± 0.01^{a}	0.11 ± 0.00^{a}
	KN	0.26 ± 0.02^{b}	0.16 ± 0.01^{b}
Waxy-rice	KR	0.73 ± 0.02^{c}	0.45 ± 0.00^{c}
	RWR 96060	0.81 ± 0.02^{d}	0.45 ± 0.00^{c}
	CMP	0.96 ± 0.07^{e}	0.53 ± 0.01^{d}
	BWR 96025	2.19 ± 0.02^{g}	0.99 ± 0.02^{e}
	BWR 96044	2.16 ± 0.04^{f}	0.96 ± 0.03^{e}

*Rice grains: water = 1:25, Heating at 100°C for 15 min

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Mean values with different letter in the same column are significantly different ($p\leq0.05$)

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินใน PWE ด้วยวิธีความแตกต่างของค่าพีเอช (pH different method) โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ซึ่งมีความยาวคลื่นสูงสุดที่ใช้ในการวัดเท่ากับ 500 นาโนเมตร และรายงานในรูปของ cyanidin-3-glucoside เนื่องจากพบสารประกอบชนิดนี้มากในข้าวมีสี (Escribano-Bailon *et al*., 2004) จากผลการทดลอง (ตารางที่ 11) พบว่า PWE จากข้าว 8 ชนิดมีปริมาณแอนโธไซยานินอยู่ในช่วง 0.11-0.99 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดย PWE ในกลุ่มของข้าวเหนียว (KR, RWR96060, CMP, BWR96025 และ BWR96044) มีปริมาณแอนโธไซยานินสูงกว่าน้ำสกัดที่ได้จากกลุ่มของข้าวเจ้า (SY, HK และ KN) โดยน้ำสกัดที่มีค่าความสว่าง (L*) น้อยจะมีแนวโน้มว่ามีปริมาณแอนโธไซยานินที่สูง ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a*) ของ PWE เกิดจากรงควัตถุให้สีที่มีอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าว โดยที่ PWE ที่สกัดได้ปริมาณของรงควัตถุมากก็จะมีผลให้ PWE มีสีที่เข้มกว่า PWE ที่สกัดได้ปริมาณของสารรงควัตถุน้อย จึงส่งผลให้มีปริมาณของแอนโธไซยานินที่สูงอีกด้วย (Escribano-BailÓn *et al*., 2004) นอกจากนี้ปริมาณแอนโธไซยานินยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารโพลีฟีนอล ถ้าน้ำสกัดมีปริมาณแอนโธไซยานินสูงก็จะมีปริมาณโพลีฟีนอลสูงด้วย เนื่องจากแอนโธไซยานินเป็นสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก

Prince of Songkla University Pattani Campus

ส่วนการสกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่า เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายมีผลให้สารสกัดมีปริมาณแอนโธไซยานินสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ A1) โดยสอดคล้องกับการทดลองของ Chiriboga and Francis (1970) พบว่า การสกัดสารแอนโธไซยานินจากผลแกรนเบอรรี่ด้วยเอธานอลมีประสิทธิภาพสูงกว่าการสกัดด้วย น้ำ อะซีโตน เอธิลลีนไกลคอน โพรพีลีนไกลคอล เมธิลเอธิลคีโตน นอกจากนี้ภัทราภรณ์ (2545) พบว่า การสกัดแยกสารแอนโธไซยานินในดอกกระเจี๊ยบโดยใช้เมธานอลผสมกับกรดไฮโดรคลอริกจะให้ปริมาณแอนโธไซยานินมากกว่าการสกัดด้วยน้ำกลั่นและเมธานอล

4.1.4 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ PWE ทั้ง 8 ชนิด โดยทดสอบกับอนุมูลอิสระ 3 ชนิดคือ $DPPH^{\cdot}$ $ABTS^{+}$ และ SRSA ผลการศึกษา (รูปที่ 6) ดังต่อไปนี้

$DPPH^{\cdot}$ (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) เป็นอนุมูลอิสระที่เกิดจากอนุมูลของไนโตรเจนมีสีม่วงเข้มและละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ไม่ละลายน้ำ ซึ่งการศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในการรวมตัวกับอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่เสถียรในสารละลาย และกำหนดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระกับอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะขึ้นอยู่กับการลดลงของความเข้มข้นของ $DPPH^{\cdot}$ โดยเมื่ออนุมูล $DPPH^{\cdot}$ ได้รับ Hydrogen atom จากสาร PWE สารละลายสีม่วงจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง จากการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ PWE ทั้ง 8 ชนิด พบว่า PWE ทั้ง 8 ชนิดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดย PWE ในกลุ่มของข้าวเหนียว (KR, RWR96060, CMP, BWR96025 และ BWR96044) มีความสามารถกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ สูงกว่า (52.38-67.82 เปอร์เซ็นต์) PWE ของกลุ่มข้าวเจ้า (SY, HK และ KN) ซึ่งมีค่า 31.31-39.59 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 6 (a) โดยชนิดที่มีความสามารถสูงสุด 3 อันดับแรกคือ BWR96025, BWR96044 และ CMP จากการทดลองจะเห็นได้ว่า PWE ที่มีปริมาณสารโพลีฟีนอลและแอนโธไซยานินสูง จะมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ สูงด้วย ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของสัญชัย (2552) ที่พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ได้จากข้าวมีสีชนิดพื้นเมืองภาคใต้ของประเทศไทย โดยพบว่า สารสกัดจากข้าวกล้องชนิด BWR96044 และ BWR96025 มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ ได้สูงกว่าสารสกัดที่ได้จากข้าวมีสีชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ Iqbal *et al*. (2005) รายงานว่า ความสามารถในการกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ ของสารสกัดขึ้นอยู่กับปริมาณสารโพลีฟีนอลที่สกัดได้ และจากการศึกษาของ

Prince of Songkla University Pattani Campus

Chotimarkorn *et al*. (2008) พบว่า ข้าวที่มีรงควัตถุมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ ได้สูงกว่าข้าวที่ไม่มีรงควัตถุ และพบว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ แปรผันตรงกับปริมาณสารโพลีฟีนอลที่สกัดได้เช่นเดียวกัน

อนุมูล $ABTS^{+}$ เป็นอนุมูลอิสระประเภทไอออนบวก ก่อนที่จะนำมาใช้จะต้อง generate radical โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate, $K_2S_2O_8$) จะกลายเป็นสีน้ำเงินอมเขียว และเมื่อได้รับ Hydrogen atom จาก PWE จะทำให้อนุมูล $ABTS^{+}$ ลดลง (สีจางลง) สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 414 นาโนเมตร อนุมูล $ABTS^{+}$ จะทำปฏิกิริยาระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระกับอนุมูลได้อย่างรวดเร็ว ในสภาวะที่เป็นกรดจนถึงกลาง โดยอนุมูล $ABTS^{+}$ จะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำจึงใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้กว้างกว่าวิธีการใช้อนุมูล $DPPH^{\cdot}$ จากรูปที่ 6 (a และ b) พบว่า PWE มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล $ABTS^{+}$ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดย PWE ในกลุ่มของข้าวเหนียว (KR, RWR96060, CMP, BWR96025 และ BWR96044) ซึ่งมีปริมาณโพลีฟีนอลสูงมีความสามารถกำจัดอนุมูล $ABTS^{+}$ มากกว่าในกลุ่มของข้าวเจ้า (SY, HK และ KN) เท่ากับ 68.13-84.02 เปอร์เซ็นต์ และ 31.39-53.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ PWE ชนิด BWR96025 มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล $ABTS^{+}$ ไม่แตกต่างกับน้ำสกัดที่ได้จากข้าวมีสีชนิด BWR96044 ($p>0.05$) จากการทดลองจะเห็นได้ว่า PWE มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล $ABTS^{+}$ ได้สูงกว่าอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ เนื่องจากการกำจัดอนุมูล $ABTS^{+}$ เหมาะกับการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลาย จากการทดลองพบว่า PWE ชนิด BWR96025 มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล $ABTS^{+}$ ได้ดีที่สุด และรองลงมาคือ BWR96044, CMP, RWR96060, KR, HK, KN และ SY ตามลำดับ และจากการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของสัญชัย (2551) รายงานว่า สารสกัดที่ได้จากข้าวกล้อง BWR96044 มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล $ABTS^{+}$ สูงสุด และความสามารถในการกำจัดอนุมูล $ABTS^{+}$ มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารโพลีฟีนอล คือ ข้าวกล้อง BWR96044 มีปริมาณสารโพลีฟีนอลสูง ทำให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูล $ABTS^{+}$ สูงตามไปด้วย

อนุมูลอิสระ superoxide จัดเป็นอนุมูลที่มีความแรงในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง ซึ่งสามารถออกซิไดซ์สารชีวเคมีต่างๆ ในร่างกายและทำให้เกิดอนุมูลอิสระต่อเนื่องอีกหลากหลายชนิด การศึกษาความสามารถในการยับยั้ง superoxide anion radical (O_2^{-}, SRSA) โดยการสังเคราะห์ O_2^{-} จากปฏิกิริยาออกซิเดชันในระบบ phenazine methosulphate (PMS), nicotinamide adenine dinucleotide (NADH) อนุมูล O_2^{-} ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับสาร nitroblue tetrazolium (NBT) เกิดเป็นสารสีน้ำเงิน ถ้าสารสกัดมีความสามารถในการยับยั้ง SRSA radical จะ

Prince of Songkla University Pattani Campus

ทำให้สีจางลงได้ จากการศึกษาพบว่า PWE ทั้ง 8 ชนิดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล SRSA แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลการศึกษาดังรูปที่ 6 (c) โดย PWE ในกลุ่มของข้าวเหนียว (KR, RWR96060, CMP, BWR96025 และ BWR96044) มีความสามารถกำจัดอนุมูล SRSA สูงกว่า PWE ในกลุ่มของข้าวเจ้า (SY, HK และ KN) เท่ากับ 1.34-3.91 เปอร์เซ็นต์ และ 0.83-1.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ PWE ชนิด BWR96025 มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล SRSA สูงสุดคือ 3.91 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ BWR96044, CMP, RWR96060, KR, KN, SY และ HK ตามลำดับ

สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ พบว่าสารสกัดที่สกัดด้วยตัวทำละลายจะมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง 3 ชนิด คือ $DPPH^{\cdot}$ $ABTS^{+}$ และ SRSA (ตารางภาคผนวกที่ A2) ดังนั้นการสกัดด้วยตัวทำละลายสามารถสกัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำ

Prince of Songkla University Pattani Campus

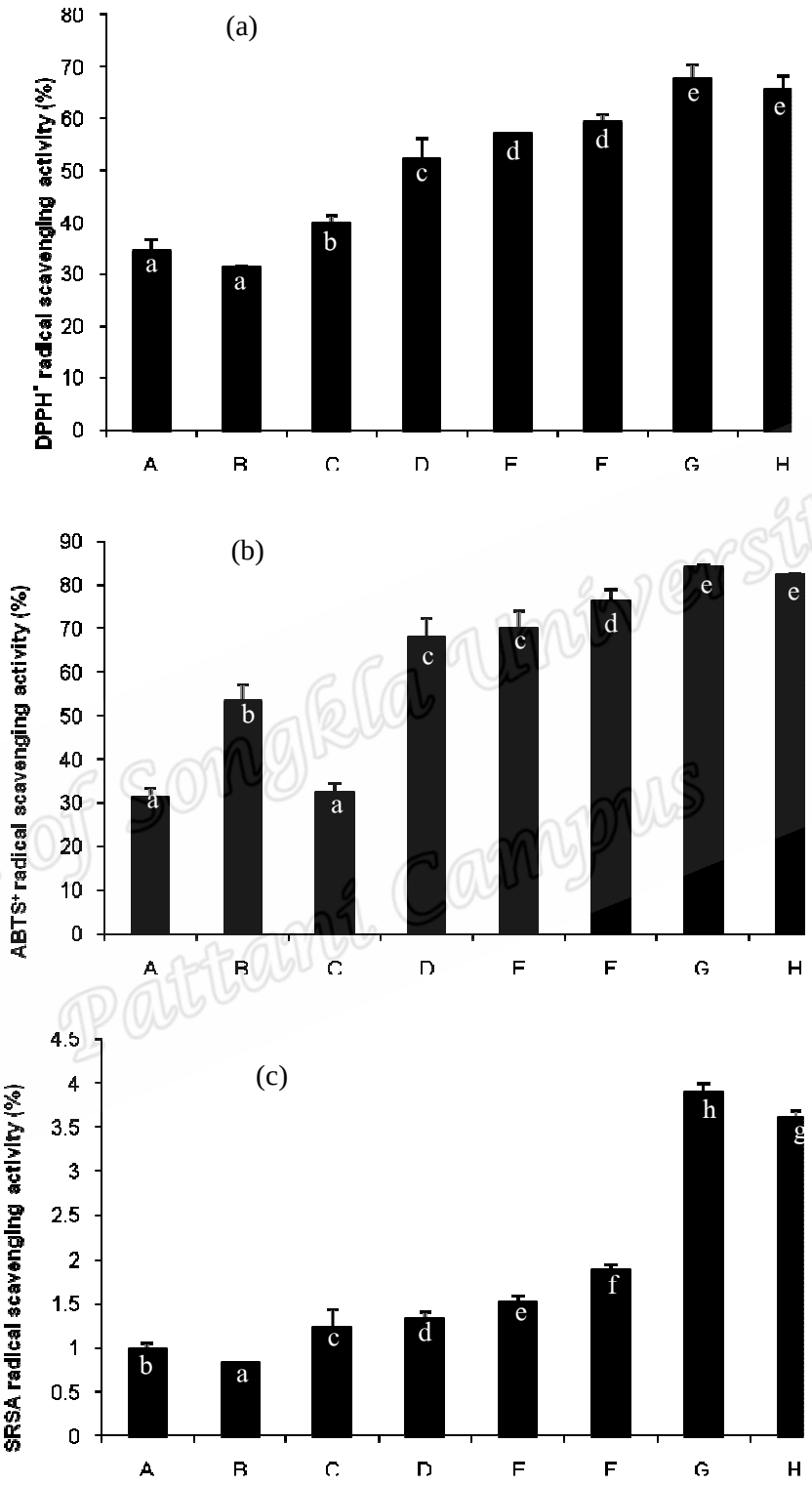


Figure 6 Radical inhibition of pigmented rice water extracts (0.1 mg/ml) from pigmented rice. (a) $DPPH^{\bullet}$, (b) $ABTS^{+}$ and (c) SRSA ; A = SY; B= HK; C= KN; D = KR; E= RWR96060; F= CMP; G= BWR96025;H = BWR96044

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำสกัดจากข้าวมีสี

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางกายภาพ (พีเอช ปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่าการส่องผ่านของแสง และค่าสี) และทางเคมี (โพลีฟีนอล แอนโธไซยานิน และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ) ของ PWE ด้วยวิธี Pearson Correlation ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพต่างๆ ที่มีค่า 0.8 ขึ้นไป ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมดกับค่าการส่องผ่านของแสง ค่าความสว่างกับปริมาณโพลีฟีนอล ค่าความสว่างกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง 3 ชนิด ค่าสีแดงกับปริมาณโพลีฟีนอล ค่าสีแดงกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง 3 ชนิด ค่าสีเหลืองกับปริมาณโพลีฟีนอล ค่าสีเหลืองกับความสามารถในการกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ และ $ABTS^{+}$ และปริมาณโพลีฟีนอลกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำคุณภาพดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์ พบว่า มีความสัมพันธ์ในรูปของสมการเส้นตรงแสดงดังตารางที่ 13

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 12 Correlation between pH ,total solid, transmission, color, polyphenol, anthocyanin and antioxidant activity

	pH	Total solid	Transmission	L*	a*	b*	polyphenol	anthocyanin	$DPPH^{\cdot}$	$ABTS^{+}$	SRSA
pH	1	0.260	-0.444*	0.362	-0.391	-0.347	-0.346	-0.450*	-0.277	-0.084	-0.443*
Total solid	0.260	1	-0.794**	0.416*	-0.425*	-0.266	-0.426*	-0.398	-0.456*	-0.185	-0.609**
Transmission	-0.444*	-0.794**	1	-0.501*	0.521**	0.455*	0.421*	0.731**	0.462	0.199	0.619**
L*	0.362	0.416*	-0.501*	1	-0998**	-0.778**	-0.911**	-0.455*	-0.827**	-0.794**	-0.963**
a*	-0.391	-0.425*	0.521**	-0998**	1	0.808**	0.916**	0.456*	0.851**	0.808**	0.966**
b*	-0.347	-0.266	0.455*	-0.778**	0.808**	1	0.794**	0.223	0.891**	0.901**	0.739**
polyphenol	-0.346	-0.426*	0.421*	-0.911**	0.916**	0.794**	1	0.140	0.873**	0.794**	0.913**
anthocyanin	-0.450*	-0.398	0.731**	-0.455*	0.456*	0.223	0.140	1	0.169	0.040	0.451*
$DPPH^{\cdot}$	-0.277	-0.456*	0.462	-0.827**	0.851**	0.891**	0.873**	0.169	1	0.880**	0.839**
$ABTS^{+}$	-0.084	-0.185	0.199	-0.794**	0.808**	0.901**	0.794**	0.880**	0.880**	1	0.730**
SRSA	-0.443*	-0.609**	0.619**	-0.963**	0.966**	0.739**	0.913**	0.839**	0.839**	0.730**	1

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 13 Relationship between total solid, transmission, color, polyphenol and antioxidant activity of pigmented rice extracts

	Linear equation	R^2
Total solid x Transmission	y = -289.4x + 100.7	0.630
L* x polyphenol	y = -24.93x + 95.20	0.830
L* x $DPPH^{\cdot}$	y = -0.647x + 99.09	0.684
L* x $ABTS^{+}$	y = -0.920x + 130.9	0.630
L* x SRSA	y = -0.626x + 65.85	0.927
a* x polyphenol	y = 20.02x + 4.061	0.838
a* x $DPPH^{\cdot}$	y = 0.832x + 33.65	0.723
a* x $ABTS^{+}$	y = 1.172x + 38.06	0.658
a* x SRSA	y = 0.787x + 2.857	0.933
b* x polyphenol	y = 13.37x + 21.25	0.630
b* x $DPPH^{\cdot}$	y = 1.132x + 14.24	0.793
b* x $ABTS^{+}$	y = 1.696x + 7.424	0.811
polyphenol x $DPPH^{\cdot}$	y = 18.68x + 35.36	0.761
polyphenol x $ABTS^{+}$	y = 25.18x + 41.40	0.630
polyphenol x SRSA	y = 16.26x + 5.637	0.833

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.5.1 ค่าการส่องผ่านของแสงและปริมาณของแข็งทั้งหมด

ผลการทดลองพบว่า ค่าการส่องผ่านของแสงจะแปรผกผันกับปริมาณของแข็งทั้งหมดของ PWE และมีความสัมพันธ์แบบสมการเส้นตรงในเชิงลบ ซึ่งมีสมการเส้นตรงและค่าความเชื่อมั่นแสดงดังตารางที่ 13 กล่าวคือหาก PWE มีค่าการส่องผ่านของแสงสูงก็จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำ

4.1.5.2 ค่าสี ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ

ค่า L* ของ PWE ยังมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับปริมาณโพลีฟีนอลและความสามารถในการกำจัดอนุมูลทั้ง 3 ชนิด ($DPPH^{\cdot}$ $ABTS^{+}$ และ SRSA) ส่วน ค่า a* และ b* มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณโพลีฟีนอลและความสามารถในการกำจัดอนุมูลทั้ง 3 ชนิด และมีสมการเส้นตรงแสดงดังตารางที่ 13 กล่าวคือ PWE ที่มีค่าความสว่างน้อย มีค่าสีแดงและเหลืองเพิ่มขึ้น จะมีปริมาณโพลีฟีนอลมากขึ้น นอกจากนี้ค่า a* ของ PWE ยังมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง 3 ชนิด ($DPPH^{\cdot}$, $ABTS^{+}$ และ SRSA) อีกด้วย โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ $y = 0.832x + 33.65$ (R^2 เท่ากับ 0.723) $y = 1.172x + 38.06$ (R^2 เท่ากับ 0.653) และ $y = 0.787x + 2.857$ (R^2 เท่ากับ 0.933) ตามลำดับ ดังตารางที่ 13 กล่าวคือ PWE ที่มีความเข้มของสีแดงสูงก็จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย

4.1.5.3 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ

สำหรับปริมาณโพลีฟีนอลของ PWE มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลทั้ง 3 ชนิด โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ $y = 18.68x + 35.36$ (R^2 เท่ากับ 0.761) $y = 25.18x + 41.40$ (R^2 เท่ากับ 0.630) และ $y = 16.26x + 5.637$ (R^2 เท่ากับ 0.833) ตามลำดับ ดังตารางที่ 13 กล่าวคือ PWE ที่มีมีปริมาณโพลีฟีนอลสูง ก็จะมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงด้วย

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.6 ผลของการเก็บ 7 วันต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ

เมื่อเก็บ PWE เป็นเวลา 7 วัน พบว่า สมบัติของ PWE มีการเปลี่ยนแปลง โดย มีค่าพีเอช และปริมาณของแข็งลดลง แต่จะมีค่าการส่องผ่านของแสงเพิ่มขึ้น โดยความสามารถในการส่องผ่านของแสงจะแปรผกผันกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้และมีความแตกต่างกันกับวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางภาคผนวกที่ A3) ซึ่งอาจเนื่องจากของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำสกัดเกิดการตกตะกอน และการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำสกัดในวันที่ 7 ไม่มีการเขย่าตัวอย่าง จึงมีผลให้ PWE มีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง เมื่อปริมาณของแข็งใน PWE ลดลงส่งผลให้น้ำสกัดมีความใสมากขึ้นจึงมีผลให้ค่าการส่องผ่านของแสงของน้ำสกัดเพิ่มขึ้นได้

นอกจากนี้การเก็บรักษา PWE มีผลต่อค่าสี โดยพบว่า PWE มีค่าพีเอชลดลงเพียงเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในช่วงพีเอชที่เป็นกลาง ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำสกัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่าการส่องผ่านของแสง และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น PWE มีค่าความเป็นสีแดง (a*) (ตารางภาคผนวกที่ A4) ลดลง ซึ่งเนื่องจากระยะเวลาในการเก็บนานขึ้นมีผลให้รงควัตถุแอนโธไซยานินในน้ำสกัดเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้ปริมาณที่วัดได้ในรูปของ flavylium cation ลดลง (Cavalcanti *et al*., 2011) จึงมีผลให้วัดค่าสีแดงใน PWE ลดลง นอกจากนี้เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บนานขึ้นยังมีผลให้น้ำสกัดมีค่า b* เพิ่มขึ้นอีกด้วย ส่วนปริมาณโพลีฟีนอลและแอนโธไซยานิน พบว่า มีปริมาณลดลงและมีความแตกต่างกันกับวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางภาคผนวกที่ A5) อธิบายได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และส่งผลต่อโครงสร้างของแอนโธไซยานินเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยแอนโธไซยานินที่อยู่ในรูปของ flavylium catiton (มีสีแดง) จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอื่น และการวิเคราะห์ปริมาณของแอนโธไซยานินจะวัดในโครงสร้างของ flavylium catiton เท่านั้น จึงส่งผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินใน PWE มีปริมาณลดลงได้ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า PWE มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง 3 ชนิด ($DPPH^{\cdot}$, $ABTS^{+}$ และ SRSA) ลดลงและมีความแตกต่างกันกับวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ A6) ซึ่งความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (สารโพลีฟีนอลและแอนโธไซยานิน) โดยเมื่อสารต้านอนุมูลอิสระใน PWE ลดลงจึงส่งผลให้ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำสกัดลดลงด้วย (Iqbal *et al.*, 2005; Choi *et al*., 2007; Shen *et al*., 2008)

จากผลการทดลองสามารถคัดเลือกข้าวมีสีที่มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่มีปริมาณสูงสุด และการลดลงของปริมาณสารดังกล่าวเมื่อเก็บรักษาในวันที่ 7 อยู่ในระดับที่น้อยกว่า ได้แก่ ข้าวมีสีชนิด RWR 96060 BWR96025 และ BWR

96044 โดยทุกชนิดเป็นข้าวเหนียวมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลแดงและ 2 ชนิดหลังมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงดำ ข้าวมีสีทั้ง 3 ชนิดนี้ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปต่อ PWE ในตอนที่ 4.2 ต่อไป

4.2 ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสมบัติของ PWE

จากการทดลองในข้อ 4.1 ได้คัดเลือก PWE 3 ชนิด คือ RWR96060, BWR96025 และ BWR96044 เนื่องจากมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) รวมถึง การลดลงของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ใน PWE ดังกล่าวมีอัตราการลดลงน้อยกว่า PWE ชนิดอื่นๆ เพื่อใช้ในการศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปต่อสมบัติของน้ำสกัด ได้แก่ ผลของอุณหภูมิ อัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำและระยะเวลาในการสกัด ผลการศึกษาเป็นดังต่อไปนี้

4.2.1. ผลของอุณหภูมิ

ศึกษาผลของอุณหภูมิการให้ความร้อนต่อสมบัติของ PWE โดยกำหนดอุณหภูมิการสกัด 4 ระดับคือ 60, 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ดังวิธีการทดลองในข้อ 3.3.3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติ PWE เป็นดังนี้

4.2.1.1 ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าการส่องผ่านของแสง

ค่าพีเอชของ PWE พบว่า อุณหภูมิในการสกัด มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของ PWE อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และระหว่างชนิดของข้าวมีสีมีค่าพีเอชต่างกันเล็กน้อย อย่างไรก็ตามน้ำสกัดทุกชุดการทดลองมีค่าพีเอชในช่วงเป็นกลาง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.51-7.64 (ตารางที่ 14)

สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมด พบว่า อุณหภูมิการสกัดมีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัด มีผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของ PWE เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส PWE ทุกชนิดมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดที่อุณหภูมิสูงมีผลให้เยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวมีสีมีการหลุดมากขึ้น นอกจากนี้มีผลให้เนื้อเมล็ดส่วนที่เป็นแป้งหลุดออกมาด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมดใน PWE จึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตามพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส PWE ชนิด BWR96025 และ BWR96044 มีปริมาณของแข็งที่ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ดังตารางที่ 14

สำหรับค่าการส่องผ่านของแสง พบว่า อุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อการส่องผ่านของแสงใน PWE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าค่าการส่องผ่านของแสงจะมีค่า

Prince of Songkla University Pattani Campus

ลดลงตามอุณหภูมิในการสกัดที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณา PWE ชนิดเดียวกัน พบว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าการส่องผ่านของแสงสูงสุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้ผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันในข้าวทั้ง 3 ชนิด นอกจากนี้เป็นที่สังเกตได้ว่าการส่องผ่านของแสงแปรผกผันกับปริมาณของแข็งทั้งหมด

Figure 7 Pigmented rice extracts from BWR96025 which different extracting temperature

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.1.2 ค่าสี

สำหรับค่าสีของ PWE พบว่า อุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดจะมีผลให้น้ำสกัดมีความสว่างลดลงหรือสีเข้มขึ้น (รูปที่ 7) เมื่อสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีค่าความสว่างของ PWE สูงสุด รองลงมาคืออุณหภูมิ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาในข้าวทั้ง 3 ชนิด เป็นไปในทำนองเดียวกันซึ่งความสว่างของน้ำสกัดมีความสัมพันธ์กับค่าการส่องผ่านของแสง กล่าวคือ เมื่อน้ำสกัดมีค่าการส่องผ่านของแสงสูงจะมีผลให้มีค่าความสว่างสูงตามไปด้วย

ค่าความเป็นสีแดง (a*) พบว่า อุณหภูมิการสกัดมีผลต่อค่าสีแดง (a*) ของน้ำสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ ค่า a* เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 60, 80 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 120 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันในข้าวทั้ง 3 ชนิด ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิในการสกัดที่เพิ่มขึ้นมีผลให้สามารถสกัดสารรงควัตถุในบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวมีสีได้มากขึ้น แต่การสกัดที่อุณหภูมิสูง (120 องศาเซลเซียส) เกิดการสูญเสียรงควัตถุทำให้ค่า a* ของ PWE ลดลงได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อการสกัดสารรงควัตถุบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดของเมล็ดข้าวมีสีได้มากขึ้น แต่อัตรา

การสลายตัวของสารรงควัตถุให้สีดังกล่าว จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Kirca *et al*., 2007) ส่วนผลการวิเคราะห์ค่า b* พบว่า อุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อค่า b* ของน้ำสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคืออุณหภูมิการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า b* เพิ่มขึ้น ตามลำดับ และผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันในข้าวทั้ง 3 ชนิด ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะสามารถสกัดรงควัตถุได้มากขึ้นและมีผลให้น้ำสกัดมีค่า b* เพิ่มสูงขึ้นได้ (ตารางที่ 14)

Prince of Songkla University
Pattani Campus

Table 14 Effect of extracting temperature on total solid, transmission, pH and color parameters of pigmented rice water extracts

Rice varieties	Heating temperature (^{0}C)	pH	Transmission (%)	Total solid (%)	Color parameters		
					L*	a*	b*
RWR96060	60	7.67±0.01^{a}	99.76±0.15^{d}	0.02±0.00^{a}	98.89±0.01^{d}	0.57±0.01^{a}	2.35±0.01^{a}
	80	7.65±0.03^{a}	97.96±2.40^{c}	0.04±0.00^{b}	97.26±0.01^{c}	1.93±0.00^{b}	5.42±0.01^{b}
	100	7.63±0.02^{a}	72.20±0.69^{b}	0.09±0.00^{c}	86.31±0.01^{b}	18.68±0.00^{d}	38.96±0.02^{c}
	120	7.63±0.04^{a}	68.23±3.17^{a}	0.29±0.01^{d}	80.78±0.00^{a}	12.52±0.01^{c}	43.76±0.01^{d}
BWR96025	60	7.54±0.01^{a}	97.93±2.89^{b}	0.03±0.00^{a}	94.57±0.01^{d}	4.11±0.01^{a}	6.95±0.01^{a}
	80	7.57±0.07^{a}	95.36±0.05^{b}	0.04±0.00^{a}	87.82±0.01^{c}	9.96±0.00^{b}	11.61±0.01^{b}
	100	7.53±0.02^{a}	74.16±0.35^{a}	0.09±0.00^{b}	43.61±0.01^{b}	52.60±0.01^{d}	43.28+0.01^{c}
	120	7.51±0.00^{a}	71.93±1.24^{a}	0.45±0.01^{c}	42.57±0.00^{a}	44.95±0.01^{c}	45.47±0.04^{d}
BWR96044	60	7.58±0.02^{c}	98.93±0.15^{c}	0.03±0.00^{a}	94.14±0.01^{d}	4.42±0.01^{a}	7.52±0.00^{a}
	80	7.52±0.01^{a}	96.96±0.55^{c}	0.04±0.00^{a}	86.84±0.01^{c}	10.81±0.01^{b}	12.38±0.01^{b}
	100	7.57±0.02^{bc}	74.40±0.55^{b}	0.08±0.00^{b}	52.01±0.01^{b}	42.62±0.00^{d}	41.18±0.06^{c}
	120	7.53±0.01^{ab}	66.10±4.51^{a}	0.53±0.02^{c}	42.53±0.00^{a}	38.96±0.02^{c}	44.01±0.01^{d}

Rice grains:water = 1:25, Heating duration = 15 min

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Mean values with different letter in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.1.3 ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด

ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของ PWE 3 ชนิด พบว่า อุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อปริมาณโพลีฟีนอลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มจาก 60, 80 ถึง 100 องศาเซลเซียส มีผลให้ปริมาณโพลีฟีนอลสูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จะมีผลให้ปริมาณสารลดลง (ตารางที่ 15) โดยการสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส PWE ที่ได้ จะมีปริมาณโพลีฟีนอลสูงสุด Wachtel-Galor (2008) พบว่า การให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพลีฟีนอลในผักได้

4.2.1.4 ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด

สำหรับปริมาณสารแอนโธไซยานิน พบว่า การเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทำนองเดียวกันกับปริมาณสารโพลีฟีนอล กล่าวคืออุณหภูมิการสกัดมีผลต่อปริมาณแอนโธไซยานินอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 15) และผลการทดลองในข้าวทั้ง 3 ชนิดเป็นไปในทำนองเดียวกันและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดจนถึง 120 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณแอนโธไซยานินใน PWE ทั้ง 3 ชนิด ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารอาจถูกทำลายด้วยความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณของสารแอนโธไซยานินลดลง อาจเนื่องจากอุณหภูมิมีผลให้โครงสร้างของแอนโธไซยานินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ chalcone มากขึ้น โดยการเปลี่ยนโครงสร้างของแอนโธไซยานินจะเปลี่ยนโครงสร้างของ flavylium cation ไปอยู่ในรูปของ quinonoidal base และสารประกอบอื่นๆ เช่น coumarin และน้ำตาลแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ flavylium cation สามารถเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็น carbinol base และเปลี่ยนสร้างเป็น chalcone ซึ่งไม่มีสีสามารถเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่นเกิดเป็นผลิตภัณฑ์สีน้ำตาลได้ (Cavalcanti *et al*., 2011) ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นจึงมีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินลดลงได้

ผลการศึกษาครั้งนี้มีความคล้ายคลึงกับผลการศึกษาของดวงกมล (2551) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิการสกัดแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำ (55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมีผลให้การสกัดมีปริมาณแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ ที่อุณหภูมิ 62-65 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Ju and Howard (2003) พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัดผิวองุ่นแดง (20-140 องศาเซลเซียส) มีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้น และพบว่าอุณหภูมิที่สามารถสกัดปริมาณสารได้มากที่สุดคือ 100 องศาเซลเซียส และปริมาณสารแอนโธไซยานินลดลง เมื่ออุณหภูมิการสกัดสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสูญเสียระหว่างการสกัด ส่วน Camire *et al* (2007) รายงานว่า การแปรรูปอาหารเช้าที่มีผลไม้กลุ่มเบอร์รี่ (บลูเบอร์รี่ องุ่น แครนเบอร์รี่ และราสเบอร์รี่) เป็นส่วนผสม ด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

Prince of Songkla University Pattani Campus

(อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส) มีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าลดลง 99.90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณแอนโธไซยานินในวัตถุดิบเริ่มต้น น้ำค้างและสุจิตรา (2550) ศึกษาการสกัดสารแอนโธไซยานินจากซังข้าวโพดไร่สีม่วง โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 70-160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่า สารแอนโธไซยานินสามารถทนความร้อนได้สูงสุดอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส โดยสังเกตจากสีที่ไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส จะเกิดตะกอนสีดำในน้ำสกัด

Table 15 Effect of extracting temperature on total polyphenol and anthocyanin contents of the pigmented rice water extracts

Rice varieties	Extracting temperature (^{0}C)	Total polyphenol (mg GAE/ ml extracts)	Total anthocyanin (mg Cy-3-G/ml extracts)
RWR96060	60	0.43±0.01^b	0.19±0.00^b
	80	0.67±0.01^c	0.35±0.00^c
	100	0.84±0.01^d	0.46±0.01^d
	120	0.11±0.00^a	0.08±0.00^a
BWR96025	60	0.66±0.02^b	0.21±0.01^b
	80	1.30±0.02^c	0.42±0.01^c
	100	2.18±0.01^d	0.99±0.02^d
	120	0.15±0.01^a	0.12±0.00^a
BWR96044	60	0.62±0.01^b	0.21±0.00^b
	80	0.96±0.01^c	0.37±0.01^c
	100	2.14±0.04^d	0.96±0.03^d
	120	0.13±0.01^a	0.10±0.01^a

Rice grains:water = 1:25, heating duration = 15 min

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Mean values with different letter in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.1.5 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$, $ABTS^{+}$ และ SRSA อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลอง (ตารางที่ 16) จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัด (60-100 องศาเซลเซียส) PWE จะมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น และจะลดลงที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพลีฟีนอลและแอนโธไซยานิน อันเนื่องจากอุณหภูมิในการสกัด ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ซึ่งผลการศึกษาเป็นไปในทำนองเดียวกันใน PWE ทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 16) โดยพบว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส PWE ของข้าวทั้ง 3 ชนิดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลทั้ง 3 ชนิด ($DPPH^{\cdot}$, $ABTS^{+}$ และ SRSA) สูงสุด

Table 16 Effect of extracting temperature on scavenging activity of pigmented rice water extracts (0.03 mg/ml)

Rice varieties	Extracting temperature (^{0}C)	Radical scavenging activity (%)		
		$DPPH^{\cdot}$	$ABTS^{+}$	SRSA
RWR96060	60	8.72 ± 0.44^{b}	11.78 ± 0.04^{b}	0.35 ± 0.00^{b}
	80	10.26 ± 0.50^{c}	17.08 ± 0.15^{c}	0.49 ± 0.03^{c}
	100	18.95 ± 0.10^{d}	23.37 ± 1.26^{d}	0.50 ± 0.01^{d}
	120	1.85 ± 0.05^{a}	3.25 ± 0.07^{a}	0.11 ± 0.00^{a}
BWR96025	60	12.79 ± 0.39^{b}	11.19 ± 0.36^{b}	0.71 ± 0.02^{b}
	80	14.95 ± 0.88^{c}	24.65 ± 0.56^{c}	0.97 ± 0.01^{c}
	100	22.06 ± 0.33^{d}	28.00 ± 0.21^{d}	1.29 ± 0.03^{d}
	120	3.99 ± 0.05^{a}	4.01 ± 0.22^{a}	0.02 ± 0.01^{a}
BWR96044	60	10.22 ± 0.54^{b}	10.48 ± 0.33^{b}	0.46 ± 0.01^{b}
	80	14.28 ± 0.97^{c}	23.64 ± 0.74^{c}	0.80 ± 0.03^{c}
	100	21.97 ± 0.72^{d}	27.44 ± 0.11^{d}	1.21 ± 0.02^{d}
	120	3.98 ± 0.12^{a}	3.61 ± 0.17^{a}	0.18 ± 0.01^{a}

Rice grains:water = 1:25, heating duration = 15 min

Mean value $\pm$ standard deviation of triplicates.

Mean value with different letter in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

จากการศึกษาอุณหภูมิในการสกัด พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของ PWE สูงที่สุด

4.2.2 ผลของสัดส่วนข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อน

ศึกษาผลของสัดส่วนของข้าวต่อน้ำ 3 ระดับ (1:5, 1:15 และ 1:25) และระยะเวลาการสกัด (15, 20, 25 และ 30 นาที) โดยกำหนดอุณหภูมิการสกัดที่ 100 องศาเซลเซียส (ดังผลการศึกษาข้อ 4.2.1) วิเคราะห์สมบัติ PWE ให้ผลดังนี้

4.2.2.1 ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าการส่องผ่านของแสง

ค่าพีเอช พบว่า สัดส่วนของข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อค่าพีเอชของ PWE อย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) โดย PWE มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.31-7.55 (รูปที่ 8 และตารางภาคผนวกที่ A7)

Prince of Songkla University Pattani Campus

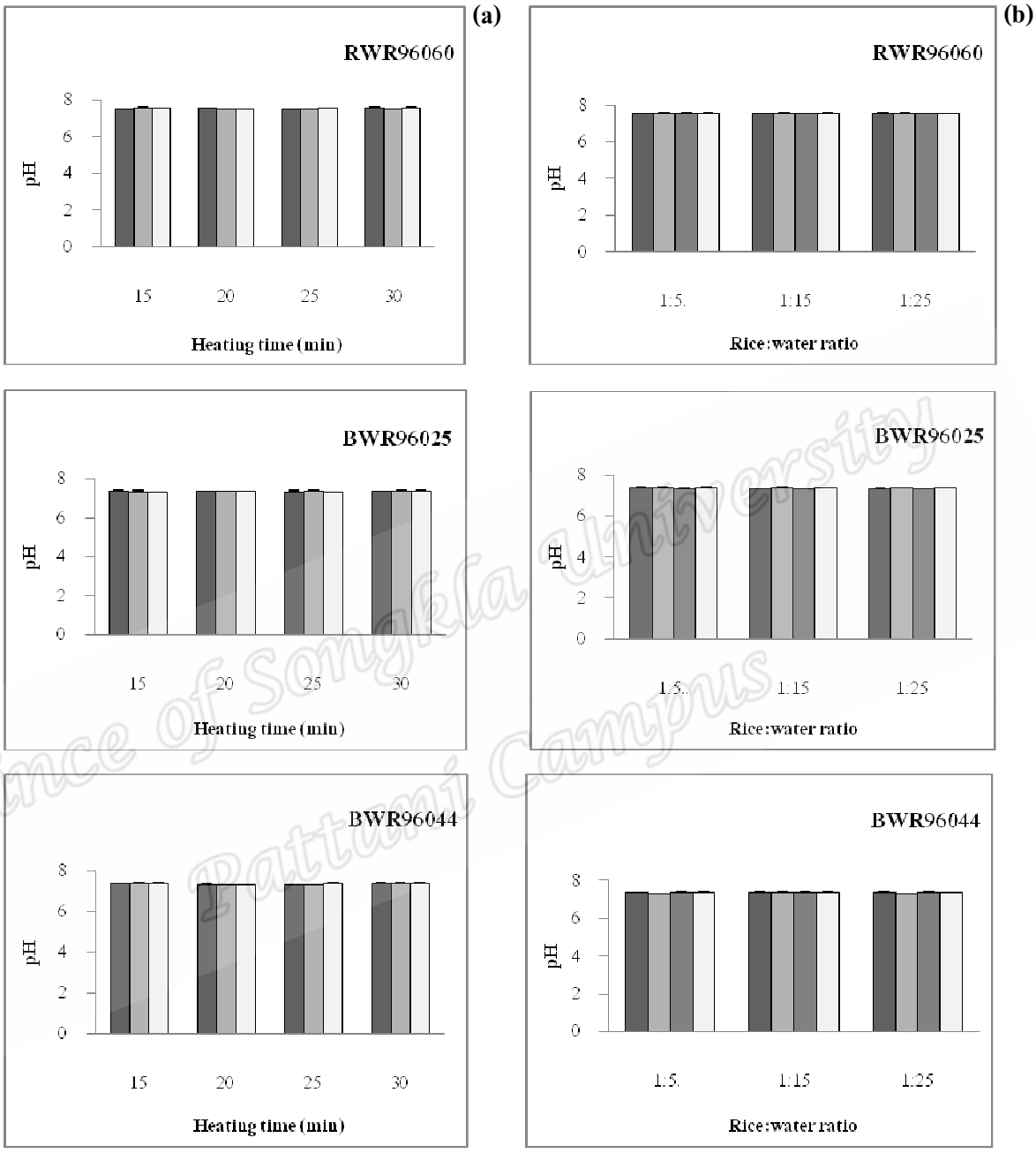


Figure 8 Effect of heating time at 100°C (a) and rice:water ratio (b) on pH of pigmented rice extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด พบว่า สัดส่วนของข้าวต่อน้ำระยะเวลาการให้ความร้อนและอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดของ PWE ในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงตามสัดส่วนของข้าวต่อน้ำที่เพิ่มขึ้น และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น (รูปที่ 9 และตารางภาคผนวกที่ A7) โดยผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันในข้าวทั้ง 3 ชนิด ทั้งนี้เนื่องจาก สัดส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ PWE เกิดการเจือจางของน้ำสกัดมากขึ้น มีผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำสกัดลดลง ขณะที่เมื่อระยะเวลาการสกัดที่เพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสกัดมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นการแตกหักของสารจากเยื่อหุ้มเมล็ดและโมเลกุลในเมล็ดข้าวเกิดมากขึ้นและถูกปลดปล่อยสู่น้ำสกัด โดยจากการทดลองพบว่า ที่สัดส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:5 และระยะเวลาการสกัด 30 นาที PWE จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงสุดใน PWE ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งผลการศึกษานี้เป็นไปในทำนองเดียวกันกับการศึกษาของดวงกมล (2551) ที่พบว่า เมื่อระยะเวลาในการสกัดสารแอนโธไซยานินในข้าวเหนียวดำสูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสกัดสูงขึ้นด้วย

Prince of Songkla University Pattani Campus

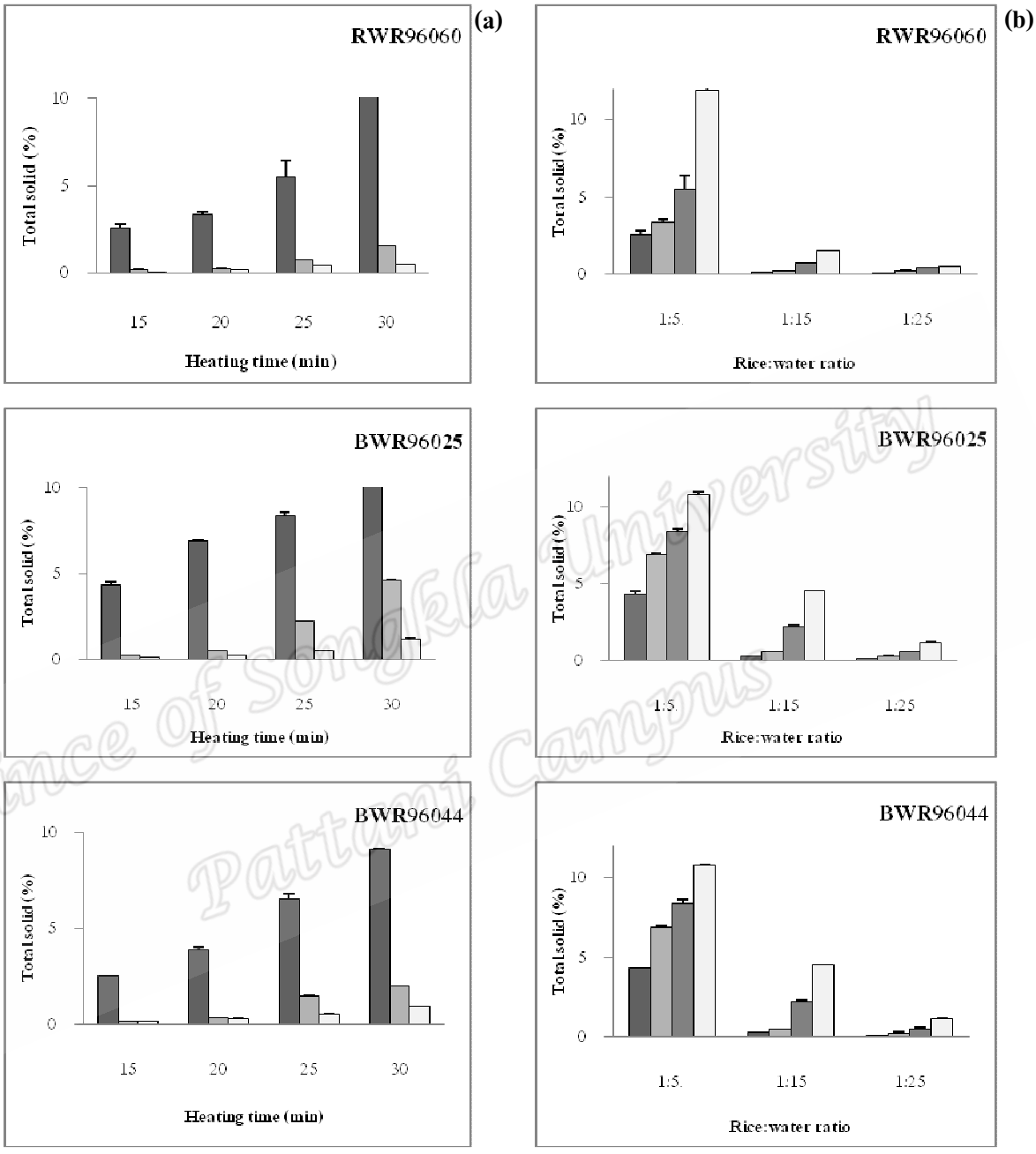


Figure 9 Effect of heating time at 100°C (a) and rice:water ratio (b) on total solid content of pigmented rice extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

ผลการวิเคราะห์การส่องผ่านของแสงใน PWE พบว่า สัดส่วนข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อนและอิทธิพลร่วมกันระหว่าง 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อค่าการส่องผ่านของแสงของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าการส่องผ่านของแสงของ PWE ในทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของข้าวต่อน้ำที่เพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัด โดยผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันใน PWE ของข้าวทั้ง 3 ชนิด (รูปที่ 10 และตารางภาคผนวกที่ A7) ทั้งนี้เนื่องจาก สัดส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ PWE มีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นและเกิดการเจือจางของน้ำสกัดมากขึ้น มีผลให้ค่าการส่องผ่านของแสงของน้ำสกัดสูงขึ้นได้ สำหรับระยะเวลาการสกัดที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสกัดเพิ่มขึ้นดังได้กล่าวแล้วข้างต้น จึงทำให้ค่าการส่องผ่านของแสงในน้ำสกัดมีค่าลดลง จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าการส่องผ่านของแสงใน PWE เป็นไปในทางตรงข้ามกับค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด

Prince of Songkla University Pattani Campus

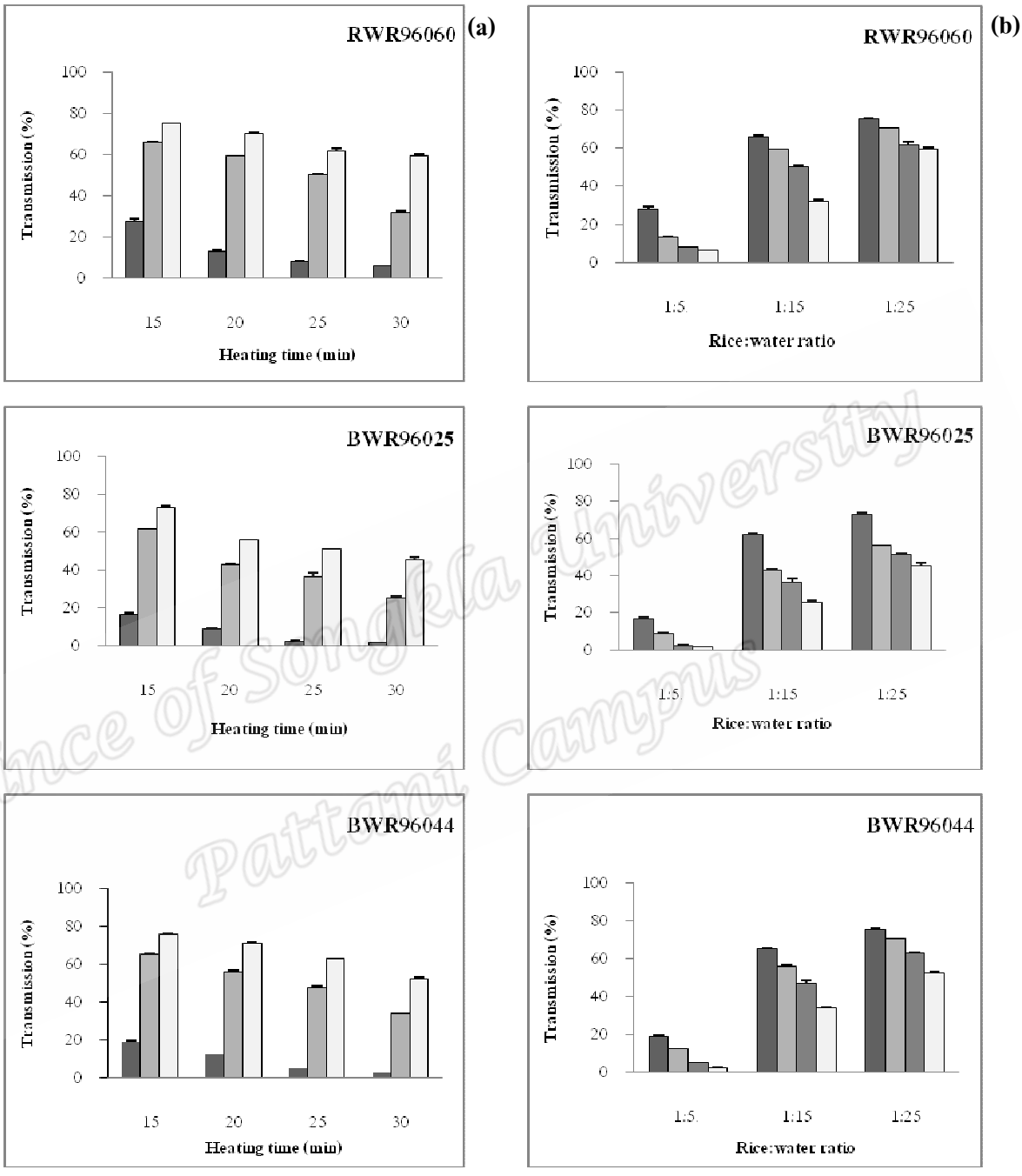


Figure 10 Effect of heating time at 100°C (a) and rice:water ratio (b) on transmission of pigmented rice extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.2.2 ค่าสี

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของ PWE ด้วยเครื่อง Hunter Lab วัดค่าในระบบ CIE (L*, a*, b*) พบว่า สัดส่วนของข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือเมื่อปริมาณน้ำในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลให้ความสว่าง ของ PWE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองเป็นเช่นนี้ เนื่องจาก เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้สกัดเพิ่มขึ้นมีผลให้ น้ำสกัดจะมีความเข้มที่ลดลงส่งผลให้ความสว่างเพิ่มขึ้น น้ำสกัดจะมีค่าความสว่างลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อระยะเวลาการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณสารให้สีที่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดถูกสกัดมากขึ้น ทำให้น้ำสกัดมีความเข้มของสีเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นความสว่างของน้ำสกัดจึงลดลงได้ จากผลการศึกษา PWE ชนิด RWR96060, BWR96025 และ BWR96044 จะมีค่า L* สูงสุดที่สัดส่วนของข้าวต่อน้ำ 1:25 และระยะเวลาการสกัดที่ 15 นาที มีค่าเท่ากับ 82.54, 42.83 และ 56.52 ตามลำดับ (รูปที่ 11 และตารางภาคผนวกที่ A8)

Prince of Songkla University Pattani Campus

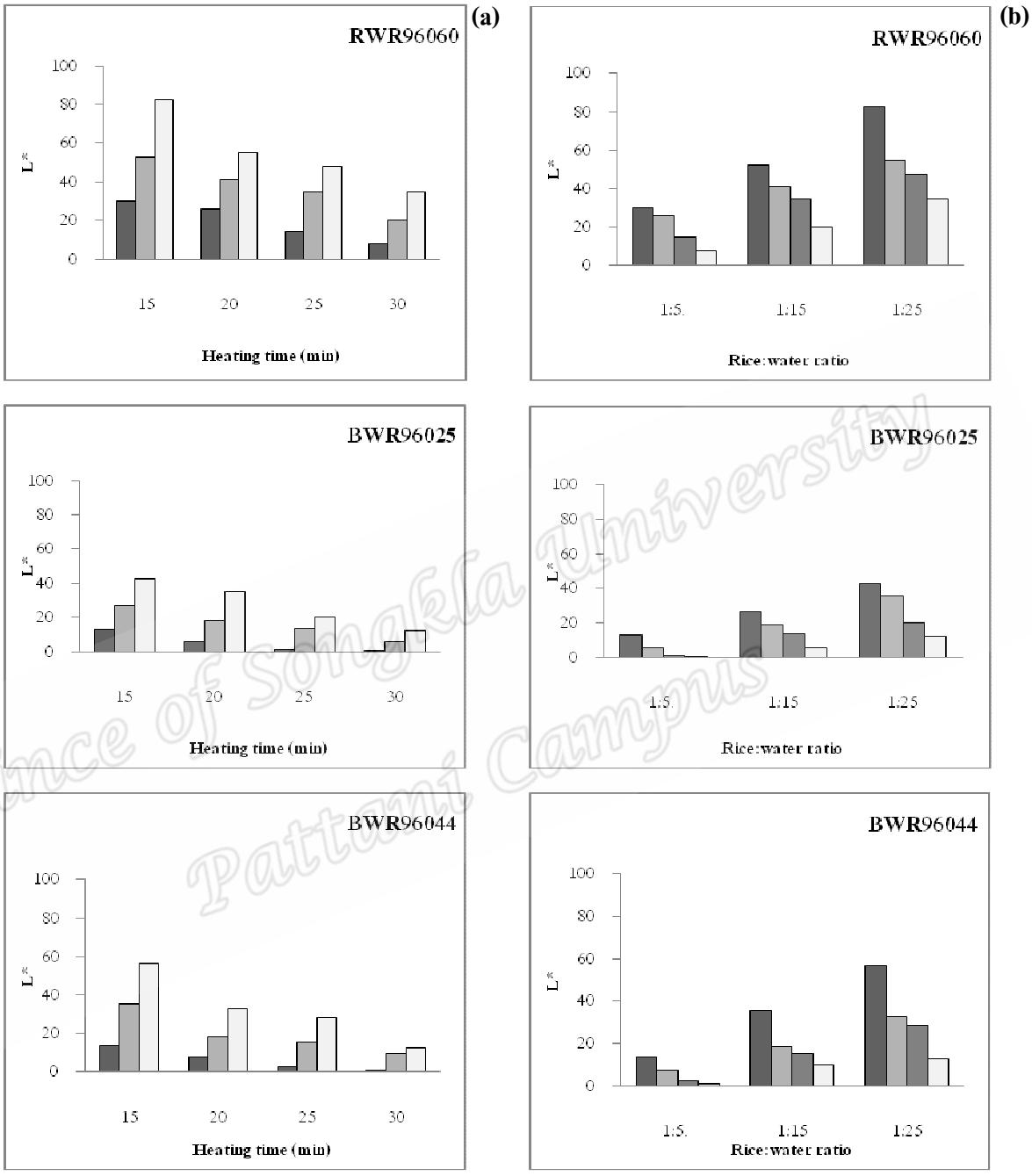


Figure 11 Effect of heating time at 100°C (a) and rice:water ratio (b) on L* value of pigmented rice extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

สำหรับค่าสีแดง (a*) พบว่า สัดส่วนของข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อนและอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* ของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวมีสีชนิด RWR96060 มีค่า a* ลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของข้าวต่อน้ำและมีค่า a* เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัด ซึ่งต่างกับ PWE ชนิด BWR96025 และ BWR96044 ซึ่งจะมีค่า a* เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของข้าวต่อน้ำและมีค่า a* ลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัด ทั้งนี้เนื่องจากข้าวชนิด BWR96025 และ BWR96044 เป็นข้าวเหนียวดำ เมื่อสกัดแล้ว PWE จะมีสีแดง แต่เมื่อสัดส่วนของข้าวต่อน้ำที่เพิ่มขึ้นน้ำสกัดที่ได้จะมีที่เข้มขึ้นไปจนถึงดำเนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นสีดำ ส่วน PWE ทำให้เมื่อวัดค่า a* มีค่าลดลงได้ แต่ PWE ที่สกัดจากข้าวชนิด RWR96060 เมื่อสัดส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นน้ำสกัดจะมีสีแดงเข้มขึ้น (เยื่อหุ้มเมล็ดเป็นสีแดง) ทำให้เมื่อวัดค่า a* ใน PWE มีค่าสูงขึ้นได้ ซึ่งผลการทดลองเป็นลักษณะเช่นเดียวกับเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัด โดยที่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดมีผลให้น้ำสกัดที่ได้จากข้าวมีสีชนิด BWR96025 และ BWR96044 มีความเข้มของสีมากขึ้นและสีของน้ำสกัดจะมีสีม่วงปนดำ จึงมีผลให้วัดค่าสีแดงได้ในค่าที่น้อย นอกจากนี้เป็นไปในทำนองเดียวกันสำหรับ PWE ที่สกัดจากข้าวชนิด RWR96060 (สีแดงเข้มขึ้น)

Prince of Songkla University Pattani Campus

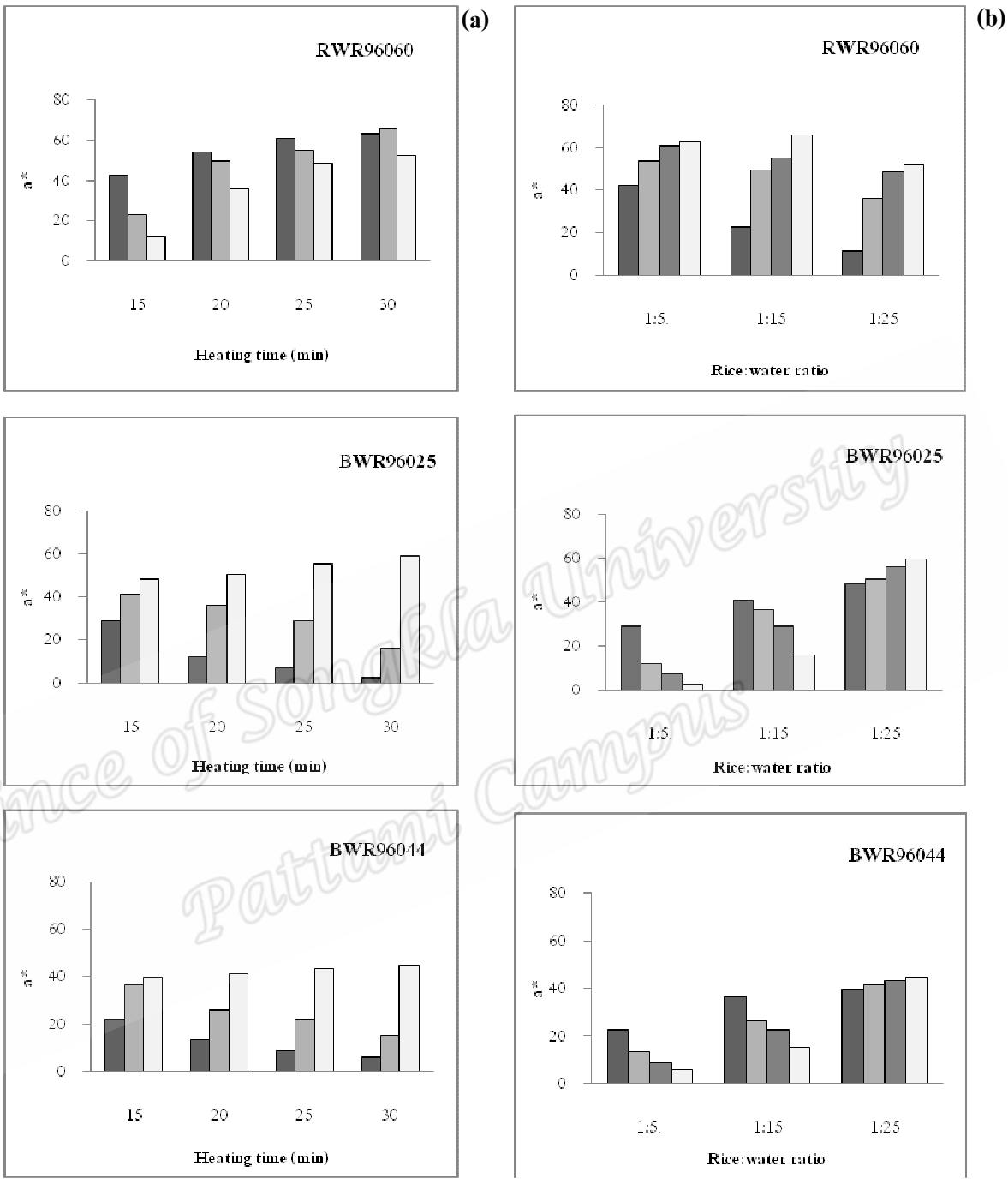


Figure 12 Effect of heating time at 100°C (a) and rice:water ratio (b) on a* value of pigmented rice extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

นอกจากนี้สัดส่วนของข้าวต่อน้ำ และระยะเวลาการให้ความร้อนและอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า b* ของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อสัดส่วนของข้าวต่อน้ำที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า b* ของ PWE ชนิด RWR96060 ลดลง แต่มีผลให้ค่า b* ของ PWE ชนิด BWR96025 และ BWR96044 มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าสีแดงที่ลดลงทำให้ PWE มีสีที่อ่อนลงและแสดงความเป็นสีเหลืองมากขึ้น ทำให้ PWE มีค่า b* เพิ่มขึ้นได้ และอิทธิพลร่วมทั้ง 2 ชนิดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า b* ในPWEในทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า สัดส่วนของข้าวต่อน้ำที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาการให้ความร้อนที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของค่า b* ของ PWE (BWR96025 และ BWR96044) โดยสัดส่วนของข้าวต่อน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า b* ของ PWE มากกว่าระยะเวลาการให้ความร้อน

Prince of Songkla University Pattani Campus

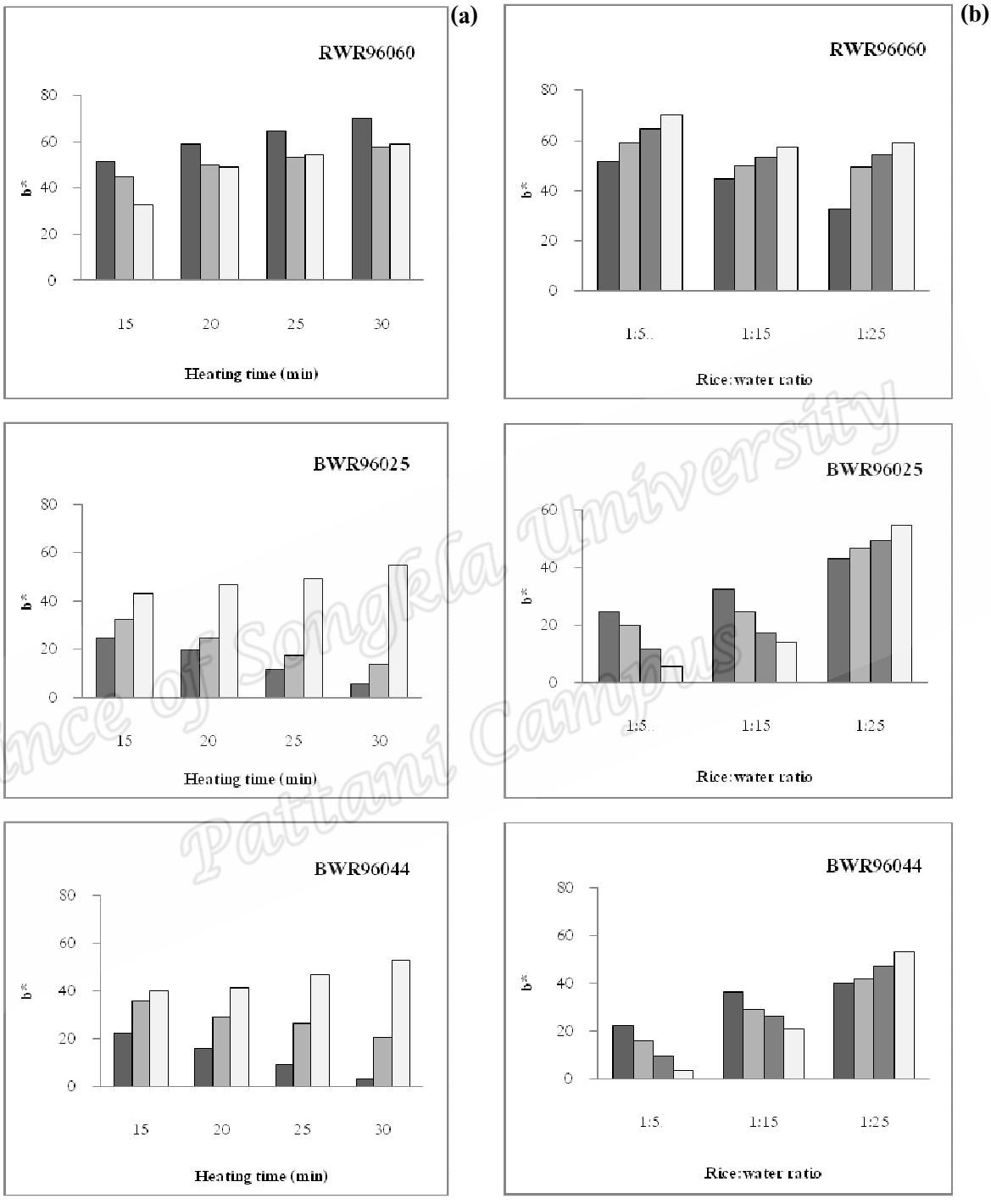


Figure 13 Effect of heating time at 100°C (a) and rice:water ratio (b) on b* value of pigmented rice extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.2.3 ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด

ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (รูปที่ 14 และตารางภาคผนวกที่ A9) พบว่า สัดส่วนของข้าวต่อน้ำและระยะเวลาในการสกัดและอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดใน PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของน้ำสกัดจะมีปริมาณลดลงตามสัดส่วนของข้าวต่อน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยที่สัดส่วน 1:5 ให้ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุด ในข้าวทั้ง 3 ชนิด (รูปที่ 14 และตารางภาคผนวกที่ A9) ระยะเวลาการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลให้น้ำสกัดมีปริมาณโพลีฟีนอลเพิ่มขึ้นด้วยและระยะเวลาการสกัด 30 นาทีให้ปริมาณโพลีฟีนอลสูงสุด เช่นน้ำสกัดจากข้าว BWR96044 (ที่สัดส่วนข้าวต่อน้ำ 1:5) ที่ระยะเวลาการสกัด 15 20 25 และ 30 นาที มีปริมาณพลีฟีนอลเท่ากับ 4.50, 4.59, 4.73 และ 4.91 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารดังกล่าวจะอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวมีสีเมื่อสัดส่วนปริมาณน้ำในการสกัดน้อยมีผลให้ความเข้มข้นของปริมาณสารสกัดสูง และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการสกัดมีผลให้ตัวทำละลาย ซึ่งในการสกัดครั้งนี้จะใช้น้ำในการสกัดสามารถที่จะสัมผัสกับบริเวณของเยื่อหุ้มเมล็ดนานขึ้น มีผลให้การสกัดได้ปริมาณสารเพิ่มสูงขึ้นได้ จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีและปริมาณโพลีฟีนอล พบว่า ค่า a* และ b* ของ PWE มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณโพลีฟีนอล คือเมื่อ PWE มีความเข้มมากขึ้นก็จะมีปริมาณโพลีฟีนอลมากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสัญชัย (2552) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีและปริมาณโพลีฟีนอล พบว่า ค่าสีของเมล็ดข้าวกล้องมีความสัมพันธ์แบบสมการเส้นตรงเชิงลบกับปริมาณสารโพลีฟีนอล กล่าวคือ เมล็ดข้าวกล้องที่มีค่าความสว่างน้อย และมีค่าสีแดงและม่วงเพิ่มขึ้น จะพบปริมาณสารโพลีฟีนอลมากขึ้น นั่นคือ PWE ที่มีค่า L* น้อยและมีค่า a* ที่สูงน้ำสกัดจะมีสีที่เข้มและมีปริมาณสารโพลีฟีนอลสูงได้

Prince of Songkla University Pattani Campus

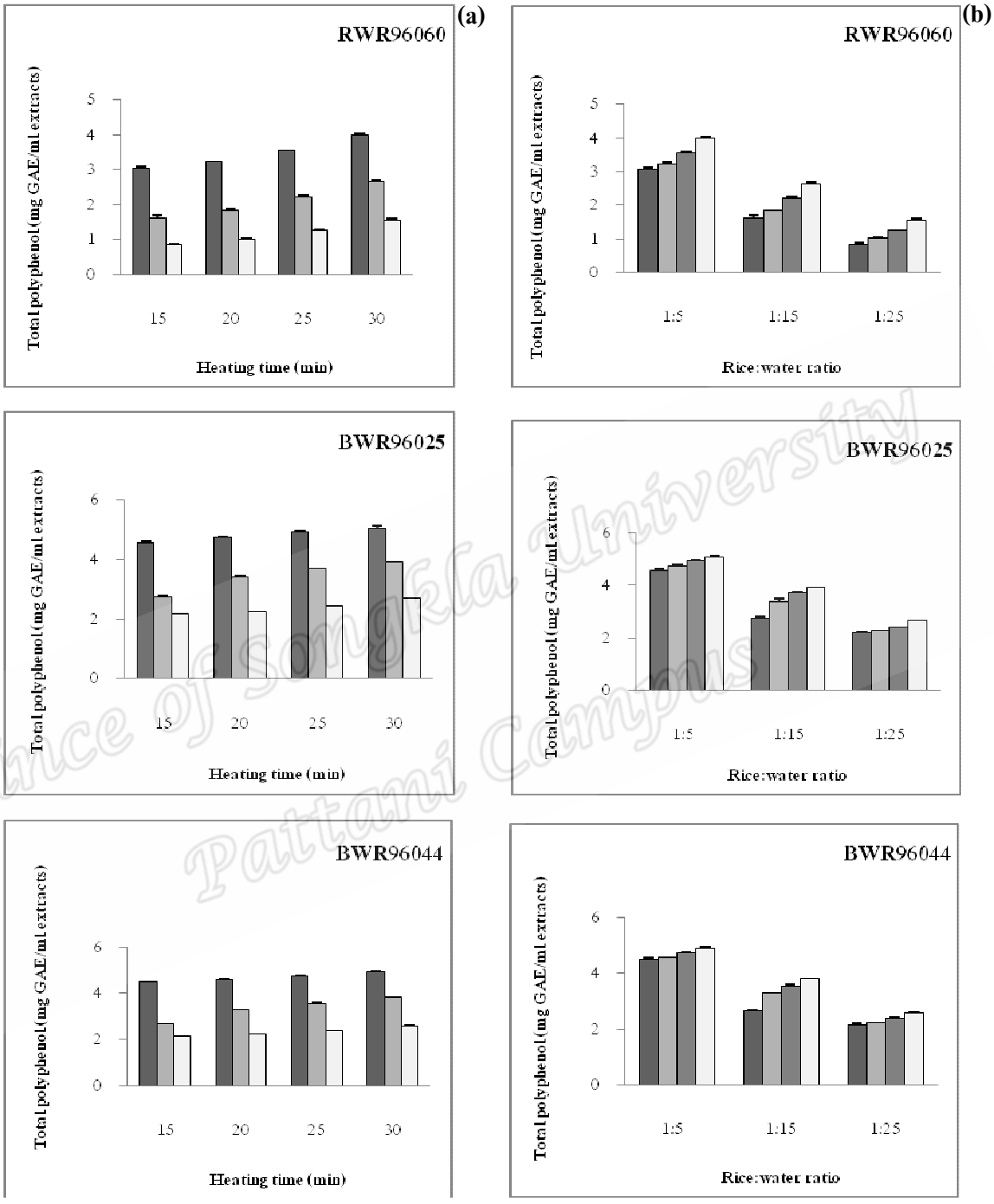


Figure 14 Effect of heating time at 100°C (a) and rice:water ratio (b) on total polyphenol content of pigmented rice extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.2.4 ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดใน PWE พบว่า สัดส่วนของข้าวต่อน้ำระยะเวลาในการให้ความร้อนและอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโธไซยานินใน PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยสัดส่วนของข้าวต่อน้ำที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินใน PWE ลดลงเนื่องจากน้ำสกัดมีความเจือจางมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดมีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินใน PWE สูงขึ้นด้วย โดยที่สัดส่วนของข้าวต่อน้ำ 1:5 และระยะเวลาการสกัด 30 นาที จะให้ PWE ที่มีปริมาณแอนโธไซยานินสูงสุดซึ่งผลการศึกษาเป็นไปในทำนองเดียวกันในข้าวทั้ง 3 ชนิด สัดส่วนนี้และระยะเวลาการสกัดมีผลต่อปริมาณแอนโธไซยานินใน PWE เช่นเดียวกันกับที่มีผลต่อปริมาณโพลีฟีนอล นอกจากนี้ค่าสีแดง (a*) ซึ่งแสดงถึงการให้สีของสารแอนโธไซยานินใน PWE พบว่า PWE ที่มีค่า a* สูงหรือน้ำสกัดมีความเข้มมาก ก็จะมีปริมาณแอนโธไซยานินที่สูงด้วย Chumsri *et al* (2008) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำกระเจี๊ยบ โดยกำหนดสัดส่วนในการสกัด 3 ระดับคือ 1:2, 1:5 และ 1:10 พบว่า เมื่อสัดส่วนของตัวทำละลายเพิ่มขึ้นสารสกัดจะมีปริมาณแอนโธไซยานินลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ดวงกมล (2548) ที่ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำ ซึ่งสกัดที่สัดส่วนของข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1:3 และ 1:6 พบว่า การสกัดที่สสัดส่วน 1:3 ได้สารสกัดที่มีปริมาณแอนโธไซยานินสูงกว่าการสกัดที่สัดส่วน 1:6

Prince of Songkla University Pattani Campus

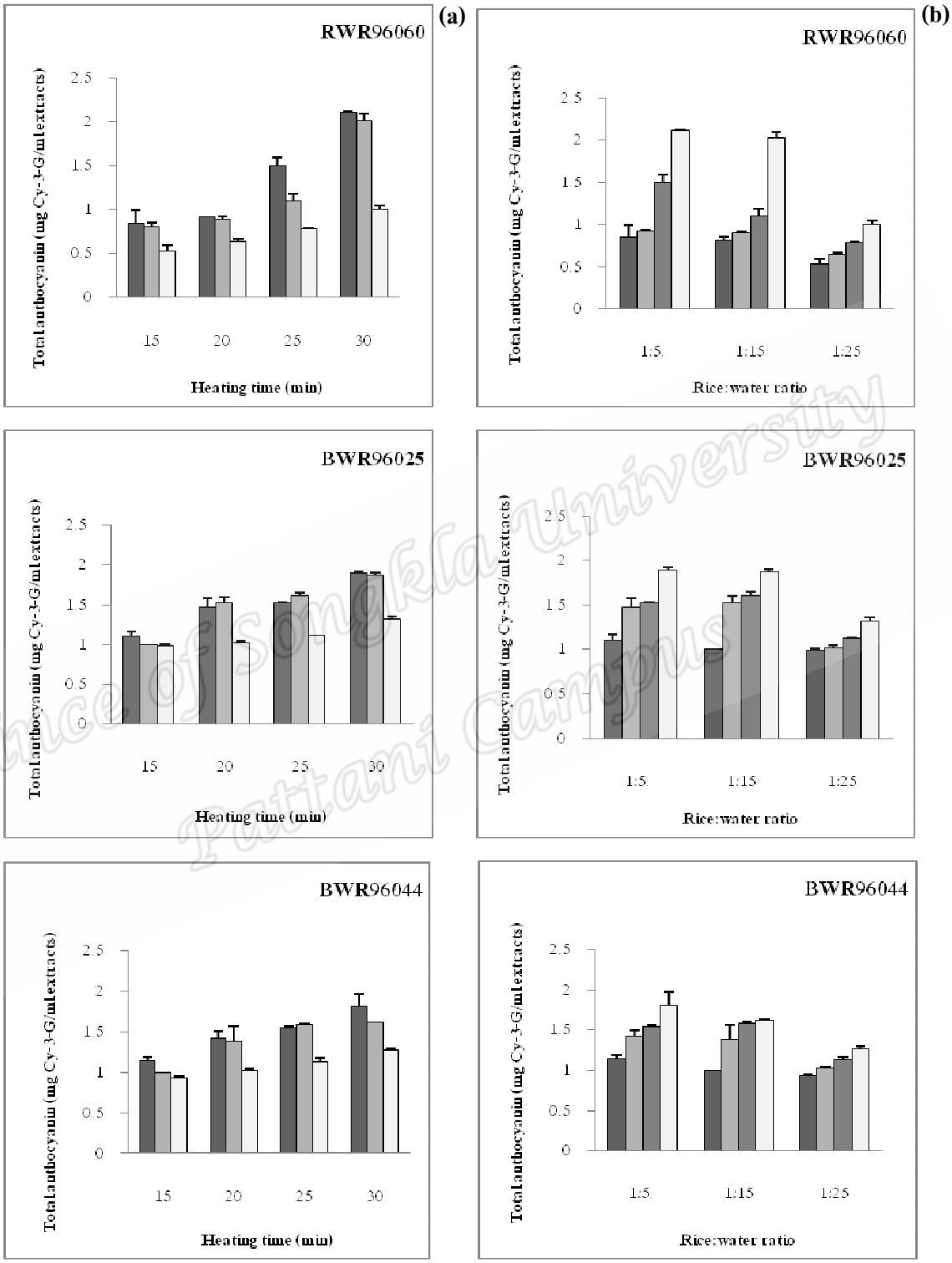


Figure 15 Effect of heating time at 100°C (a) and rice:water ratio (b) on total anthocyanin content of pigmented rice extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.2.5 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ PWE ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ (สารโพลีฟีนอลและแอนโธไซยานิน) โดยที่เมื่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำสกัดมีปริมาณสูงจะส่งผลให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ PWE แสดงดังรูปที่ 16, 17 และ 18 (ตารางภาคผนวกที่ A10) พบว่า สัดส่วนส่วนของข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อการความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง 3 ชนิด ($DPPH^{\cdot}$, $ABTS^{+}$ และ SRSA) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อปริมาณน้ำในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลให้น้ำสกัดมีความเจือจาง ทำให้มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลงจึงมีผลให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง 3 ชนิดของ PWE ลดลงด้วย โดยสัดส่วนข้าวต่อน้ำที่ 1:5 PWE มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงสุด และผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันในข้าวทั้ง 3 ชนิด สำหรับระยะเวลาในการสกัด พบว่า น้ำสกัดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเพิ่มระยะเวลาการสกัดจะมีผลให้สามารถสกัดสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระคือโพลีฟีนอลและแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้น มีผลให้น้ำสกัดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการสกัดนานขึ้น จะเห็นว่าที่สัดส่วนของข้าวต่อน้ำ 1:5 และระยะเวลาการสกัด 30 นาที จะทำให้ PWE ของข้าวทั้ง 3 ชนิดมีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูล $DPPH^{\cdot}$, $ABTS^{+}$ และ SRSA สูงสุด อย่างไรก็ตามลักษณะของ PWE ของชุดการทดลองนี้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงสุด มีผลให้มีลักษณะข้นหนืดจึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำสกัดที่ต้องการผลิตภัณฑ์ในลักษณะใส

Prince of Songkla University Pattani Campus

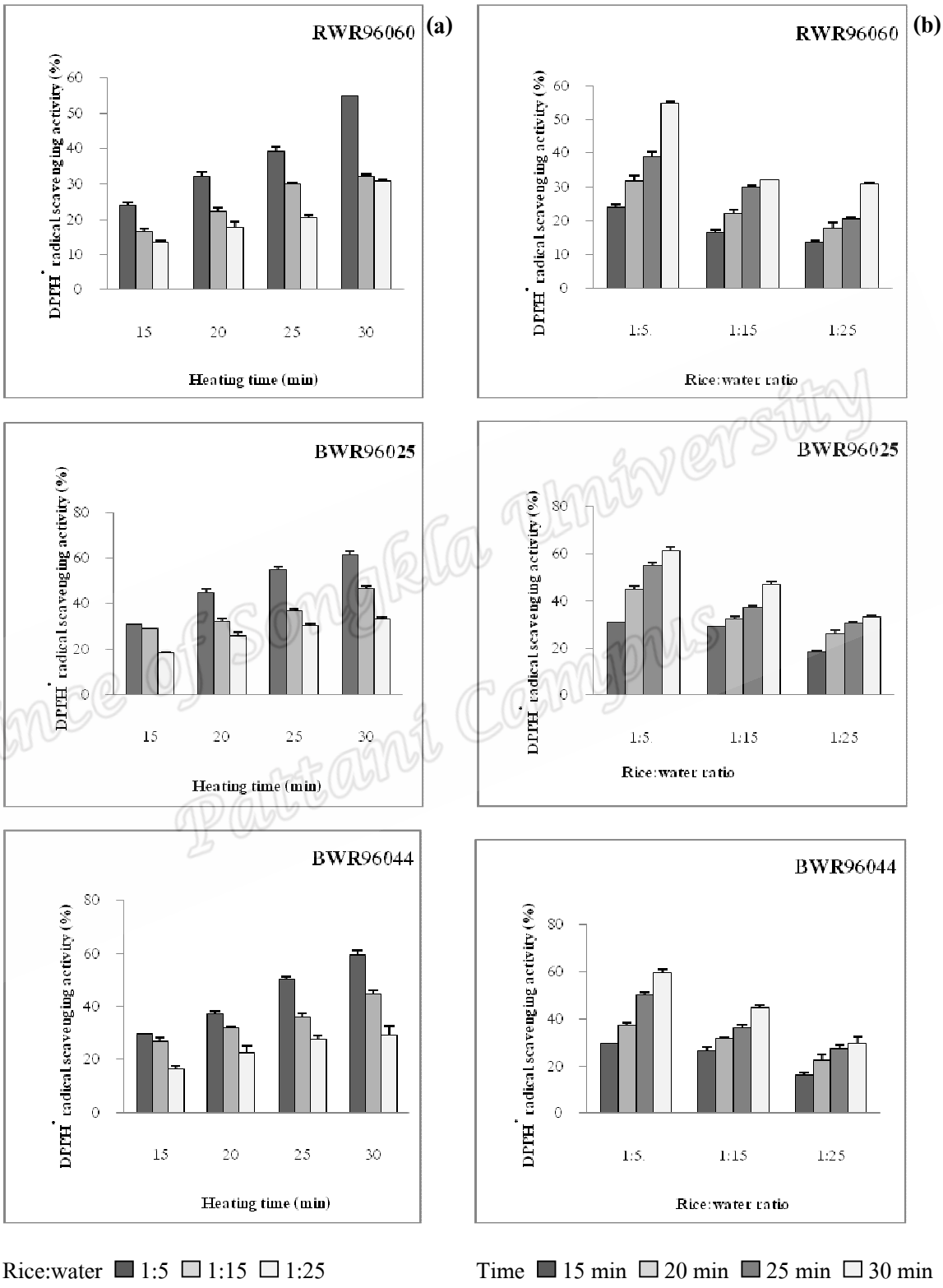


Figure 16 Effect of heating time at 100°C (a) and rice:water ratio (b) on DPPH• radical scavenging activity of pigmented rice extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

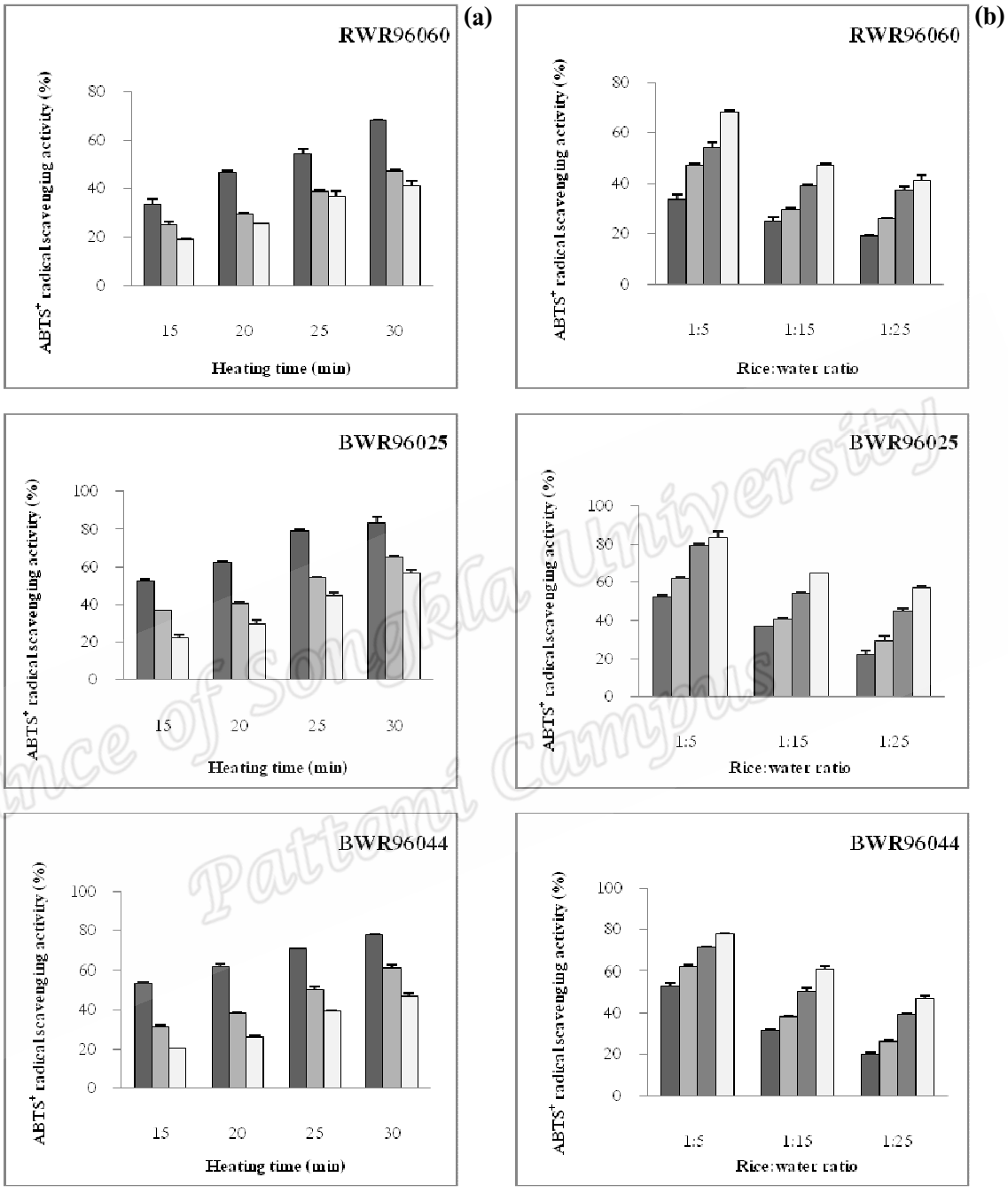


Figure 17 Effect of heating time at 100°C (a) and rice:water ratio (b) on $ABTS^{+}$ radical scavenging activity of pigmented rice extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

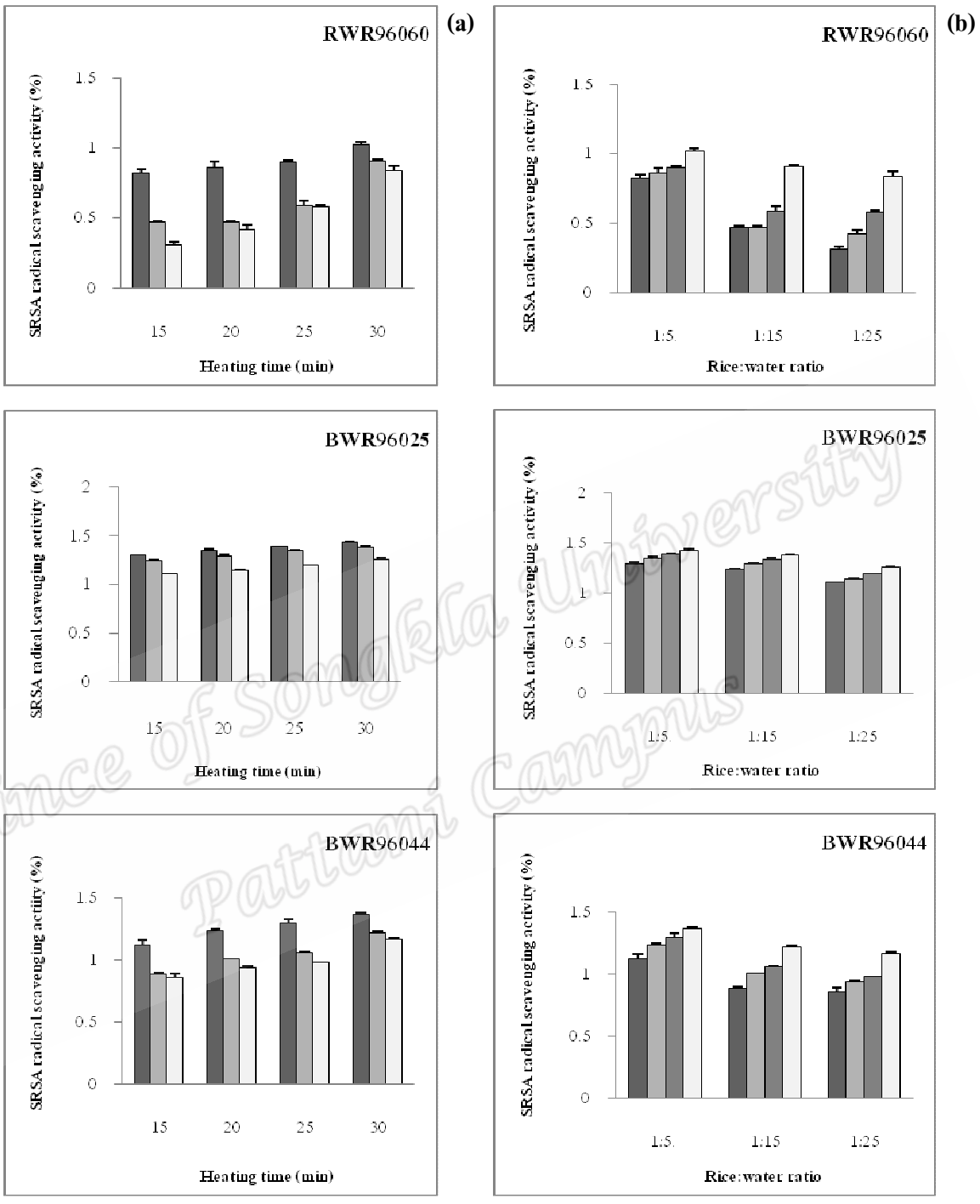


Figure 18 Effect of heating time at 100°C (a) and rice:water ratio (b) on SRSA radical scavenging activity of pigmented rice extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

จากผลการศึกษาที่ได้นี้ จะเห็นว่า การสกัดที่สัดส่วนของข้าวที่มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงและมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงสุดคือ ที่สัดส่วนเท่ากับ 1:5 ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสกัดพบว่ามีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 9.11-11.92 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ PWE ยังมีค่าการส่องผ่านของแสงต่ำสุดเท่ากับ 1.63-6.13 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าน้ำสกัดที่ได้มีลักษณะที่ข้นหนืดไม่เหมาะสำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำสกัดที่ต้องการ ดังนั้นจึงเลือกสัดส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสม คือ 1:15 และการสกัดที่และระยะเวลาที่เหมาะสม คือ การสกัดที่ 25 นาที ดังนั้นจึงเลือกสภาวะนี้เพื่อการทดลองในขั้นตอนต่อไป

4.3 ผลของปัจจัยบางประการต่อคุณภาพน้ำสกัดของข้าวมีสี

จากการทดลองในข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 ได้คัดเลือกสภาวะการสกัด คือ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสระยะเวลาในการสกัด 25 นาที และอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:15 เพื่อใช้ในการทดลองศึกษาผลของปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของน้ำสกัด ซึ่งมีปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก น้ำตาล และแสง ให้ผลดังนี้

4.3.1 ผลของกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาล

ศึกษาถึงผลของกรดแอสคอร์บิก (0, 0.1, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์) และน้ำตาล (0, 3, 5 และ 8 เปอร์เซ็นต์) โดยเติมในรูปของน้ำเชื่อมเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ ต่อ PWE ของข้าว 3 ชนิด ผลการทดลองเป็นดังนี้

4.3.1.1 ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าการส่องผ่านของแสง

ค่าพีเอช พบว่า ปริมาณน้ำตาลและกรดแอสคอร์บิกและอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) กล่าวคือ ค่าพีเอชของ PWE ลดลงเมื่อปริมาณของกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นจาก 0-0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยผลเป็นไปในทำนองเดียวกันใน PWE ทั้ง 3 ชนิด เนื่องจากแอสคอร์บิกมีความเป็นกรดและเมื่อเติมกรดแอสคอร์บิกใน PWE ทำให้ความเป็นกรดในน้ำสกัดเพิ่มสูงขึ้นและมีผลให้ค่าพีเอชของน้ำสกัดลดลงได้ (รูปที่ 19 และตารางภาคผนวกที่ A11) และพบว่า ปริมาณน้ำตาลที่ต่างกันมีผลให้ค่าพีเอชของ PWE แตกต่างกัน ($p\leq0.05$) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลมีผลให้ค่าพีเอชของ PWE เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำสกัดที่ไม่มีการเติมน้ำตาล ทั้งนี้เนื่องจากค่าพีเอชของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 9.0 จึงมีผลให้น้ำสกัดมีค่าพีเอชสูงขึ้นได้

Prince of Songkla University Pattani Campus

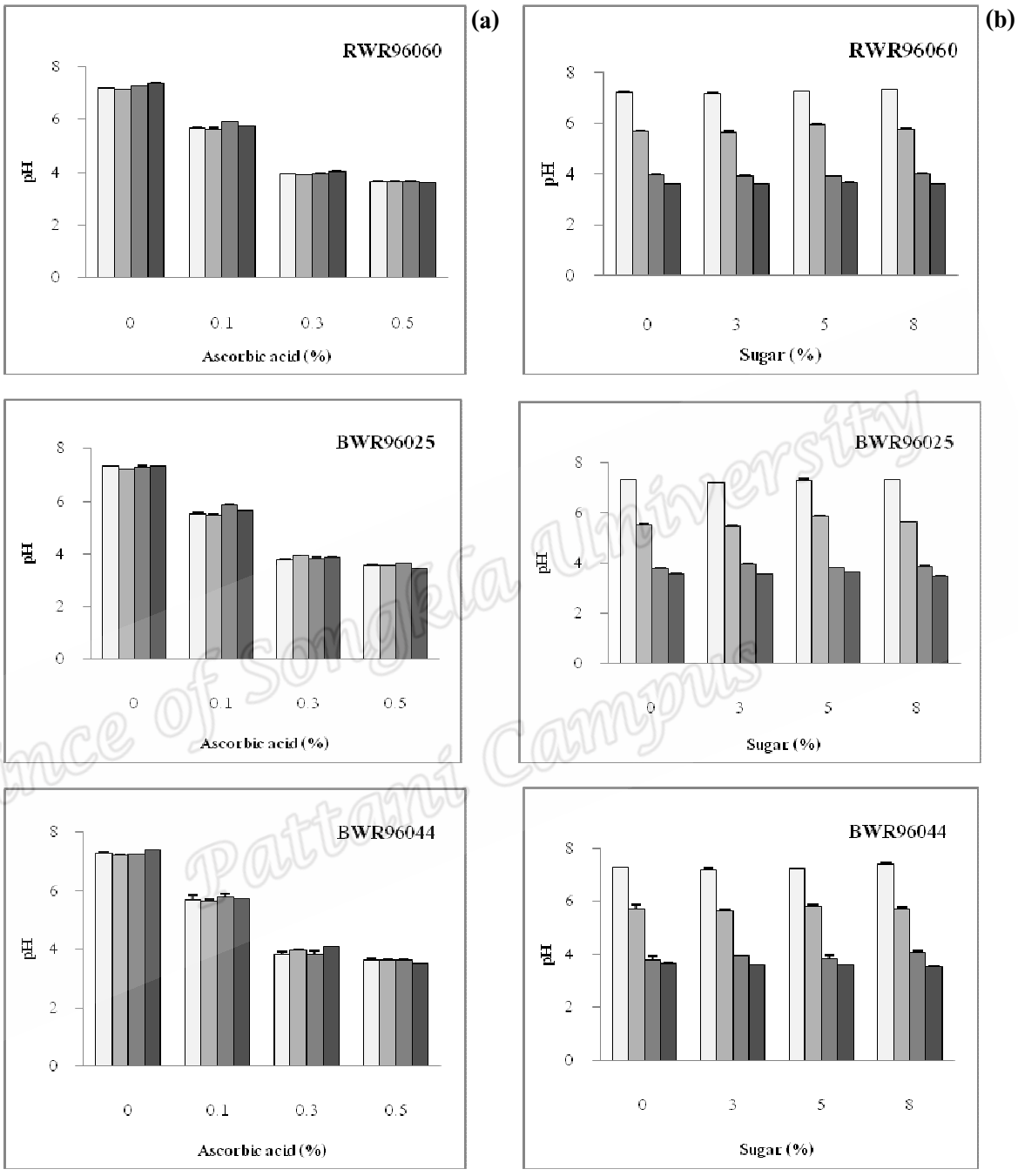


Figure 19 Effect of ascorbic acid, AA (a) and sugar contents (b) on pH of pigmented rice water extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดใน PWE พบว่า กรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดใน PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ เมื่อกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดใน PWE เพิ่มขึ้น (รูปที่ 20 และตารางภาคผนวกที่ A12) โดยปกติกรดแอสคอร์บิกสามารถเกิดการออกซิไดซ์ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน คอปเปอร์ และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการจางลงของสีแอนโธไซยานิน ยุพาพร (2547) กล่าวว่ากรดแอสคอร์บิกจึงเป็นเหมือนตัวเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดการสูญเสียแอนโธไซยานินและเกิดการรวมตัวกับ แอนโธไซยานินได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่คงตัวและตกตะกอนใน PWE มีผลให้ปริมาณของแข็งใน PWE เพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำตาลใน PWE มีผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อทำการอบแห้งแล้วน้ำเชื่อมที่อยู่ในน้ำสกัดที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ จะแห้งและเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดให้กับน้ำสกัดได้

Prince of Songkla University Pattani Campus

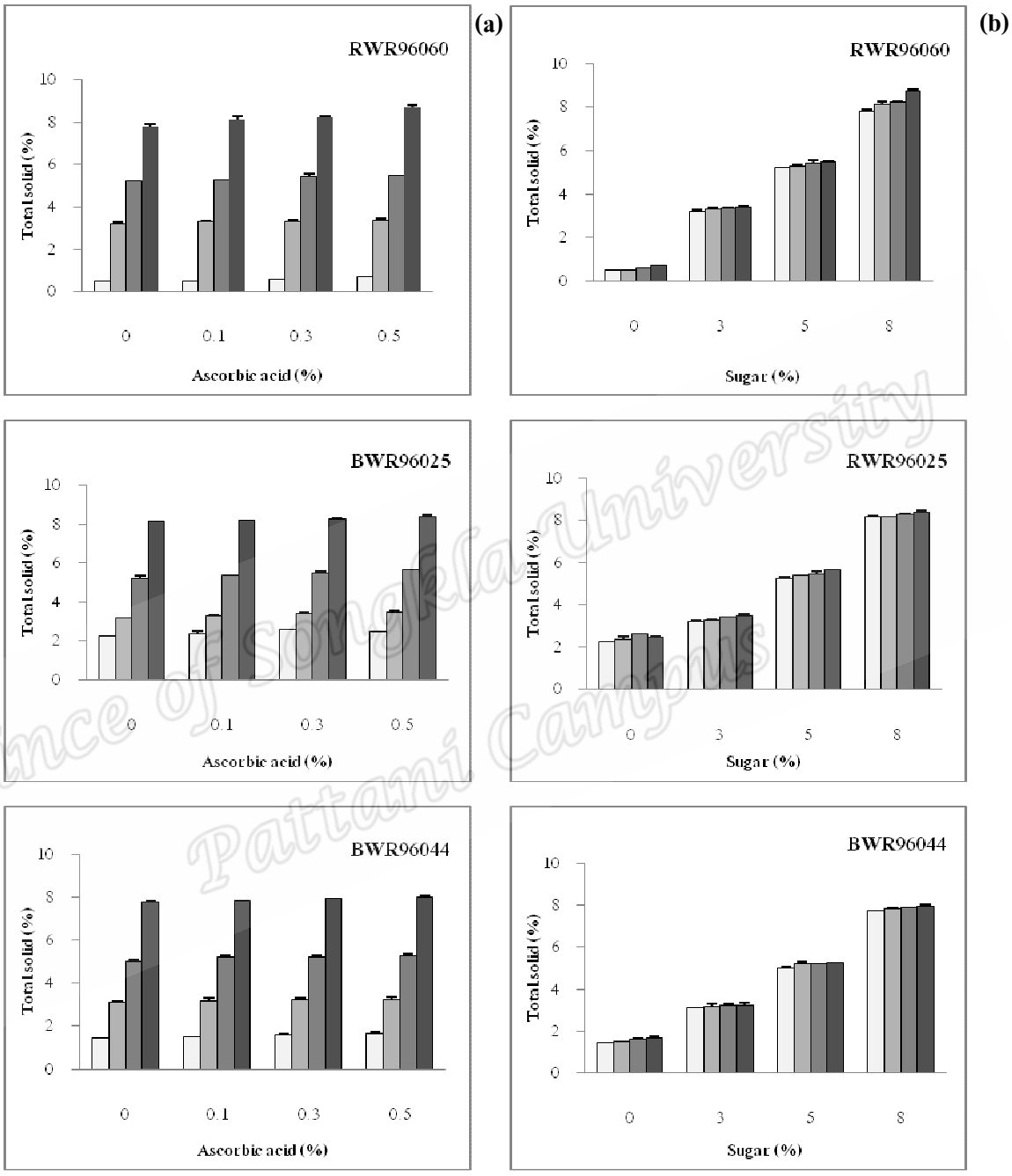
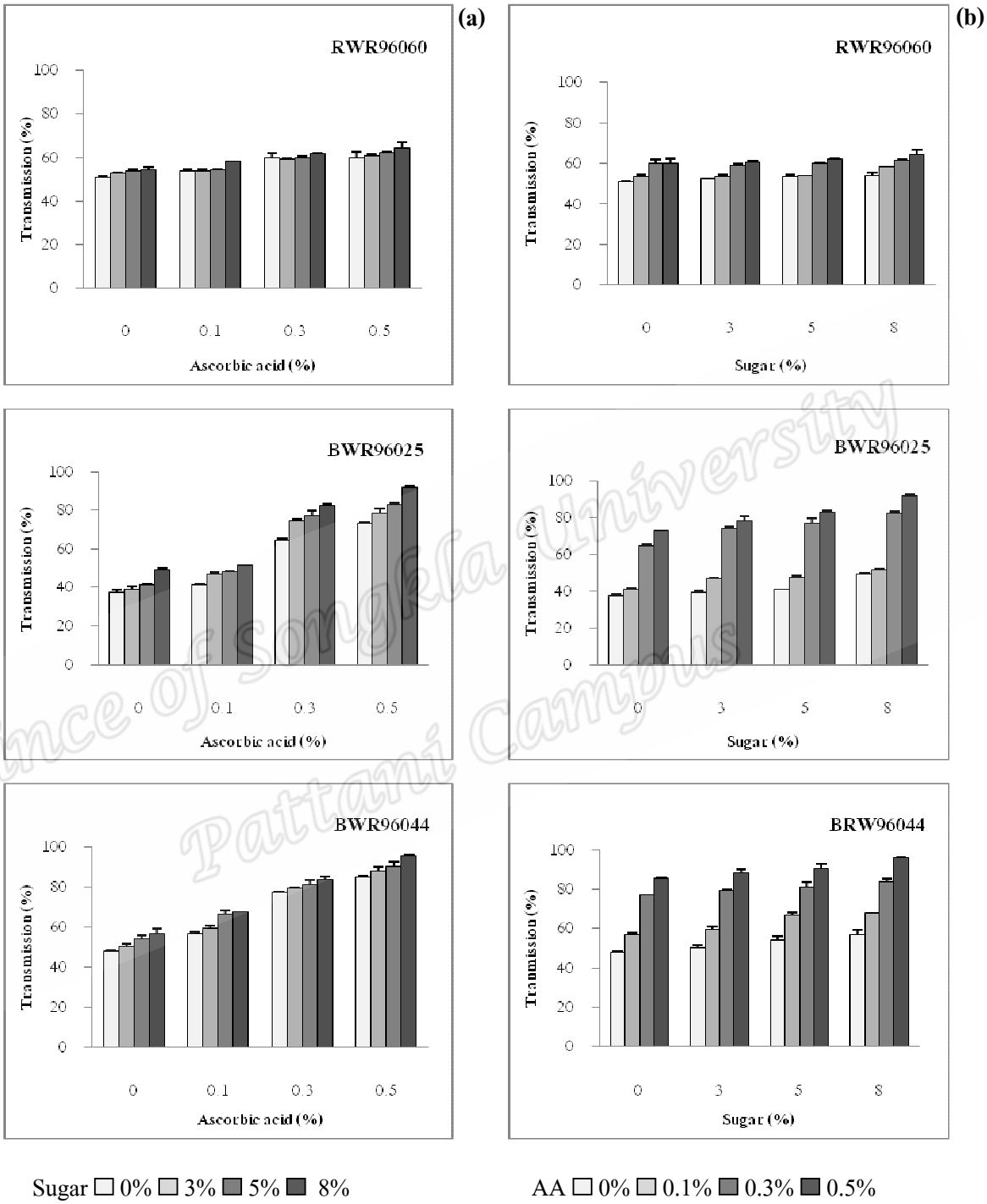


Figure 20 Effect of ascorbic acid, AA (a) and sugar contents (b) on total solid of pigmented rice water extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

สำหรับการส่องผ่านของแสงของ PWE พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาล รวมถึงอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อค่าการส่องผ่านของแสงของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ เมื่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นมีผลให้ PWE มีค่าการส่องผ่านของแสงเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำตาลยังมีผลให้ PWE มีค่าการส่องผ่านของแสงเพิ่มขึ้นอีกด้วย (รูปที่ 21 และตารางภาคผนวกที่ A13)ทั้งนี้เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีผลเหนี่ยวนำให้ PWE เกิดการรวมตัวของตะกอนให้มีอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและเกิดการตกตะกอน และเมื่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกใน PWE เพิ่มมากขึ้น จึงมีผลให้การตกตะกอนในน้ำสกัดจึงเพิ่มสูงขึ้นด้วย มีผลให้น้ำสกัดมีความใสมากขึ้นและเมื่อนำไปวัดค่าการส่องผ่านของแสงมีผลให้ค่าการส่องผ่านของแสงเพิ่มสูงขึ้นด้วย ส่วนปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลให้ค่าการส่องผ่านของแสงเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการเติมน้ำตาลจะเติมในรูปของสารละลายน้ำเชื่อม จึงมีผลให้เกิดการเจือจางน้ำสกัดและมีผลให้ค่าการส่องผ่านของแสงใน PWE สูงขึ้นได้

Prince of Songkla University Pattani Campus



Prince of Songkla University Pattani Campus

Figure 21 Effect of ascorbic acid, AA (a) and sugar contents (b) on transmission of pigmented rice water extracts from 3 rice varieties

4.3.1.2 ค่าสี

สำหรับค่าสี พบว่า กรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลรวมถึงอิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง (L*) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ เมื่อกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลในน้ำสกัดเพิ่มสูงขึ้น PWE มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น (รูปที่ 22 และตารางภาคผนวกที่ A14) อาจเนื่องจากเติมกรดแอสคอร์บิกมีผลให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น โครงสร้างของรงควัตถุถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนเป็นสารที่ไม่มีสี มีผลทำให้สีเปลี่ยนแปลงคือสีจางลงได้ (Sweeny, 1983; Garcia-Viguera and Bridle, 1999) ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับค่าการส่องผ่านของแสง ซึ่งบ่งชี้ถึงความใสของน้ำสกัด โดยที่เมื่อน้ำสกัดมีค่าการส่องผ่านของแสงสูงมีผลให้น้ำสกัดมีค่าความสว่างสูงด้วย นอกจากนี้ค่าความสว่างของ PWE นั้นขึ้นอยู่กับสีของน้ำสกัดด้วย จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า PWE ชนิด RWR96060 ซึ่งมีสีแดงจะมีค่าความสว่างสูงกว่า PWE ชนิด BWR96025 และ BWR96044 ซึ่งมีสีม่วงดำการเติมน้ำตาลในน้ำสกัดก็มีผลให้ค่าความสว่างของ PWE ทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมน้ำตาลจะเติมในรูปของน้ำเชื่อมทำให้เกิดการเจือจางน้ำสกัด ซึ่งส่งผลให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นได้

Prince of Songkla University Pattani Campus

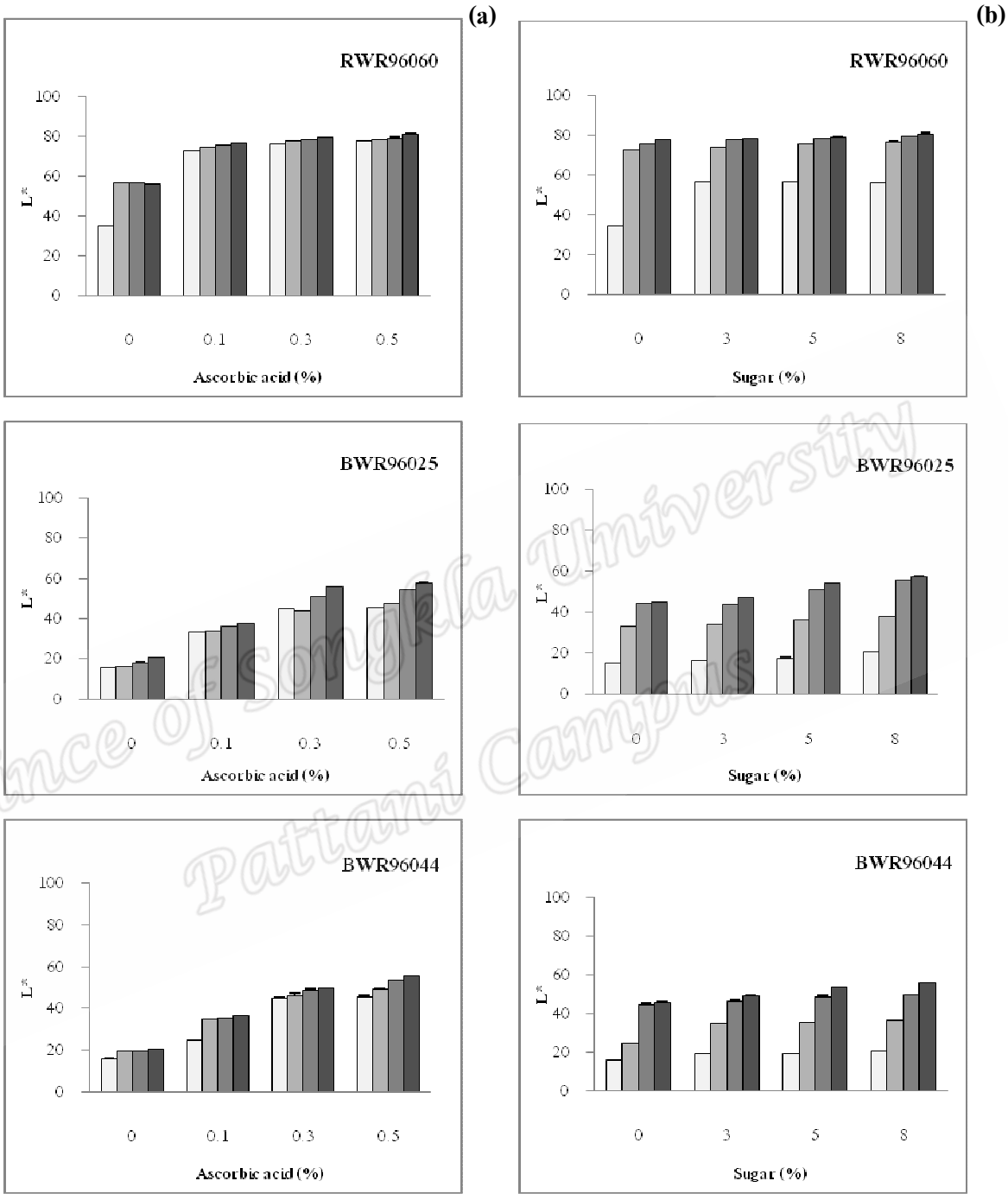
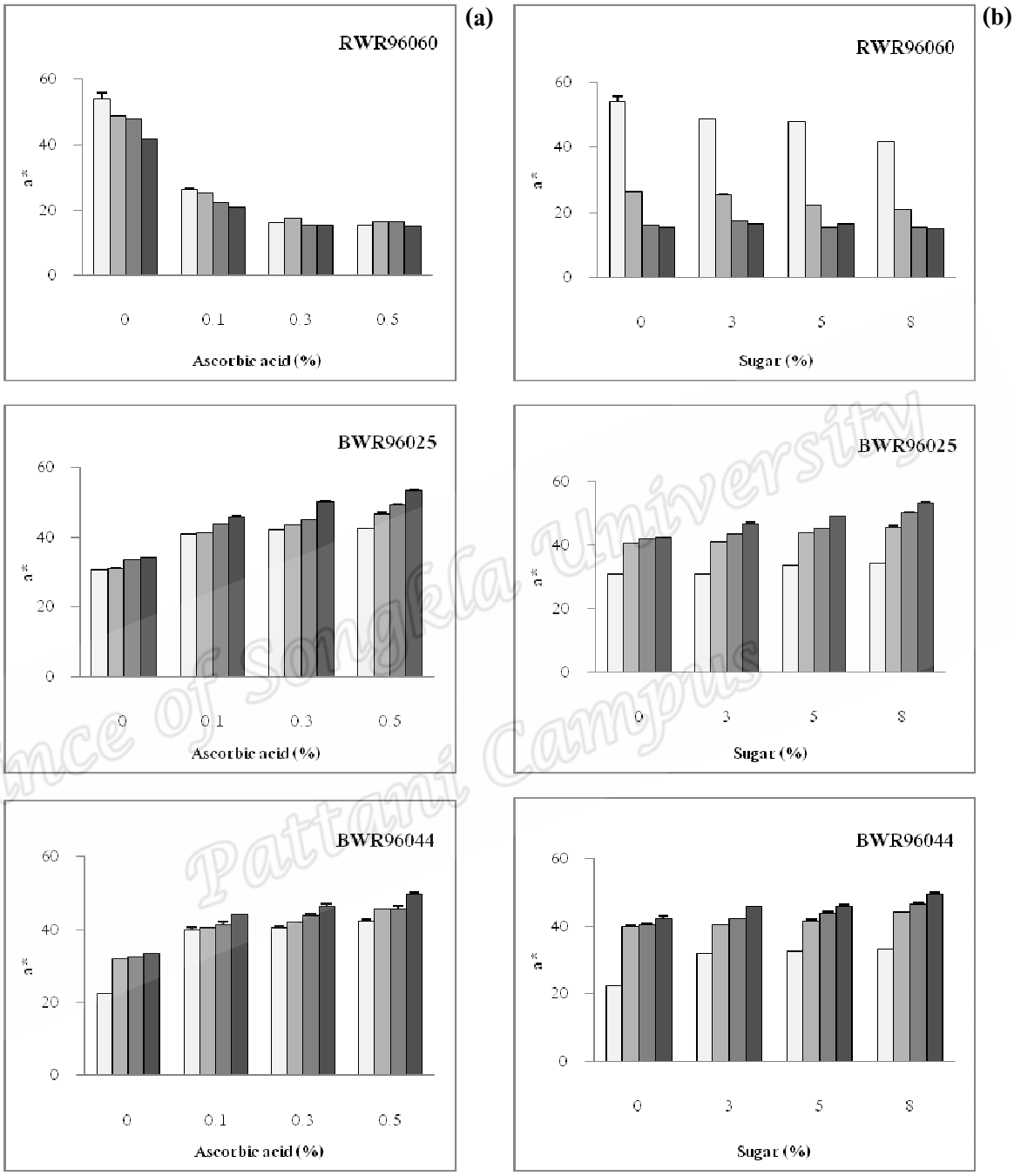


Figure 22 Effect of ascorbic acid, AA (a) and sugar contents (b) on L* value of pigmented rice water extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

สำหรับค่าสีแดง (a*) มีการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 23 และตารางภาคผนวกที่ A15 พบว่า กรดแอสคอร์บิกและน้ำตาล และอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* ของ PWE ทั้ง 3 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ เมื่อกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น PWE ที่ได้จากข้าวมีสีชนิด RWR96060 จะมีค่า a* ลดลงแต่ PWE ชนิด BWR96025 และ BWR96044 มีค่า a* เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากรงควัตถุแอนโธไซยานินที่มีในข้าวมีสีชนิด RWR96060 เป็นสีแดง และเมื่อเติมปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงขึ้น มีผลให้พีเอชของ PWE ลดลง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคือ ปริมาณอนุพันธ์แอนโธไซยานิน flavylium cation ซึ่งมีสีแดงจะค่อยๆ ลดลง เนื่องจากการเกิดไฮเดรชัน ไปเป็น cabinol base ซึ่งไม่มีสี ดังนั้นเมื่อแอนโธไซยานินอยู่ในสภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำๆ จึงมีเฉพาะโครงสร้างของ carbinol base และ chalcone จึงมีผลให้ค่าสีแดงลดลงด้วย (ยุพาพร, 2547) ส่วน PWE ที่ได้จากข้าวมีสีชนิด BWR96025 และ BWR96044 โครงสร้างของแอนโธไซยานินอาจจะอยู่ในรูปของ Quinoidal base ซึ่งมีสีน้ำเงิน เมื่อพีเอชลดลงซึ่งมีการเติมประจุ (H^+) ให้กับโครงสร้างของแอนโธไซยานิน ส่วนสมดุลระหว่างแอนโธไซยานินจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ flavylium cation ทำให้ PWE เปลี่ยนเป็นสีแดงมากขึ้นเมื่อพีเอชลดลง จึงมีผลให้ค่าสีแดงของน้ำสกัดจากข้าวชนิดดังกล่าวมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นได้ (ยุพาพร, 2547) และเมื่อเติมน้ำตาลควบคู่กับกรดแอสคอร์บิก พบว่า ค่า a* ของ PWE มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโครงสร้างของรงควัตถุ และปริมาณน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นมีผลให้น้ำตาลไปเติมโครงสร้างของรงควัตถุที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์และเป็นรงควัตถุที่มีสีได้

Prince of Songkla University Pattani Campus



Prince of Songkla University Pattani Campus

Figure 23 Effect of ascorbic acid, AA (a) and sugar contents (b) on a* value of pigmented rice water extracts from 3 rice varieties

นอกจากนี้การเติมกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลและอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยนี้ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า b* อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ เมื่อกรดแอสคอร์บิกเพิ่มสูงขึ้นมีผลให้ PWE ทั้ง 3 ชนิดมีค่า b* เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำตาลมีผลให้ค่า b* ของ PWE ลดลงสำหรับข้าวมีสีชนิด RWR96060 และมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับข้าวมีสี BWR96025 และ BWR96044 (รูปที่ 24 และตารางภาคผนวกที่ A16) ทั้งนี้เนื่องจากข้าวมีสีชนิด RWR96060 น้ำสกัดมีค่า b* สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิก ทั้งนี้เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวมีสีชนิด RWR96060 มีสีแดงและอีก 2 ชนิดมีสีม่วงดำซึ่งจะมีรงควัตถุต่างชนิดกัน จึงมีผลให้การเปลี่ยนโครงสร้างของรงควัตถุเกิดได้ต่างกัน และเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นไม่มีสีและสีแดงตามลำดับ ทำให้ค่า b* ลดลงได้ ส่วนในน้ำสกัดที่ได้จาก BWR96025 และ BWR96044 นั้นน้ำสกัดที่ได้จะมีสีแดงอมดำ ดังนั้นรงควัตถุจะเปลี่ยนเป็นสีแดงมากขึ้น และสีของน้ำสกัดจะอ่อนลง ทำให้สามารถวัดค่า b* เพิ่มขึ้นได้

Prince of Songkla University Pattani Campus

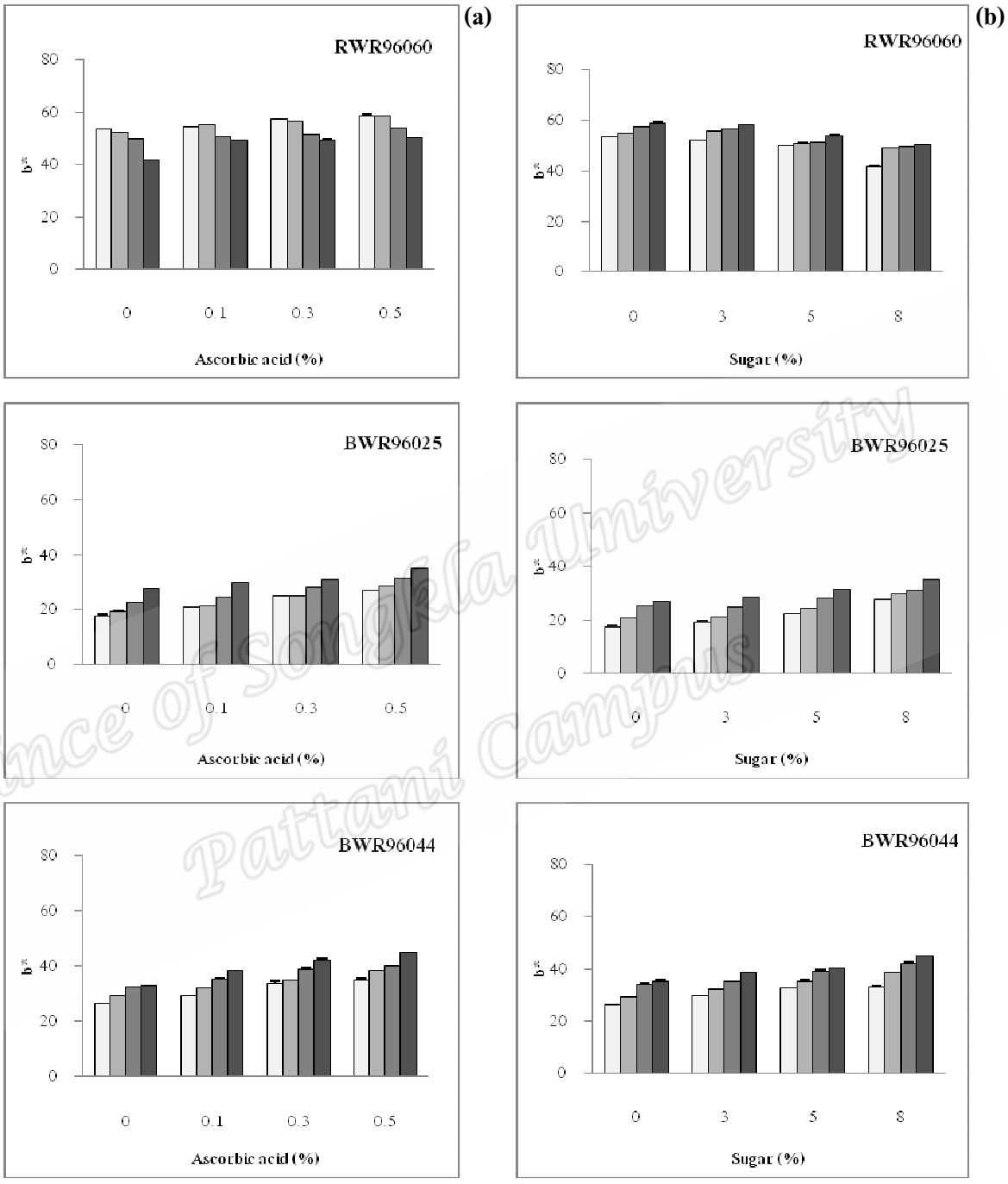


Figure 24 Effect of ascorbic acid, AA (a) and sugar contents (b) on b* value of pigmented rice water extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

ศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลต่อปริมาณโพลีฟีนอล ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด ความสามารถในการการกำจัดอนุมูลอิสระ 3 ชนิด คือ $DPPH^{\cdot}$ $ABTS^{+}$ และ SRSA ของ PWE ให้ผลดังนี้

4.3.1.3 ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด

สำหรับปริมาณแอนโธไซยานิน พบว่า กรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลรวมถึงอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 2 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือปริมาณแอนโธไซยานินของ PWE ในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงตามปริมาณของกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 25 และตารางภาคผนวกที่ A17) ทั้งนี้อาจเนื่องจากกรดแอสคอร์บิกเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์ ซึ่งส่งเสริมให้เกิดการออกซิไดซ์สารประกอบแอนโธไซยานินภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน และเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโธไซยานิน โดยกรดแอสคอร์บิกจะไปรีดิวซ์โครงสร้างของแอนโธไซยานินในตำแหน่งของคาร์บอนที่ 3 และ 5 ซึ่งมีผลให้หมู่ไฮดรอกซิลและน้ำตาลที่เกาะอยู่ที่ตำแหน่งนั้นหลุดออกไป มีผลให้โครงสร้างของแอนโธไซยานินเปลี่ยนแปลงไป (Cavalvanti *et al*., 2011) ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับการทดลองของ Starr and Francis (1968) ศึกษาผลกระทบของกรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์ cranberry cocktail พบว่า เมื่อความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นจาก 78 เป็น 177 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร อัตราการสูญเสียของแอนโธไซยานินในผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ Brennes *et al*. (2005) ศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินในน้ำองุ่น ผลการทดลองพบว่า เมื่อเติมกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 450 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำองุ่นมีปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดลดลงจาก 835.9 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 833.1 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ Brenes *et al*. (2005) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินในน้ำองุ่น พบว่า กรดแอสคอร์บิกมีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินในน้ำองุ่นลดลงน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (จาก 835.9 เป็น 833.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกจะมีผลให้พีเอชของ PWE ลดลง และโครงสร้างของแอนโธไซยานินจะเปลี่ยนจากที่อยู่ในรูปของ flavylium cation จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ chacone การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินเป็นการวิเคราะห์ปริมาณ flavylium cation ที่ลดลงมีผลให้ปริมาณของแอนโธไซยานินที่วิเคราะห์ลดลงได้ (รูปที่ 3, บทที่ 2)

Prince of Songkla University Pattani Campus

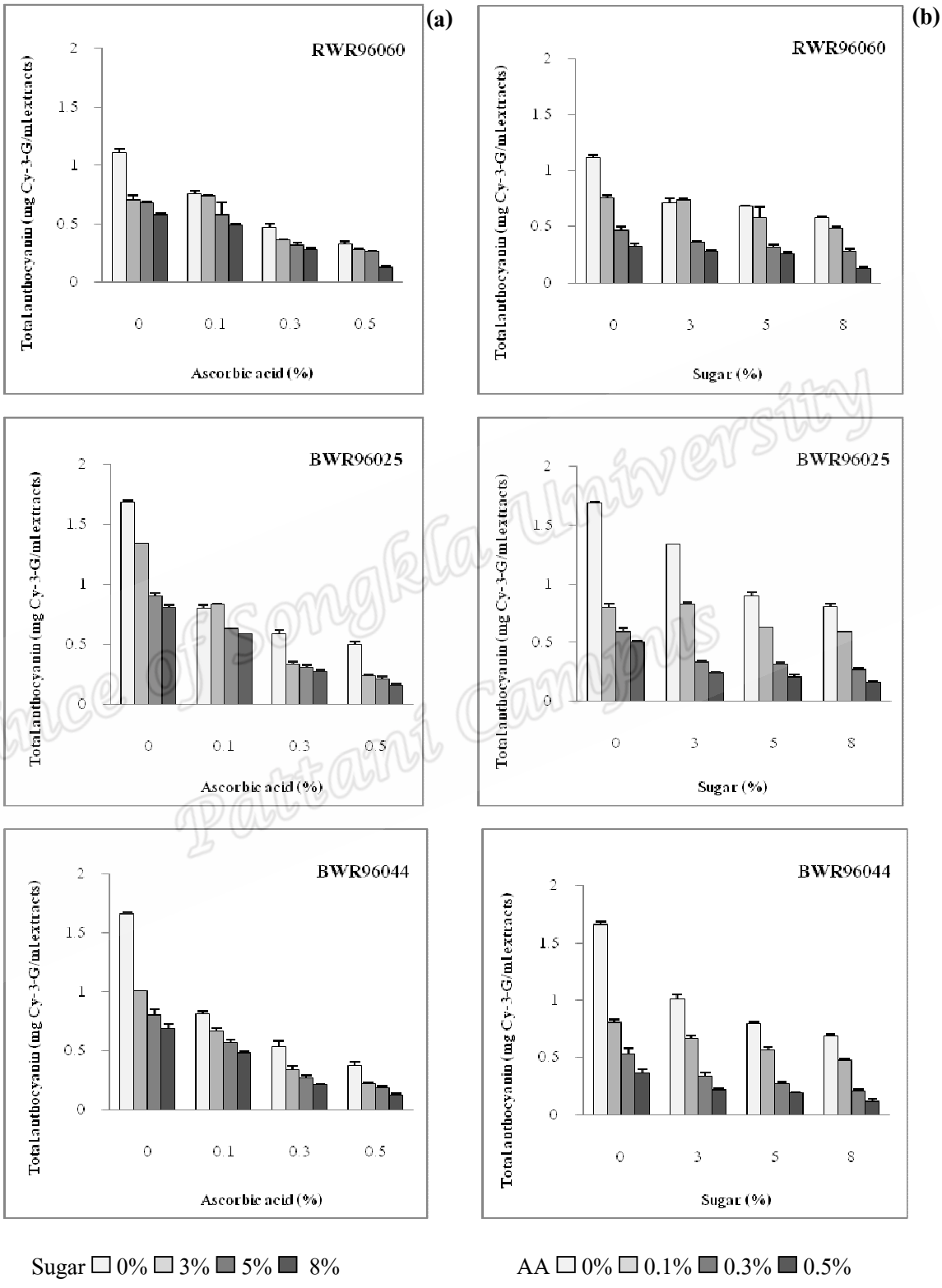


Figure 25 Effect of ascorbic acid, AA (a) and sugar contents (b) on total anthocyanin content of pigmented rice water extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3.1.4 ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด พบว่า ปริมาณของกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดของ PWE มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 26 และตารางภาคผนวกที่ A18) และผลการทดลองเป็นในทำนองเดียวกันในข้าวทั้ง 3 ชนิดอย่างไรก็ตามอัตราการเพิ่มปริมาณโพลีฟีนอลของ PWE ชนิด BWR96025 และ BWR96044 สูงกว่า PWE ชนิด RWR96060 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก 0.5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณโพลีฟีนอลใน PWE ชนิด BWR96025 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ BWR96044 และ RWR96060 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 37.65, 35.30 และ 17.16 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตรของ PWE ตามลำดับ น้ำตาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของ PWE (รูปที่ 25 และตารางภาคผนวกที่ A17) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ ปริมาณโพลีฟีนอลใน PWE จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น โดยน้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณ โพลีฟีนอลสูงสุด ผลการศึกษาเป็นไปในทำนองเดียวกันในข้าวทั้ง 3 ชนิด ทั้งนี้อาจเนื่องจากเหตุผลต่อไปนี้ โดยส่วนใหญ่สารประกอบโพลีฟีนอลมักรวมอยู่กับน้ำตาลในรูปกลูโคไซด์ โดยน้ำตาลอาจเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือน้ำตาลโมเลกุลคู่ก็ได้ แต่น้ำตาลที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกคือน้ำตาลกลูโคส นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีการรวมตัวระหว่างสารประกอบ ฟีนอลิกกับสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่นๆ (Rababah *et al*., 2005) ดังนั้นการเติมน้ำตาลใน PWE ก็เปรียบเสมือนการเติมสารตั้งต้นสำหรับการสร้างสารประกอบโพลีฟีนอล ส่งผลให้ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดใน PWE เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากสารกลุ่มโพลีฟีนอลจะมีหมู่ไฮดรอกซิลมาเกาะอยู่กับวงแหวนอะโรมาติกโดยจะรวมอยู่กับน้ำตาลในรูปของไกลโคไซด์ ดังนั้นน้ำตาลถือได้ว่าเป็นสารตั้งต้นของการเกิดสารกลุ่มโพลีฟีนอล ซึ่งเมื่อพิจารณาการสร้างสารโพลีฟีนอลของพืชจะเห็นได้ว่าพืชมีการสังเคราะห์สารโพลีฟีนอลสูงขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำตาลให้แก่เซลล์ (Pirie and Mullins, 1976; Lueangprasert *et al*., 2010) นอกจากนี้การเติมกรดแอสคอร์บิกมีผลให้สภาวะความเป็นกรดใน PWE เกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลให้โครงสร้างของสารกลุ่มโพลีฟีนอลโดยเฉพาะสารแอนโธไซยานินเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเกิดการรีดิวซ์โดยกรดแอสคอร์บิกในตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลบริเวณคาร์บอนที่ 3 และ 5 (รูปที่ 2) ซึ่งตำแหน่งของคาร์บอนที่ 3 จะเป็นตำแหน่งที่จับกับน้ำตาลได้มากกว่า 1 ชนิด และน้ำตาลยังสามารถไปจับกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ได้อีกด้วย และเมื่อมีการเติมน้ำตาลใน PWE น้ำตาลจะไปเติมในตำแหน่งของโครงสร้างไฮดรอกซิลที่หายไป ทำให้เกิดการ

Prince of Songkla University Pattani Campus

สร้างสารโพลีฟีนอลชนิดอื่นๆ ขึ้นใหม่ได้ เช่น coumaric acid, ellagic acid, flavonol, catechin และ proanthocyanidins จากการศึกษาของ Ozmianski *et al* (2009) พบว่า เมื่อเติมกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลในผลิตภัณฑ์สตรอเบอรรี่แช่แข็งมีผลให้สารโพลีฟีนอลชนิด ellagic acid, catechin และ proanthocyanidins มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น แต่การรีดิวซ์โครงสร้างของแอนโธไซยานินด้วยกรดแอสคอร์บิก อาจจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการรวมตัวของโครงสร้างสารดังกล่าว จึงมีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินลดลงเมื่อเติมกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาล แต่มีปริมาณสารโพลีฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นได้

Prince of Songkla University
Pattani Campus

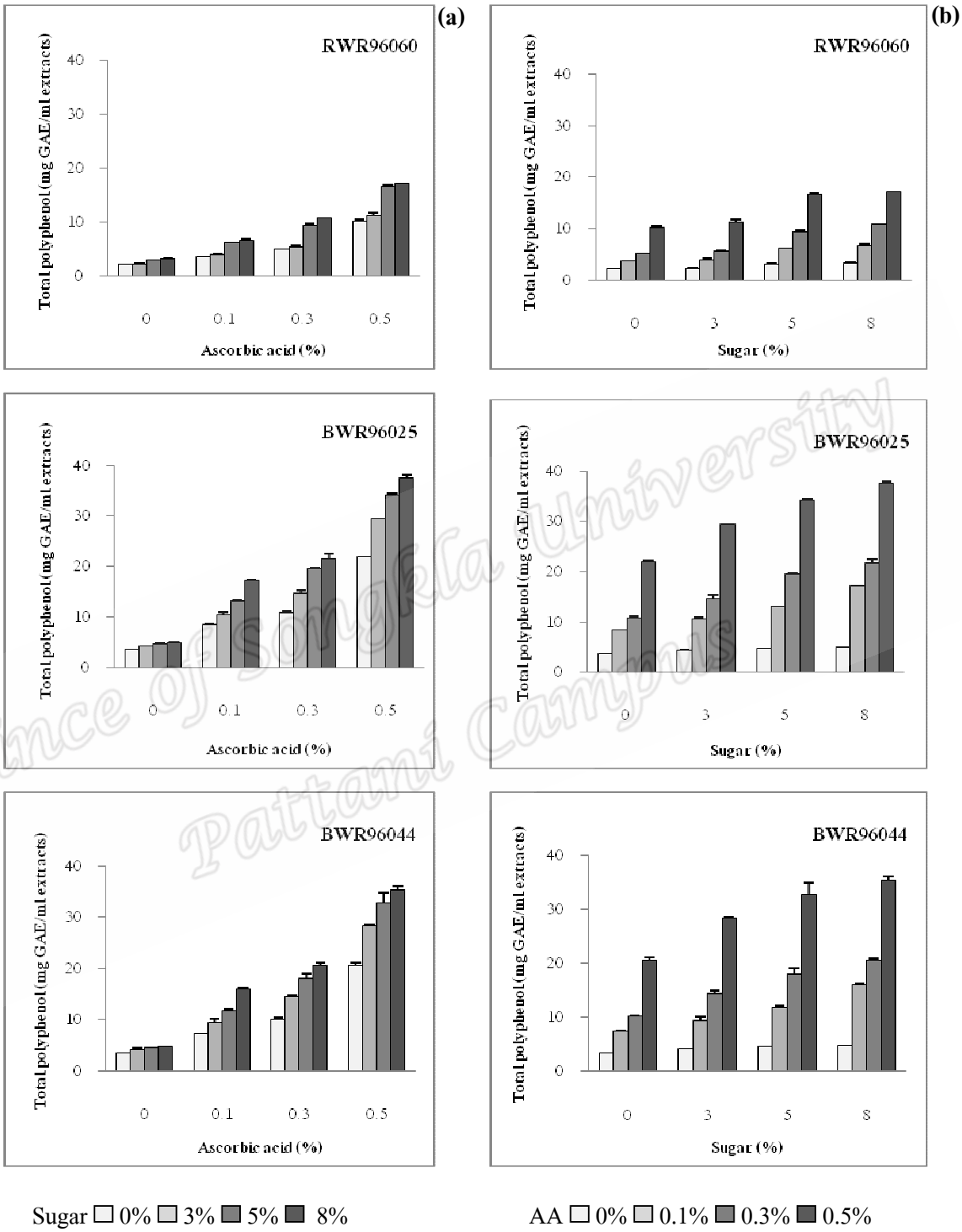


Figure 26 Effect of ascorbic acid, AA (a) and sugar contents (b) on total polyphenol content of pigmented rice water extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3.1.5 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ

กรดแอสคอร์บิกจัดเป็นสารต้านออกซิเดชัน และเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์ ที่มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่าย แต่มีความปลอดภัยโดยอนุญาตให้ใช้กับอาหารได้ กรดแอสคอร์บิกมีความสามารถในการจับกับออกซิเจนอิสระที่อยู่ในสารละลายได้ โดยกรดแอสคอร์บิกจะถ่ายเทไฮโดรเจนอะตอมจากโมเลกุลให้กับออกซิเจน ทำให้ออกซิเจนไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกสามารถช่วยเสริมฤทธิ์ของสารต้านออกซิเดชันอื่นๆ ได้ ดังนั้นการใช้กรดแอสคอร์บิกร่วมกับสารต้านออกซิเดชันจะช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ดีขึ้น (นิธิยา, 2545)

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลและอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อความสามารถในการขจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ $ABTS^{+}$ และ SRSA ของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) รูปที่ 27, 28 และ 29 (ตารางภาคผนวกที่ A19, A20 และ A21) ตามลำดับกล่าวคือ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ที่ระดับความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก 0.5 เปอร์เซ็นต์และน้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ PWE มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด และผลการศึกษาเป็นไปในทำนองเดียวกันในข้าวทั้ง 3 ชนิด โดย PWE ของข้าว BWR96025 ให้ผลสูงสุด จากผลการทดลองความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสอดคล้องกับปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระคือสารโพลีฟีนอล ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเติมกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาลและเนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และเมื่อเติมในน้ำสกัดจึงมีผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระใน PWE เพิ่มขึ้นได้ ความสามารถในการต้านอนุมูล $ABTS^{+}$ ของ PWE มีค่าสูงกว่าการใช้อนุมูล $DPPH^{\cdot}$ เนื่องจากวิธี $ABTS^{+}$ เป็นการหาความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์

Prince of Songkla University Pattani Campus

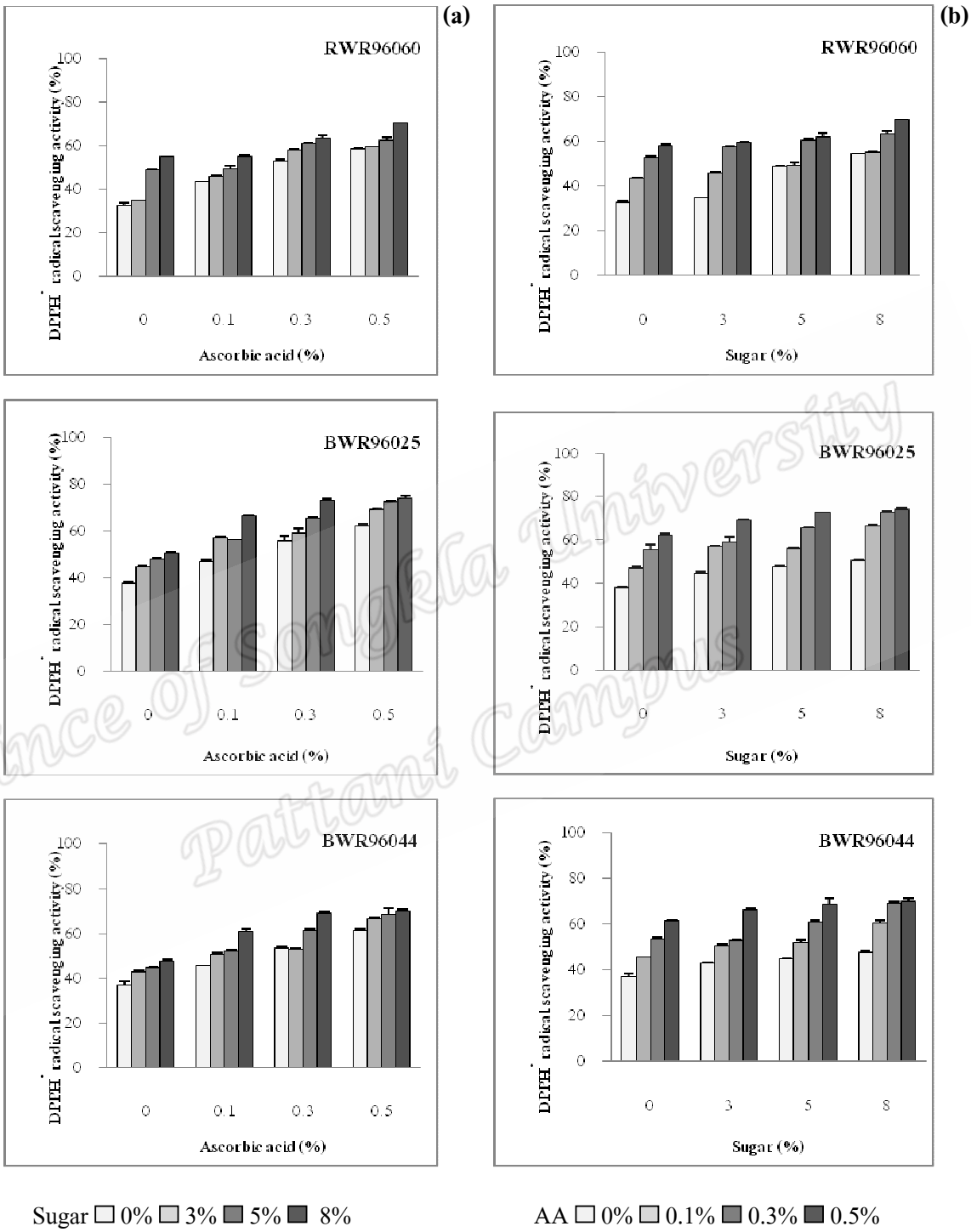


Figure 27 Effect of ascorbic acid, AA (a) and sugar contents (b) on DPPH· radical scavenging activity of pigmented rice water extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

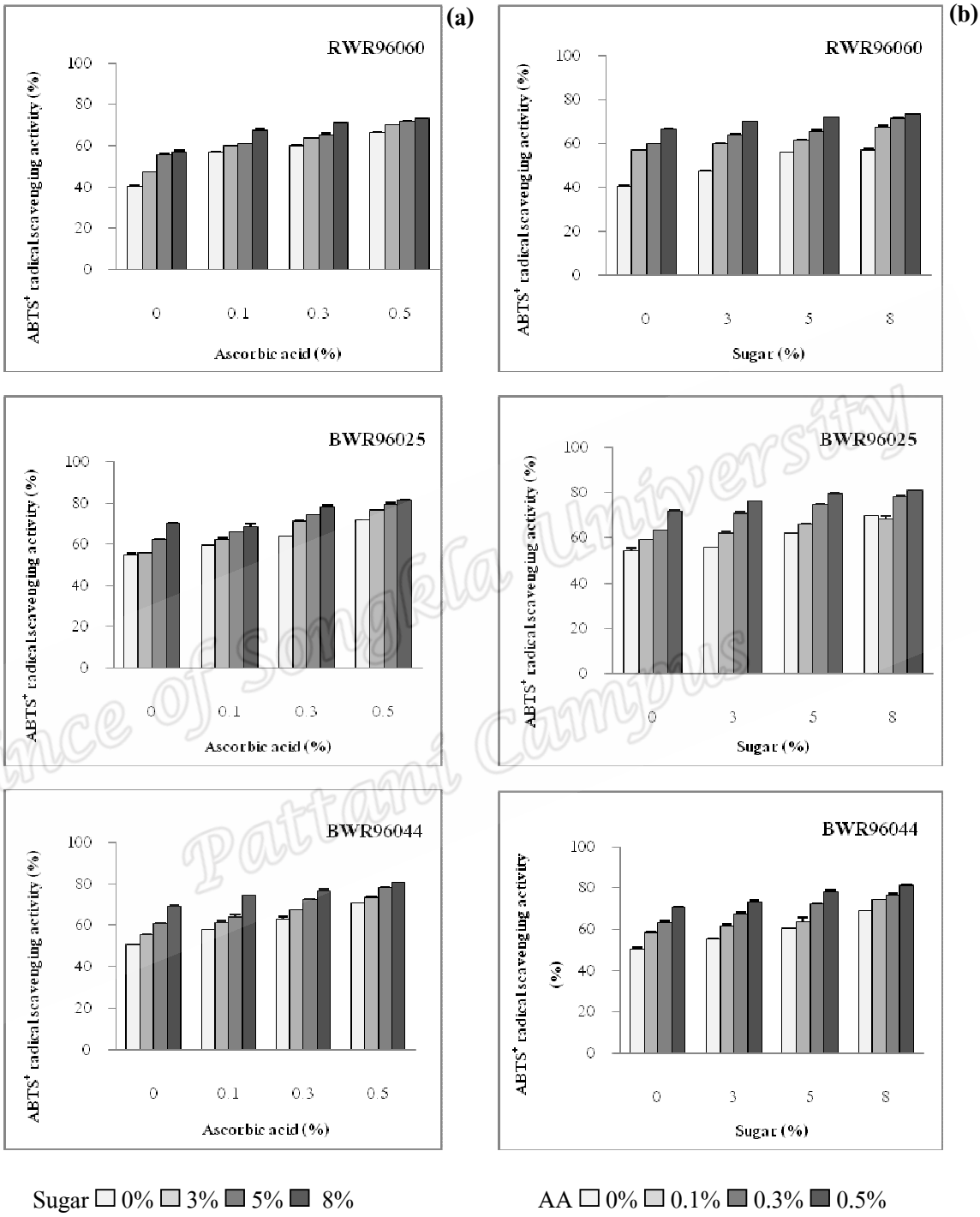


Figure 28 Effect of ascorbic acid, AA (a) and sugar contents (b) on $ABTS^{+}$ radical scavenging activity of pigmented rice water extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

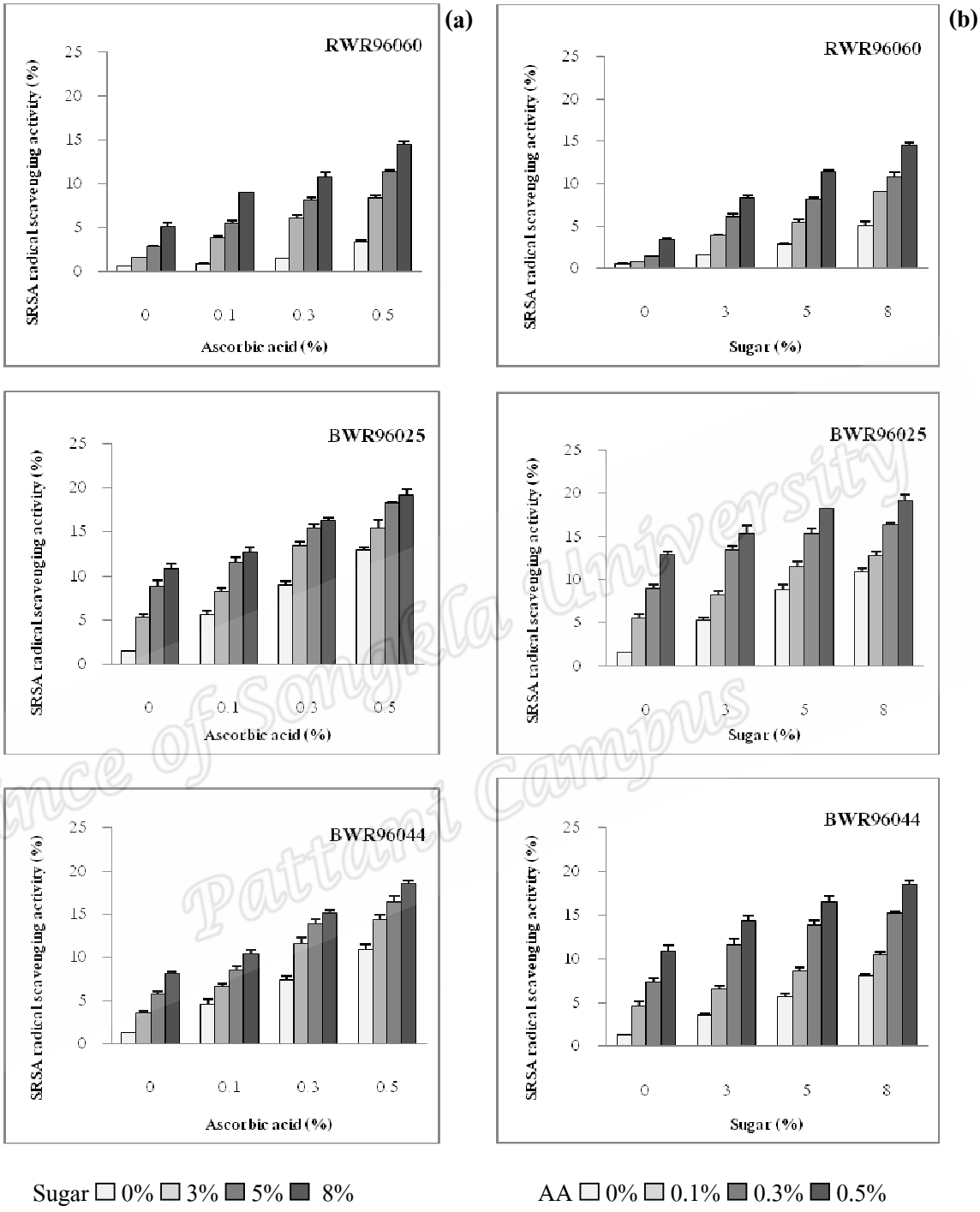


Figure 29 Effect of ascorbic acid, AA (a) and sugar contents (b) on SRSA radical scavenging activity of pigmented rice water extracts from 3 rice varieties

Prince of Songkla University Pattani Campus

จากการศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกและน้ำตาล ต่อคุณภาพของ PWE จะเห็นได้ว่า กรดแอสคอร์บิกและน้ำตาล พบว่า มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารใน PWE นั่นคือมีผลให้ปริมาณของแอนโธไซยานินใน PWE ลดลง แต่มีผลทำให้ปริมาณสารโพลีฟีนอลใน PWE เพิ่มสูงขึ้น และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

4.3.2 ผลของแสง

นำข้าวมีสีชนิด RWR96060, BWR96025 และ BWR96044 มาศึกษาผลของแสงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของ PWE โดยกำหนดสภาวะในการสกัดเช่นเดียวกับชุดควบคุมในตอนที่ 4.3.1 (น้ำตาลและกรดแอสคอร์บิกเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์) และเก็บรักษา PWE 2 สภาวะคือ มีแสง (ในขวดแก้วใส) และไม่มีแสง (ขวดแก้วที่หุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยด์) เก็บรักษาในตู้แช่เย็นที่เป็นกระจกใส (4 องศาเซลเซียส) วิเคราะห์สมบัติของ PWE ให้ผลการทดลองดังนี้

4.3.2.1 ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าการส่องผ่านของแสง

ค่าพีเอช (ตารางที่ 17) พบว่า แสงมีผลต่อค่าพีเอชของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ PWE ที่เก็บไว้ 7 วัน มีค่าพีเอช คือมีค่าต่ำกว่าในวันที่ 0 ($p \leq 0.05$) ในทุกชุดการทดลองและเมื่อเปรียบเทียบ ค่าพีเอชของ PWE ที่เก็บไว้ 7 วันในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง พบว่าการเก็บในสภาวะที่มีแสงค่าพีเอชของ PWE ลดลงมากกว่าการเก็บในสภาวะที่ไม่มีแสง โดยผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวสำหรับ PWE ของข้าวทั้ง 3 ชนิด ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้นมีผลให้เชื้อจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตจากกระบวนการแปรรูป เกิดการเจริญเติบโตและผลิตกรดขึ้นและมีค่าพีเอชลดลง และในสภาวะที่มีแสงก็เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต ดังนั้นการเก็บในสภาวะที่มีแสงจึงมีผลให้ค่าพีเอชลดลงได้

แสงมีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ PWE ที่เก็บไว้ 7 วัน มีค่าลดลงในทุกชุดการทดลอง คือมีปริมาณน้อยกว่าในวันที่ 0 ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบ ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของ PWE ที่เก็บไว้ 7 วันในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง พบว่าการเก็บในสภาวะที่มีแสง PWE จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่าการเก็บในสภาวะที่ไม่มีแสง โดยผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวสำหรับ PWE ของข้าวทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 17) ทั้งนี้เนื่องจาก ในสภาวะที่มีแสงจะเหนี่ยวนำให้เกิดการสูญเสียของปริมาณสารที่มีอยู่ในน้ำสกัด และตกตะกอนอยู่มากขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้เพิ่มสูงขึ้น

Prince of Songkla University Pattani Campus

สำหรับค่าการส่องผ่านของแสง พบว่า แสงมีผลต่อค่าการส่องผ่านของแสงของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ PWE ที่เก็บไว้ 7 วัน มีค่าการส่องผ่านของแสงเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง คือมีปริมาณมากกว่าค่าในวันที่ 0 ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบค่าการส่องผ่านของแสงของ PWE ที่เก็บไว้ 7 วันในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง พบว่า การเก็บในสภาวะที่มีแสง PWE จะมีค่าการส่องผ่านของแสงมากกว่าการเก็บในสภาวะที่ไม่มีแสง โดยผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวสำหรับ PWE ของข้าวทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 17) ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บในสภาวะที่มีแสงมีผลให้รงควัตถุเกิดการเสื่อมสลายมีผลให้สีของ PWE อ่อนลง ส่งผลให้ค่าการส่องผ่านของแสงเพิ่มขึ้นได้ อีกทั้งการเก็บเป็นระยะ 7 วันมีผลให้ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำสกัดเกิดการตกตะกอนน้ำสกัดจึงมีความใสเพิ่มมากขึ้น มีผลให้ค่าการส่องผ่านของแสงเพิ่มขึ้นได้อีกด้วยเช่นกัน

Table 17 Effect of light during storage on pH, transmission and total solid of pigmented rice water extracts

Rice varieties	Storage time	Condition	pH	Transmission (%)	Total solid (%)
RWR 96060	0 day		7.21 ± 0.01^{c}	50.67 ± 0.70^{a}	0.49 ± 0.01^{c}
	7 day	Light	6.95 ± 0.03^{a}	66.33 ± 1.96^{c}	0.31 ± 0.01^{b}
		Non-light	7.05 ± 0.01^{b}	60.40 ± 0.36^{b}	0.26 ± 0.00^{a}
BWR 96025	0 day		7.34 ± 0.04^{c}	37.50 ± 1.01^{a}	2.27 ± 0.04^{c}
	7 day	Light	6.85 ± 0.04^{a}	52.33 ± 0.64^{c}	0.49 ± 0.02^{a}
		Non-light	7.17 ± 0.06^{b}	49.27 ± 0.65^{b}	0.80 ± 0.02^{b}
BWR 96044	0 day		7.28 ± 0.03^{c}	48.03 ± 0.21^{a}	1.48 ± 0.06^{c}
	7 day	Light	6.79 ± 0.04^{a}	50.33 ± 0.64^{a}	0.45 ± 0.04^{a}
		Non-light	7.13 ± 0.02^{b}	48.20 ± 1.93^{a}	0.76 ± 0.01^{b}

Mean value $\pm$ standard deviation of triplicates.

Mean values with different letter in the same column of each rice variety are significantly different ($p \leq 0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3.2.2 ค่าสี

จากการวิเคราะห์ค่าสีของ PWE พบว่า แสงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของ PWE เพิ่มขึ้นในวันที่ 7 เมื่อเทียบกับวันที่ 0 และการเก็บรักษาในสภาวะที่มีแสงจะมีความสว่างน้อยกว่าข้าวเหนียวดำมีแสงจะมีค่าความสว่างสูงกว่าการเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่มีแสง (ตารางที่ 18) โดยผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกัน สำหรับ PWE จากข้าวทั้ง 3 ชนิด

สำหรับค่าสีแดง (a*) ของ PWE พบว่า แสงมีผลให้ค่าสีแดงของ PWE เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า ค่าสีแดงของ PWE มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 7 วัน และการเก็บรักษาในสภาวะที่มีแสงจะมีค่าสีแดงน้อยกว่าการเก็บในสภาวะที่ไม่มีแสง (ตารางที่ 18) โดยผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันสำหรับ PWE จากข้าวทั้ง 3 ทั้งนี้อาจเนื่องจากสภาวะของ PWE มีค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงคือมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลให้รงควัตถุให้สีใน PWE เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอยู่ในสภาวะที่มีสีแดงและมีความเสถียรมากขึ้น ดังนั้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้นมีผลให้ PWE มีสีแดงขึ้นได้

ส่วนค่าสีเหลือง (b*) พบว่า แสงมีผลให้ค่าสีเหลืองใน PWE เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บนาน 7 วัน ($p \leq 0.05$) และการเก็บในสภาวะที่มีแสงจะมีการเพิ่มน้อยกว่าการเก็บแบบไม่มีแสง (ตารางที่ 18) ทั้งนี้เนื่องจากค่าสีแดงที่ลดลงของน้ำสกัดมีผลให้น้ำสกัดมีสีที่อ่อนลง และรงควัตถุเกิดการเปลี่ยนสีจากสีแดงเปลี่ยนเป็นไม่มีสี ทำให้การวัดค่าสีเหลืองของ PWE เพิ่มขึ้นได้

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 18 Effect of light during storage on color parameters of pigmented rice water extracts

Rice varieties	Storage time	Condition	Color		
			L*	a*	b*
RWR 96060	0 day		34.83±0.03[a]	54.07±1.72[a]	53.62±0.05[a]
	7 day	Light	41.74±0.04[b]	55.39±0.04[ab]	70.80±0.06[b]
		Non-light	47.20±0.01[c]	56.79±0.02[b]	73.17±0.06[c]
BWR 96025	0 day		15.66±0.01[a]	30.62±0.01[a]	17.58±0.58[a]
	7 day	Light	33.08±0.51[b]	34.65±1.24[b]	29.01±0.05[b]
		Non-light	29.77±0.47[c]	41.51±0.12[c]	30.83±0.09[c]
BWR 96044	0 day		15.71±0.19[a]	22.47±0.07[a]	26.46±0.03[a]
	7 day	Light	30.51±0.01[c]	34.15±1.15[b]	27.04±0.01[b]
		Non-light	29.23±0.03[b]	39.58±0.01[c]	29.16±0.03[c]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Mean values with different letter in the same column of each rice variety are significantly different ($p \leq 0.05$).

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3.2.3 ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด

สำหรับค่าโพลีฟีนอลทั้งหมด พบว่า การเก็บรักษาในสภาวะแสงที่ต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของ PWE อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 19 การเก็บในสภาวะแบบไร้แสงเป็นเวลา 7 วันจะเกิดการสูญเสียปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดน้อยกว่าการเก็บในสภาวะที่มีแสง เมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 0 ของการเก็บรักษา โดยผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันในข้าวทั้ง 3 ชนิด ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะที่มีแสงจะเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอล ทำให้เกิดการสูญเสียสารดังกล่าวได้มากขึ้น

4.3.2.4 ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด พบว่า PWE มีปริมาณแอนโธไซยานินลดลงเมื่อเก็บไว้ 7 วัน และแสงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดย PWE ที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีแสงจะ

เกิดการสูญเสียปริมาณแอนโธไซยานินสูงกว่าการเก็บในสภาวะแบบไม่มีแสง เมื่อเทียบกับวันที่ 0 ของการเก็บรักษา โดยมีปริมาณแอนโธไซยานินอยู่ในช่วง 1.11-1.69 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนการเก็บแบบมีแสงและไม่มีแสง PWE มีปริมาณแอนโธไซยานินอยู่ในช่วง 0.69-1.07 และ 0.98-1.20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 19) การเสื่อมสลายของแอนโธไซยานิน โดยเฉพาะแอนโธไซยานินที่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่ง C-5 จะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเนื่องจากแสงได้มากกว่าแอนโธไซยานินที่ไม่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่ง C-5 (ยุพาพร, 2547) นอกจากนี้แสงยังเป็นตัวเร่งให้เกิดการเสื่อมสลายจากความร้อน และการเกิด photo-oxidation ของแอนโธไซยานินจะให้ผลเหมือนกันกับแอนโธไซยานินที่เสื่อมสลายด้วยความร้อน เกิดเป็น chalcone (ไม่มีสี) จึงมีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินใน PWE ลดลงได้ ซึ่งการทดลองมีความสอดคล้องกับ Palamidis and Markakis (1975) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินในเครื่องดื่ม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง พบว่า การเก็บรักษาในสภาวะที่มีแสงมีผลให้ความเข้มข้นของปริมาณแอนโธไซยานินในเครื่องดื่มลดลง

นอกจากนี้ Morais *et al* (2002) ศึกษาอิทธิพลของสภาวะการเก็บต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินในเครื่องดื่ม โดยเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่มีแสงและมีแสงเป็นเวลา 14 วัน พบว่า อัตราการสลายตัวของแอนโธไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีแสง

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 19 Effect of light during storage on total polyphenol and total anthocyanin contents of the pigmented rice extracts

Rice varieties	Storage time	Condition	Total polyphenol (mg GAE/ ml extracts)	Total anthocyanin (mg Cy-3-G/ml extracts)
RWR 96060	0 day		2.18±0.02[c]	1.11±0.03[c]
	7 day	Light	1.97±0.01[a]	0.69±0.02[a]
		Non-light	2.06±0.01[b]	0.98±0.08[b]
BWR 96025	0 day		3.73±0.03[c]	1.69±0.01[c]
	7 day	Light	2.82±0.02[a]	1.07±0.04[a]
		Non-light	3.32±0.05[b]	1.20±0.02[b]
BWR 96044	0 day		3.55±0.02[c]	1.66±0.01[c]
	7 day	Light	2.73±0.03[a]	0.91±0.11[a]
		Non-light	3.24±0.12[b]	1.01±0.04[b]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Mean values with different letter in the same column of each rice variety are significantly different ($p \leq 0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3.2.5 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ

ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ PWE นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ จากการทดลองพบว่าแสงมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ และ $ABTS^{+}$ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีผลต่อการต้านอนุมูล SRSA อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) การเก็บรักษาในสภาวะที่มีแสงมีผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงจากวันที่ 0 มากกว่า การเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่มีแสง (ตารางที่ 20)

Table 20 Effect of light during storage on scavenging activity of pigmented rice extracts (0.02 mg/ml)

Rice varieties	Storage time	Condition	Radical scavenging activity (%)		
			$DPPH^{\cdot}$	$ABTS^{+}$	SRSA
RWR 96060	0 day		32.68±1.06^{c}	40.10±0.45^{b}	0.54±0.02^{b}
	7 day	Light	25.67±0.39^{a}	34.05±1.24^{a}	0.30±0.01^{a}
		Non-light	31.08±0.74^{b}	36.67±1.33^{a}	0.31±0.00^{a}
BWR 96025	0 day		37.75±0.66^{c}	54.48±0.88^{c}	1.55±0.04^{a}
	7 day	Light	28.67±1.28^{a}	48.79±0.74^{a}	1.38±0.02^{a}
		Non-light	30.66±0.24^{b}	50.53±1.33^{b}	1.46±0.17^{a}
BWR 96044	0 day		37.06±1.37^{b}	50.69±0.29^{c}	1.29±0.01^{a}
	7 day	Light	34.23±1.03^{a}	47.60±0.73^{a}	1.08±0.08^{a}
		Non-light	35.92±0.14^{ab}	48.81±0.51^{b}	1.19±0.01^{a}

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Mean values with different letter in the same column of each rice variety are significantly different ($p \leq 0.05$)

4.3.2.6 ผลของการเก็บ 7 วัน

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเทียบกับวันที่ 0 แล้ว PWE ที่เก็บไว้นาน 7 วันจะมีคุณภาพที่ด้อยลงและการเก็บรักษาในสภาวะที่มีแสง จะเกิดการสูญเสียปริมาณต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่มีแสง จากการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการคัดเลือกชนิดของบรรจุภัณฑ์ได้ คือ ต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการสัมผัสกับแสงได้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์คงคุณค่าทางโภชนาการได้

4.4 ศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำสกัดจากข้าวมีสี (Pigmented rice beverage, PRB)

จากการศึกษา PWE ที่ได้จากข้าวมีสี 3 ชนิด พบว่า มีผลการศึกษาทางกายภาพและเคมีที่ใกล้เคียงกัน แต่ PWE ที่ได้จากข้าวมีสีพันธุ์ BWR96025 มีปริมาณและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกน้ำสกัดจากข้าวชนิดนี้เป็นตัวแทนในการศึกษาการผลิตเครื่องดื่มสกัดจากข้าวมีสี โดยสภาวะในการสกัด PWE สัดส่วนของข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:15 อุณหภูมิ

Prince of Songkla University Pattani Campus

การสกัด 100 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการสกัด 25 นาที กรองน้ำสกัดด้วยผ้าขาวบาง จะได้ PWE ที่ใช้สำหรับการผลิต PRB ต่อไป

4.4.1 วิธีการเตรียมผลิตภัณฑ์ PRB

นำ PWE มาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดสูตรในการผลิตเครื่องดื่มที่แตกต่างกัน 4 สูตร ซึ่งมีความแตกต่างของปริมาณน้ำตาล 3 ระดับคือ 3, 5 และ 8 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองเบื้องต้นในการเตรียมเครื่องดื่มผสมกรดแอสคอร์บิก พบว่า เครื่องดื่มจะมีรสเปรี้ยวเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณกรดแอสคอร์ที่เพิ่มขึ้นจึงเลือกใช้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ระดับต่ำสุดคือ 0.1 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับน้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์ และพาสเจอไรส์ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที นำไปบรรจุขวดขณะร้อนปิดฝาทันทีและลดอุณหภูมิด้วยน้ำแข็ง จากนั้นเก็บผลิตภัณฑ์ในตู้แช่เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (รูปที่ 30) ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ดังรูปที่ 31 นำผลิตภัณฑ์มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผลการทดสอบเป็นดังต่อไปนี้

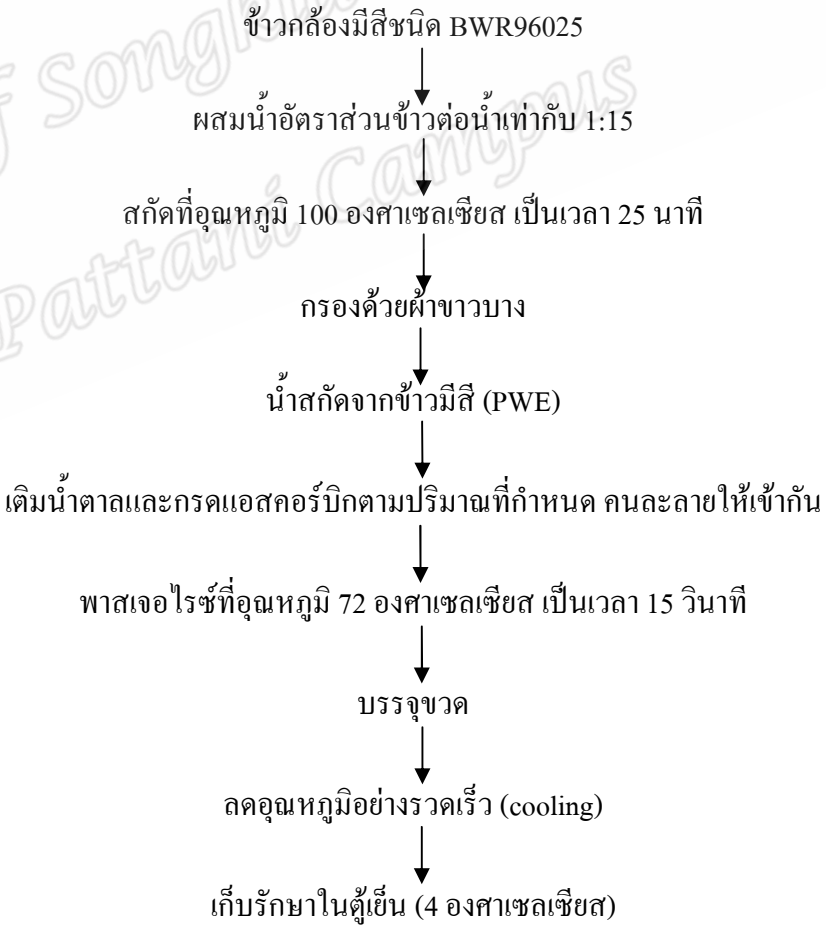


Figure 30 Pigmented rice beverage production

Prince of Songkla University Pattani Campus

Figure 31 Pigmented rice beverage from BWR96025 and 8 % of sugar content

4.4.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มทางประสาทสัมผัส โดยนำทั้ง 4 สูตรดังกล่าว ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-points hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ในคุณลักษณะ สี กลิ่นรสข้าว รสหวาน รสเปรี้ยว และความชอบรวม โดยทำการเสิร์ฟทีละตัวอย่างตามลำดับการเสิร์ฟที่มีการสุ่มลำดับการเสิร์ฟล่วงหน้า ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 21 ผลการทดลองพบว่า คะแนนการประเมินคุณลักษณะของผู้ทดสอบมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากกลุ่มผู้ทดสอบมีความหลายจึงมีการให้คะแนนการทดสอบทุกคุณลักษณะที่มีความแปรปรวนสูง ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ PRB พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบของสีไม่แตกต่างกัน (p>0.05) เครื่องดื่มสูตรที่เติมปริมาณน้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์ผสมกับกรดแอสคอร์บิก 0.1 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด คือ 6.57 ทั้งนี้เนื่องจาก PRB ที่มีการเติมกรดแอสคอร์บิกจะมีสีที่แดงขึ้นและมีความใสมากขึ้น มีลักษณะคล้ายกับน้ำกระเจี๊ยบซึ่งผู้ทดสอบมีความคุ้นชินอาจมีผลให้ชอบสูตรนี้มากที่สุด

ในด้านกลิ่นรสข้าวของ PRB พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนกลิ่นรสข้าวของแต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน (p>0.05) เนื่องจาก PRB ทุกสูตรใช้อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำที่เท่ากันคือ 1:15 มีผลให้ผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างของกลิ่นรสได้ จากการทดลองเครื่องดื่มสูตรที่เติมปริมาณน้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด คือ 5.93 และ PRB สูตรที่เติมปริมาณน้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์ผสมกับกรดแอสคอร์บิก 0.1 เปอร์เซ็นต์นั้น พบว่า PRB มีกลิ่นรสข้าวอ่อนกว่าสูตรที่เติมเพียงน้ำตาลอย่างเดียวอาจเป็นผลให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบที่น้อยกว่า

Prince of Songkla University Pattani Campus

สำหรับรสหวานของ PRB พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเครื่องดื่มสูตรที่เติมปริมาณน้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด คือ 6.23 และไม่มีความแตกต่างกันกับสูตรที่สูตรที่เติมปริมาณน้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์ผสมกับกรดแอสคอร์บิก 0.1 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจาก PRB ในแต่ละสูตรจะมีปริมาณน้ำตาลแตกต่างกันมีผลให้ความหวานของ PRB ต่างกัน และสูตรที่มีปริมาณน้ำตาลสูงสุดคือที่ระดับ 8 เปอร์เซ็นต์ มีความหวานสูงที่สุด

รสเปรี้ยวของ PRB พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านรสเปรี้ยวสำหรับ PRB สูตรที่เติมน้ำตาล 3, 5 และ 8 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีความแตกต่างกันกับสูตรที่เติมปริมาณน้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์ผสมกับกรดแอสคอร์บิก 0.1 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก PRB สูตรที่เติมกรดแอสคอร์บิกจะมีผลให้เครื่องดื่มมีรสเปรี้ยวผู้ทดสอบให้คะแนนเท่ากับ 5.30

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับรวมของ PRB พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเครื่องดื่มสูตรที่เติมปริมาณน้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด คือ 6.47

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พิจารณาจากคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสข้าว รสหวาน ด้วยแล้วสรุปได้ว่าให้ผลที่สอดคล้องกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้เครื่องดื่มที่ผลิตจากสูตรที่เติมน้ำตาล 8 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ศึกษาในขั้นตอนการทดสอบผู้บริโภคต่อไป

Table 21 Sensory evaluation of pigmented rice beverage

Pigmented rice beverage	Sensory characteristics				
	Color	Rice flavor	Sweetness	Sourness	Overall acceptance
Sugar 3%	6.40 ± 1.45^{a}	5.60 ± 1.50^{a}	4.70 ± 1.93^{a}	3.13 ± 1.81^{a}	4.50 ± 2.18^{a}
Sugar 5%	6.27 ± 1.14^{a}	5.63 ± 1.54^{a}	5.07 ± 1.31^{ab}	3.37 ± 1.67^{a}	5.47 ± 1.83^{b}
Sugar 8%	6.43 ± 1.30^{a}	5.93 ± 1.53^{a}	6.23 ± 1.83^{c}	3.73 ± 1.46^{a}	6.47 ± 1.41^{c}
Sugar 8% + ascorbic acid 0.1%	6.57 ± 1.01^{a}	5.80 ± 1.92^{a}	5.93 ± 1.86^{bc}	5.30 ± 1.76^{b}	5.77 ± 1.92^{bc}

Mean of 30 panelists.

Mean values with different letter in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.4.3 การทดสอบผู้บริโภคทั่วไปต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสกัดจากข้าวมีสี (Consumer test)

ผลิตภัณฑ์ PRB ที่คัดเลือกจากตอนที่ 4.4.2 เพื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน ใน อ.เมือง จ.ปัตตานี โดยใช้แบบสอบถามและทดสอบการยอมรับด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ 5-points hedonic scale ในคุณลักษณะ สี กลิ่นรสข้าว รสชาติ บรรจุภัณฑ์ และความชอบรวม เพื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.4.3.1 ข้อมูลผู้บริโภค

ผู้บริโภคจำนวน 100 คน เป็นเพศหญิง 76 เปอร์เซ็นต์ และชาย 24 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย ผู้มีอายุในช่วงปี 16-20 จำนวน 34 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอายุ 21-25 ปี จำนวน 22 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอายุ 26-30 ปี จำนวน 16 เปอร์เซ็นต์ และช่วงอายุ 31-35 จำนวน 28 เปอร์เซ็นต์ โดยผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นนักเรียน และนักศึกษา คิดเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ รายได้ต่อเดือนของผู้ทดสอบส่วนมากอยู่ในช่วงต่ำกว่า 3000 บาท คิดเป็น 29 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากผู้ทดสอบส่วนใหญ่เป็นนักเรียนและนักศึกษา ดังนั้นรายได้ต่อเดือนจะได้รับจากผู้ปกครองซึ่งให้เป็นรายเดือนซึ่งถือว่าไม่มาก แต่ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ (71 เปอร์เซ็นต์) มีรายได้อยู่ในช่วง 3000-10000 บาทขึ้นไป

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 22 Consumer's information

Informaions	%
Sex	
Male	24
Female	76
status	
Single	70
Married	30
Age (years ole)	
< 20	34
20-25	22
26-30	16
> 30	28
Cereer	
Pupil and university student	60
Official qoverner staff	4
Private company staff	10
House wife	9
Worker	7
Personal business	10
Income (baht)	
< 3000	29
3000-7000	26
7001-10000	20
> 10000	25

N=100

4.4.3.2 ความชอบต่อผลิตภัณฑ์ PRB

จากการทดสอบชิมโดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไป 100 คน โดยใช้แบบสอบถามและให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์และทดสอบการยอมรับด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ 5-points hedonic scale ผู้บริโภคทั่วไปให้การยอมรับตามคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สี กลิ่นรสข้าว รสชาติ บรรจุภัณฑ์ และการยอมรับโดยรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วงของ เฉยๆ ไปจนถึงชอบ ซึ่งมีคะแนน 3.24, 3.50, 3.57, 3.41 และ 3.76 ตามลำดับ (ตารางที่ 23) นอกจากนี้ผู้บริโภคบอกถึงจุดเด่นของ PRB คือ

Prince of Songkla University Pattani Campus

มีรสชาติที่ดี มีกลิ่นรสข้าวที่หอมจำเพาะของข้าวเหนียวดำแตกต่างจากผลิตภัณฑ์จากข้าวชนิดอื่นๆ สามารถใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าเหมาะกับผู้ที่เห็นความสำคัญของสุขภาพ แต่ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ก็ยังมีจุดด้อยอยู่ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่ได้กล่าวไว้คือ สีของผลิตภัณฑ์ไม่ค่อยถูกใจคือมีสีแดงคล้ำ

Table 23 Consumer evaluation of pigmented rice beverage

Product characteristic	Pigmented rice beverage
Color	3.24±0.90
Rice flavor	3.50±0.76
Taste	3.57±0.77
Package	3.41±0.81
Overall acceptance	3.76±0.57

Mean of 100 panelists.

จากการสอบถามผู้บริโภคเพิ่มเติมถึงความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งใช้ขวดพลาสติกฝาปิดขนาด 150 มิลลิลิตร (รูปที่ 31) ผู้บริโภคจำนวน 70 เปอร์เซ็นต์ เห็นว่า บรรจุภัณฑ์ดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ แต่ก็มีผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ที่เห็นว่าไม่เหมาะสมและได้เสนอว่าการบรรจุในขวดแก้วมีความเหมาะสมกว่า นอกจากนี้ผู้บริโภคให้ความคิดเห็นด้านราคา คือ หากผลิตภัณฑ์ชนิดนี้วางจำหน่ายในราคา 12 บาทต่อขวด จำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ของผู้บริโภคสนใจซื้อ ส่วนอีก 70 เปอร์เซ็นต์ ไม่สนใจซื้อ และได้เสนอราคาที่เหมาะสมกว่าคือ 10 บาทต่อขวด ดังนั้นราคา 12 บาทจึงอาจแพงเกินไป

4.4.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสกัดจากข้าวมีสีระหว่างการเก็บรักษา

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวมีสีระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุเครื่องดื่มในขวดพลาสติกปิดสนิท และเก็บรักษาในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของเครื่องดื่มในวันที่ 0, 3 และ 7 ให้ผลการทดลองดังนี้

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.4.4.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากตารางที่ 24 พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นมีผลให้ PRB มีค่าพีเอช ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าการส่องผ่านของแสงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าพีเอชจะลดลงในวันที่ 3 และ 7 ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดใน PRB จะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นด้วย จาก 7.74 เป็น 7.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้ค่าการส่องผ่านของแสงใน PRB เพิ่มขึ้นจาก 52.86 เป็น 62.32 และ 65.84 ในวันที่ 3 และ 7 ตามลำดับ

Table 24 Effect of storage time on total solid, transmission and pH of pigmented rice beverage

Quality parameter	Days		
	0	3	7
pH	7.25 ± 0.01^{a}	7.16 ± 0.02^{b}	6.80 ± 0.01^{c}
Total solid (%)	7.74 ± 0.05^{c}	7.44 ± 0.02^{b}	7.26 ± 0.02^{a}
Transmission (%)	52.86 ± 0.62^{a}	62.32 ± 0.69^{b}	65.84 ± 0.21^{c}

Mean values ± standard deviation of triplicates.

Mean value with different letter in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$)

สำหรับค่าสี พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลให้ค่าสีของ PRB แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดย ค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ของ PRB มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นแม้ว่าค่าจะต่างกันทางสถิติแต่อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันมาก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 23.50-26.75 และ 31.74-32.91 ตามลำดับ (ตารางที่ 23) ส่วนค่าสีแดง (a*) ของ PRB พบว่าจะมีค่าลดลง (เล็กน้อย) เมื่อเครื่องดื่มมีระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรงควัตถุแอนโธไซยานินใน PRB (ตารางที่ 25)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 25 Effect of storage time on color parameters of pigmented rice beverage

Color parameter	Days		
	0	3	7
L*	23.50±0.35[a]	25.43±0.30[b]	26.75±0.19[c]
a*	32.91±0.19[b]	31.82±0.07[a]	31.74±0.16[a]
b*	31.14±0.84[a]	31.31±0.06[a]	32.06±0.19[b]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Mean values with different letter in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$)

4.4.4.2 คุณภาพทางเคมี

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และแอนโธไซยานินในระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 26) พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและแอนโธไซยานินของ PRB อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและแอนโธไซยานินจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยในวันที่ 7 ปริมาณโพลีฟีนอลลดลงเท่ากับ 21.51 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณในวันที่ 0 ขณะที่ปริมาณแอนโธไซยานินลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณในวันที่ 0

Table 26 Effect of storage time on total polyphenol and total anthocyanin of pigmented rice beverage

parameter	Days		
	0	3	7
Total polyphenol (mg GAE/ml extracts)	4.23±0.22[c]	3.93±0.06[b]	3.32±0.09[a]
Total anthocyanin (mg Cy-3-G/ml extracts)	0.60±0.04[b]	0.57±0.03[b]	0.42±0.02[a]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Mean value with different letter in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

สำหรับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดย PRB จะมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น จากตารางที่ 27 จะเห็นได้ว่าในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา PRB มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$, $ABTS^{+}$ และ SRSA ลดลงคิดเป็น 10.55, 16.15 และ 28.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 0

Table 27 Effect of storage time on antioxidant activity of pigmented rice beverage

Radical scavenging activity	Days		
(%)	0	3	7
$DPPH^{\cdot}$	42.94 ± 3.46^{b}	39.49 ± 2.88^{ab}	37.87 ± 2.44^{a}
$ABTS^{+}$	62.27 ± 0.66^{c}	58.36 ± 3.87^{b}	52.21 ± 2.44^{a}
SRSA	6.64 ± 0.28^{c}	5.89 ± 0.32^{b}	4.72 ± 0.28^{a}

Mean value $\pm$ standard deviation of triplicates.

Mean values with different letter in the same row are significantly different ($p\leq0.05$)

4.4.4.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรค (*B. cereus*, *C. perfringens*, *S. aureus*) ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ ปริมาณ *E. coli* พบว่า ผลิตภัณฑ์เริ่มต้น (วันที่ 0) ตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 30 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และไม่พบเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ เมื่ออายุในการเก็บรักษานานขึ้นมีผลให้ PRB มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจะเห็นได้ว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่ได้เป็นการนับจำนวนโคโลนีโดยคิดเป็นจำนวนเฉลี่ย ดังนั้นปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจพบในวันที่ 0 และวันที่ 3 จึงไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาวันที่ 7 ของการเก็บรักษา พบว่า PRB มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ $8.5\text{x}10^{2}$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร มีปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 25 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ *B. cereus*, *C. perfringens*, *S. aureus*, *E. coli* และ Coliform bacteria (ตารางที่ 28) ผลการทดลองจะเห็นได้ว่า PRB มีคุณภาพทางจุลินทรีย์ในวันที่ 0, 3 และ 7 ที่เป็นไปตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณะสุขฉบับที่ 214 พ.ศ.2543 เรื่องเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ที่กำหนดไว้ว่า ตรวจพบแบคทีเรียโคลีฟอร์มได้น้อยกว่า 2.2 MPN ต่อเครื่องดื่ม 100 มิลลิลิตร ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด *E. coli* ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และไม่มียีสต์และรา จากผลการศึกษานี้จะเห็นได้ว่า ด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรซ์สามารถผลิต PRB ให้มีความปลอดภัยได้

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 28 Changes in the microbial qualities of pigmented rice beverage during storage

Microbial qualities	Days		
	0	3	7
Total plate count (cfu/ml)	$3.0x10^1$	< 25	$8.5x10^2$
Yeast and mold (cfu/ml)	nd	< 25	< 25
B. cereus (cfu/ml)	nd	nd	nd
C. perfringens (cfu/ml)	nd	nd	nd
E. coli (MPN/100 ml)	nd	nd	nd
Coliform bacteria (MPN/100 ml)	nd	nd	nd
S. aureus (cfu/ml)	nd	nd	nd

nd = not detected

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาในระยะเวลานานขึ้น มีผลให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเกิดการเปลี่ยนแปลง นั่นคือ มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ แต่จากผลการทดลองเครื่องดื่มสามารถเก็บรักษาได้นาน 7 วัน (สิ้นสุดการทดลอง) โดยมีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณะสุขฉบับที่ 214 พ.ศ.2543 ว่าด้วยเรื่องเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

Prince of Songkla University Pattani Campus