บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ศึกษาคุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีที่พบในภาคใต้ของประเทศไทยจำนวน 8 พันธุ์ เป็นข้าวเจ้า 3 พันธุ์คือ HK, KN และ SY และข้าวเหนียว 5 พันธุ์คือ RWR-96060, BWR-96025, CMP, KR และ BWR-96044 (รูปที่ 6) โดยศึกษาคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพในการหุงต้ม และการรับประทาน โดยผลการศึกษาได้แสดงดังต่อไปนี้

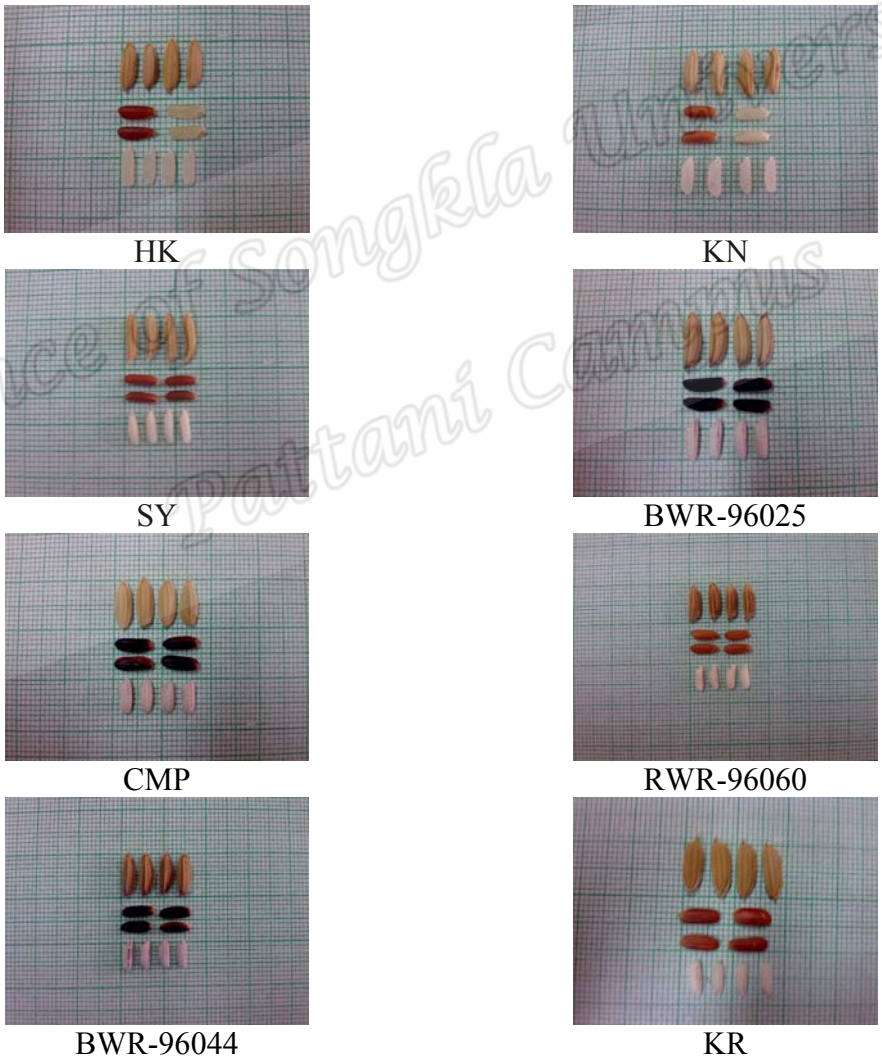


Fig 6 Paddy rice, brown rice and milled rice of pigmented rice in southern Thailand

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1 คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าว

ศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขัดขาว ได้แก่ สี น้ำหนัก และรูปร่างของเมล็ด โดยการเตรียมตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวขัดขาวได้อธิบายไว้ในข้อที่ 3.3.1 สำหรับตัวอย่างข้าวซึ่งผ่านการขัดสีมีระดับการขัดสีอยู่ในช่วง 11.25-15.41 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 17) จัดเป็นระดับการขัดสีที่ดีพิเศษ ผลการทดลองพบว่าระดับการขัดสีของข้าวพันธุ์ HK, BWR-96025, CMP และ BWR-96044 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวพันธุ์ KN และ SY สำหรับข้าวพันธุ์ KR ไม่สามารถคำนวณค่าระดับการขัดสีได้ เพราะพบว่ามีเนื้อแป้งจำนวนมากถูกขัดออกไปกับรำและเกิดการแตกหักของเมล็ดสูง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีรูปร่างของเมล็ดยาวเรียว ทำให้เมล็ดแตกหักง่ายในระหว่างการขัดสี (เครือวัลย์, 2536) จึงไม่สามารถคำนวณระดับการขัดสีที่ถูกต้องได้ ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขัดขาวเป็นดังต่อไปนี้

Table 17 Degree of milling of pigmented rice samples

Rice varieties		Degree of milling (%)
Non waxy rice	HK	11.25 ± 0.86^{a}
	SY	14.75 ± 1.08^{c}
	KN	15.41 ± 1.04^{c}
Waxy rice	RWR-96060	12.60 ± 0.57^{b}
	BWR-96025	12.25 ± 0.55^{ab}
	CMP	12.25 ± 0.96^{ab}
	KR	nd
	BWR-96044	12.15 ± 0.49^{ab}

Mean value $\pm$ standard deviation of triplicates.

Mean value with different letter are significantly different ($p<0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.1 สีของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

สีของข้าวเป็นลักษณะประจำพันธุ์ เนื่องจากมียีนเฉพาะในการควบคุมรงควัตถุที่ให้สี และแตกต่างไปตามพันธุ์ข้าว (อรอนงค์, 2547) ผลการศึกษาสีของข้าวพื้นเมืองที่มีสีของภาคใต้ทั้งในรูปของข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขัดขาว ดังแสดงในตารางที่ 18 ข้าวเปลือกของข้าวแต่ละพันธุ์มีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 49.40-59.94 โดยที่ข้าวเปลือกพันธุ์ HK, KN, SY, CMP และ KR มีค่า L* ไม่แตกต่างกัน เป็นกลุ่มข้าวที่มีสีเปลือกสว่างกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ขณะที่พันธุ์ BWR-96025 RWR-96060 และ BWR-96044 มีค่า L* น้อยลงมาตามลำดับ สำหรับค่าสีแดง (a*) ของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 5.23-6.76 โดยที่ข้าวเปลือกพันธุ์ CMP มีค่า a* น้อยที่สุด และข้าวเปลือกพันธุ์ KR มีค่า a* สูงสุด ข้าวแต่ละพันธุ์มีค่า a* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลวิเคราะห์ค่า b* ของข้าวเปลือกพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 11.29-20.52 โดยที่ข้าวพันธุ์ BWR-96044 มีค่า b* น้อยที่สุด คือ 11.29 และข้าวเปลือกพันธุ์ CMP มีค่า b* เท่ากับ 19.68 ซึ่งสูงกว่าข้าวเปลือกพันธุ์ HK และ KN และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวเปลือกพันธุ์ KR เมื่อพิจารณาสีข้าวเปลือกโดยรวม พบว่าข้าวเปลือกพันธุ์ BWR-96044 มีสีเปลือกเข้มที่สุด รองลงมาคือข้าวพันธุ์ RWR-96060, BWR-96025, KN, HK, CMP, KR และ SY ซึ่งมีสีเปลือกที่สว่างที่สุด

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 18 Color parameters of rice grain

Rice varieties	Paddy rice			Brown rice			Milled rice		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
HK	58.07±0.92^{d}	5.84±0.26^{bcd}	18.59±0.74^{d}	49.77±1.59^{d}	7.50±0.56^{c}	11.66±0.70^{de}	75.91±0.58^{b}	1.64±0.13^{d}	13.53±0.34^{d}
KN	58.00±0.78^{d}	5.95±0.19^{cd}	18.81±0.45^{d}	49.63±0.87^{d}	9.68±0.38^{d}	13.07±0.57^{f}	77.68±0.71^{c}	2.22±0.14^{e}	11.11±0.22^{bc}
SY	59.25±0.77^{d}	6.23±0.11^{de}	20.52±0.50^{e}	47.41±0.65^{c}	10.67±0.63^{e}	12.08±0.54^{e}	82.69±0.64^{f}	0.97±0.11^{b}	10.89±0.20^{b}
BWR-96025	54.70±0.81^{c}	5.47±0.16^{ab}	16.45±0.58^{c}	41.20±0.96^{a}	4.18±0.58^{a}	3.84±0.80^{b}	79.51±1.18^{d}	1.27±0.30^{c}	13.76±0.52^{e}
RWR-96060	51.77±0.49^{b}	6.56±0.19^{ef}	14.48±0.45^{b}	51.78±0.66^{e}	12.15±0.49^{f}	15.71±0.48^{g}	81.33±0.81^{e}	1.65±0.24^{d}	13.93±0.35^{e}
CMP	59.60±0.64^{d}	5.23±0.27^{a}	19.68±0.47^{de}	44.04±1.68^{b}	4.80±0.48^{b}	5.92±1.17^{c}	79.14±0.60^{d}	0.78±0.15^{a}	11.26±0.40^{c}
KR	59.94±9.06^{d}	6.76±1.61^{f}	19.18±4.53^{d}	51.44±1.27^{e}	11.00±0.97^{e}	11.44±1.04^{d}	81.21±0.65^{e}	2.43±0.20^{f}	10.90±0.28^{b}
BWR-96044	49.40±0.70^{a}	5.69±0.25^{bc}	11.29±0.65^{a}	40.82±1.04^{a}	3.84±0.74^{a}	3.30±0.84^{a}	72.05±1.56^{a}	2.19±0.18^{e}	7.43±0.38^{a}

Mean value ± standard deviation of fifteen replicates.

Mean value with different letter in the same column are significantly different (p<0.05)

Prince of Songkla University Pattani Campus

สำหรับสีของข้าวกล้องพบว่า มีค่า L*, a* และ b* อยู่ในช่วง 40.82-51.44, 3.84-12.15 และ 3.30-15.71 ตามลำดับ ข้าวกล้องพันธุ์ BWR-96044 มีค่า L* ต่ำสุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวกล้องพันธุ์ BWR-96025 ส่วนข้าวกล้องพันธุ์ RWR-96060 มีค่า L* สูงสุด คือ 51.78 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวกล้องพันธุ์ KR ขณะที่ข้าวกล้องพันธุ์ BWR-96044 มีค่า a* และ b* น้อยที่สุดคือ 3.84 และ 3.30 ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวกล้องพันธุ์ BWR-96025 และข้าวกล้องพันธุ์ RWR-96060 มีค่า a* และ b* สูงสุดซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวพันธุ์อื่นๆ จากผลการศึกษานี้สามารถแบ่งข้าวกล้องตามกลุ่มของสีได้เป็น 2 กลุ่มคือ สีม่วงแก่และสีน้ำตาลแดง ข้าวกล้องที่อยู่ในโทนสีม่วงแก่ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์ BWR-96044 ซึ่งมีสีม่วงคล้ำสุด รองมาคือ ข้าวพันธุ์ BWR-96025 และ CMP ส่วนข้าวกล้องที่มีสีน้ำตาลแดงประกอบด้วย ข้าวพันธุ์ SY มีสีน้ำตาลแดงเข้มสุด รองมาคือข้าวพันธุ์ KR และ RWR-96060 ส่วนข้าวกล้อง HK และ KN เป็นข้าวกล้องที่มีสองสี คือเมล็ดกลุ่มหนึ่งเป็นสีเหลืองอ่อนและอีกกลุ่มเป็นสีน้ำตาลแดง ในข้าวพันธุ์เดียวกันสีของข้าวกล้อง (L* a* และ b*) แตกต่างจากสีของข้าวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจัยที่ส่งผลให้สีของข้าวกล้องแตกต่างกันน่าจะเป็นรงควัตถุในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกล้อง ทำให้สีของข้าวกล้องต่างไปจากสีของข้าวเปลือก แอนโธไซยานินเป็นสารที่ให้สีได้หลากหลายคือ สีม่วง สีน้ำเงิน สีส้ม และสีแดง (Escribano-Bailon *et al.,* 2004) ซึ่งสีที่ต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้าง และค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเหตุผลนี้ข้าวกล้องจึงมีสีที่ต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์

ข้าวขัดขาวมีค่า L*, a* และ b* อยู่ในช่วง 72.05-82.69, 0.78-2.43 และ 7.43-13.96 ตามลำดับ ข้าวขัดขาวพันธุ์ RWR-96060 และ ข้าวพันธุ์ CMP มีค่า L* ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ข้าวขัดขาวพันธุ์ KN และ BWR-96044 มีค่า a* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และข้าวขัดขาวพันธุ์ KN, SY, CMP และ KR มีค่า b* ที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ สีข้าวขัดขาว แตกต่างจากข้าวเปลือกและข้าวกล้องมาก เนื่องจากกระบวนการขัดสีจะกำจัดเยื่อหุ้มเมล็ดซึ่งจากการเตรียมข้าวขัดขาว (ตามข้อ 4.1) ปริมาณของรำถูกกำจัดออกไป 11.25-15.41 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ข้าวมีค่า L* เพิ่มขึ้น และค่า a* และ b* ลดลง ระดับการขัดสีมีผลมากต่อสีของเมล็ดข้าว จากการศึกษาของ Lamberts *et al.* (2007) ได้ศึกษากระบวนการขัดสีต่อสีของเมล็ดข้าวพันธุ์ Puntal โดยให้ระดับการขัดสีอยู่ในช่วง 0-25 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่าระดับการขัดสีที่สูงถึง 15% จะส่งผลให้ค่า L* ของเมล็ดข้าวสูงขึ้น แต่ค่า a* และ b* ลดลงซึ่งอธิบายได้ว่า รงควัตถุสีแดงและสีเหลืองลดน้อยลงเพราะได้ถูกขัดสีออกไป ในเชิงพาณิชย์ระดับการขัดสีมีผลต่อราคาของข้าว เพราะข้าวที่มีระดับการขัดสีสูงและมีความสว่างของเมล็ดมาก จะมีราคาสูง เนื่องจากเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.2 ขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

ขนาด (ความกว้างและความยาวของเมล็ด) และรูปร่างของเมล็ดข้าว เป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นเกณฑ์ในการซื้อขายข้าวของไทย ข้าวที่มีเมล็ดยาวเรียว มีราคาซื้อขายสูงกว่าข้าวเมล็ดสั้น (อรอนงค์, 2546) (อังคณา และเครือวัลย์, 2539) ขนาด ความกว้าง ความยาว และรูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวแสดงในตารางที่ 19 สำหรับข้าวเปลือกพบว่าความกว้างของเมล็ดโดยส่วนใหญ่จะไม่แตกต่างกัน ซึ่งจะอยู่ในช่วง 0.20-0.35 เซนติเมตร ยกเว้นเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ BWR-96044 ซึ่งมีความกว้างมากที่สุดคือ 0.56 เซนติเมตร และแตกต่างจากข้าวพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ เมล็ดข้าวเปลือกมีความยาวอยู่ในช่วง 0.87-1.03 เซนติเมตร ความยาวของข้าวเปลือกพันธุ์ HK และ KN มีค่าน้อยที่สุดคือ (0.87 และ 0.88 เซนติเมตรตามลำดับ) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวพันธุ์อื่น ข้าวเปลือกพันธุ์ KR มีความยาวมากสุดคือ 1.03 เซนติเมตร และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวพันธุ์อื่นๆ การศึกษารูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือกทำได้โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง พบว่าข้าวเปลือกส่วนมากมีรูปร่างเมล็ดเรียวยาว ยกเว้นพันธุ์ CMP KR และ BWR-96044 ที่มีรูปร่างเมล็ดขนาดปานกลาง

สำหรับข้าวกล้องพบว่าความกว้างของข้าวพันธุ์ BWR-96025 และ CMP มีค่าเท่ากันคือ 0.69 เซนติเมตร ส่วนความยาวของเมล็ดจะอยู่ในช่วง 0.62-0.75 เซนติเมตร ข้าวกล้อง CMP และ BWR-96025 มีความยาวของเมล็ดไม่แตกต่างกัน โดยมีความยาวของเมล็ดเท่ากับ 0.69 และ 0.69 เซนติเมตรตามลำดับ รูปร่างของเมล็ดข้าวกล้องส่วนใหญ่มีลักษณะเมล็ดขนาดปานกลาง ยกเว้นข้าวพันธุ์ SY ที่มีรูปร่างเรียว จากการทดลองพบว่าหลังกะเทาะเปลือกแล้วข้าวกล้องมีความยาวและความกว้างน้อยกว่าข้าวเปลือก เนื่องจากความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องจะไม่รวมส่วนที่เป็นเปลือกข้าว

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 19 Length, width, length: width ratio and shape of paddy rice grain

Rice varieties		Length (cm.)	Width (cm.)	Length: width ratio	Shape*
Non waxy rice	HK	0.87±0.02^{a}	0.25±0.01^{a}	3.47±0.22^{c}	Slender
	KN	0.88±0.01^{a}	0.25±0.01^{a}	3.43±0.13^{c}	Slender
	SY	0.96±0.01^{bc}	0.20±0.00^{a}	4.66±0.18^{e}	Slender
Waxy rice	RWR-96060	0.98±0.02^{cd}	0.25±0.02^{a}	3.85±0.36^{d}	Slender
	BWR-96025	0.99±0.03^{de}	0.28±0.00^{ab}	3.54±0.20^{cd}	Slender
	CMP	0.94±0.03^{b}	0.35±0.01^{ab}	2.69±0.13^{a}	Medium
	KR	1.03±0.02^{f}	0.33±0.00^{ab}	3.06±0.07^{b}	Medium
	BWR-96044	1.00±0.02^{e}	0.56±0.85^{b}	3.07±0.96^{b}	Medium

*Shape was classified using length: width ratio (Table 2)

Mean value ± standard deviation of ten replicates

Mean value with different letter in the same column are significantly different (p<0.05)

Table 20 Length, width, length: width ratio and shape of brown rice grain

Rice varieties		Length (cm.)	Width (cm.)	Length: width ratio	Shape
Non waxy rice	HK	0.63±0.03^{ab}	0.22±0.01^{b}	2.85±0.24^{bc}	Medium
	KN	0.66±0.03^{bc}	0.22±0.01^{b}	2.96±0.18^{bc}	Medium
	SY	0.62±0.04^{a}	0.17±0.01^{a}	3.58±0.40^{d}	Slender
Waxy rice	RWR-96060	0.65±0.01^{ab}	0.23±0.01^{c}	2.76±0.11^{ab}	Medium
	BWR-96025	0.69±0.02^{d}	0.22±0.01^{bc}	3.05±0.11^{c}	Medium
	CMP	0.69±0.02^{d}	0.27±0.02^{d}	2.58±0.23^{a}	Medium
	KR	0.75±0.02^{e}	0.27±0.00^{d}	2.75±0.14^{ab}	Medium
	BWR-96044	0.68±0.03^{cd}	0.23±0.01^{bc}	2.94±0.20^{bc}	Medium

*Shape was classified using length: width ratio (Table 2)

Mean value ± standard deviation of ten replicates

Mean value with different letter in the same column are significantly different (p<0.05)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 21 Length, width, length: width ratio and shape of milled rice grain

Rice varieties		Length (cm.)	Width (cm.)	Length: width ratio	Shape
Non waxy rice	HK	0.59±0.02[a]	0.21±0.00[b]	2.82±0.07[a]	Medium
	KN	0.62±0.01[b]	0.20±0.00[b]	3.01±0.08[b]	Slender
	SY	0.60±0.02[a]	0.17±0.00[a]	3.53±0.15[c]	Slender
Waxy rice	RWR-96060	0.63±0.02[bc]	0.22±0.01[c]	2.78±0.16[a]	Medium
	BWR-96025	0.65±0.02[c]	0.21±0.00[b]	3.10±0.16[b]	Slender
	CMP	0.68±0.01[d]	0.24±0.00[d]	2.76±0.13[a]	Medium
	KR	0.66±0.02[c]	0.23±0.01[c]	2.78±0.15[a]	Medium
	BWR-96044	0.70±0.02[e]	0.22±0.00[c]	3.12±0.14[b]	Slender

*Shape was classified using length: width ratio (Table 2)

Mean value ± standard deviation of ten replicates

Mean value with different letter in the same column are significantly different (p<0.05)

ข้าวขัดขาวมีความกว้างของเมล็ดอยู่ในช่วง 0.17-0.24 เซนติเมตร ซึ่งข้าวพันธุ์ HK KN และ BWR-96025 มีความกว้างของเมล็ดไม่แตกต่างกัน สำหรับความยาวของเมล็ดข้าวขัดขาวอยู่ในช่วง 0.59-0.70 เซนติเมตร และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ข้าวขัดขาวพันธุ์ KR มีความยาวเมล็ดไม่แตกต่างกับข้าวขัดขาวพันธุ์ BWR-96025 โดยมีความยาวที่เท่ากันคือ 0.65 เซนติเมตร รูปร่างของเมล็ดข้าวขัดขาวมี 2 แบบคือ ข้าวขัดขาวเมล็ดยาว ประกอบด้วยข้าวพันธุ์ KN, SY, BWR-96025 และ BWR-96044 และข้าวขัดขาวเมล็ดยาวปานกลาง ประกอบด้วยข้าวพันธุ์ HK, RWR-96060, CMP และ KR ข้าวขัดขาวมีความยาวและความกว้างน้อยกว่าข้าวเปลือกและข้าวกล้อง เนื่องจากข้าวขัดขาวผ่านการกะเทาะเพื่อเอาเปลือกออก และการขัดสียังเป็นสาเหตุที่ทำให้เมล็ดข้าวมีขนาดเล็กลง เนื่องจากการขัดนอกจากจะกำจัดเยื่อหุ้มเมล็ดแล้ว ยังทำให้เอนโดสเปิร์มชั้นนอกของเมล็ดข้าวถูกทำลายไปด้วย (Lamberts *et al.*, 2007)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.3 น้ำหนักของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

น้ำหนักเมล็ดเป็นคุณภาพทางกายภาพที่เป็นลักษณะประจำพันธุ์ เนื่องจากควบคุมโดยพันธุกรรม และมีความคงที่มากที่สุด ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก>ข้าวกล้อง> ข้าวขัดขาว โดยอยู่ในช่วง 2.85-7.16, 2.73-6.02 และ 1.69-3.30 กรัม/100 เมล็ดตามลำดับ (ตารางที่ 22) เมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ SY น้ำหนักน้อยที่สุดในขณะที่ข้าวเปลือก BWR-96044 มีน้ำหนักสูงสุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวพันธุ์อื่นๆ ส่วนข้าวเปลือกพันธุ์ KN RWR-96060 และ BWR-96025 มีน้ำหนักของเมล็ดไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับข้าวเปลือกพันธุ์ CMP มีน้ำหนักเมล็ดไม่แตกต่างกันกับข้าวเปลือกพันธุ์ KR (5.31 และ 5.16 กรัม/100 เมล็ดตามลำดับ) เมล็ดข้าวเปลือกมีน้ำหนักมากกว่าข้าวกล้อง และข้าวขัดขาว เพราะเป็นน้ำหนักที่รวมแกลบและรำไว้ด้วยกัน

น้ำหนักของเมล็ดข้าวกล้อง SY มีค่าน้อยที่สุด และมีน้ำหนักไม่แตกต่างกับเมล็ดข้าวกล้อง KN (2.75 และ 2.73 กรัม/100 เมล็ดตามลำดับ) ส่วนเมล็ดข้าวกล้อง RWR-96060 มีน้ำหนักของเมล็ดไม่แตกต่างกันกับเมล็ดข้าวกล้อง HK (3.45 และ 3.37 กรัม/100 เมล็ดตามลำดับ) ดังตารางที่ 23 น้ำหนักเมล็ดข้าวกล้องจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก เพราะข้าวกล้องได้ผ่านการกะเทาะเอาเปลือกออก จึงทำให้น้ำหนักเมล็ดลดไป

สำหรับน้ำหนักเมล็ดข้าวขัดขาวอยู่ในช่วง 1.69-3.30 กรัม/100 เมล็ด และเมล็ดข้าวขัดขาว CMP มีน้ำหนักของเมล็ดไม่แตกต่างกันกับข้าวขัดขาว BWR-96025 (3.25 และ 3.30 กรัม/100 เมล็ดตามลำดับ) ดังตารางที่ 24 ข้าวขัดขาวมีน้ำหนักของเมล็ดน้อยกว่าข้าวเปลือกและข้าวกล้อง เพราะได้ผ่านการกะเทาะและขัดสีซึ่งได้กำจัดเอาเปลือกและเยื่อหุ้มเมล็ด ระดับการขัดสีมีผลต่อน้ำหนักของเมล็ดข้าว สังเกตได้ว่าข้าว SY และ KN มีระดับการขัดสีที่สูง ทำให้มีน้ำหนักของเมล็ดขัดขาวน้อย เมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์อื่นๆ ความชื้นมีผลต่อน้ำหนักของเมล็ดข้าว ดังนั้นในการคำนวณจึงคิดที่ระดับความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าข้าวเหนียวมีน้ำหนักของเมล็ดสูงกว่าข้าวเจ้า ข้าวพันธุ์ KN มีน้ำหนักข้าวกล้องและข้าวขัดขาวน้อยที่สุด ข้าวพันธุ์ BWR-96044 มีน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวกล้องมากที่สุด และข้าวขัดขาว BWR-96025 มีน้ำหนักเมล็ดมากที่สุด

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 22 Weight of paddy rice grain

Rice varieties		Grain weight (g/100 grain)*
Non waxy rice	HK	3.53 ± 0.15^{b}
	KN	4.34 ± 0.17^{c}
	SY	2.85 ± 0.23^{a}
Waxy rice	RWR-96060	4.19 ± 0.09^{c}
	BWR-96025	4.44 ± 0.32^{c}
	CMP	5.31 ± 0.31^{d}
	KR	5.16 ± 0.36^{d}
	BWR-96044	7.16 ± 0.37^{e}

*Grain weight was based on 14% moisture content of rice grain

Mean value ± standard deviation of triplicates

Mean value with different letter are significantly different ($p<0.05$)

Table 23 Weight of brown rice grain

Rice varieties		Grain weight (g/100 grain)*
Non waxy rice	HK	3.37 ± 0.16^{b}
	KN	2.73 ± 0.06^{a}
	SY	2.75 ± 0.09^{a}
Waxy rice	RWR-96060	3.45 ± 0.10^{b}
	BWR-96025	4.40 ± 0.12^{d}
	CMP	3.92 ± 0.15^{c}
	KR	4.94 ± 0.20^{e}
	BWR-96044	6.02 ± 0.07^{f}

*Grain weight was based on 14% moisture content of rice grain

Mean value ± standard deviation of triplicates

Mean value with different letter are significantly different ($p<0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 24 Weight of milled rice grain

Rice varieties		Grain weight (g/100 grain)*
Non waxy rice	HK	2.47 ± 0.07^{c}
	KN	1.69 ± 0.05^{a}
	SY	1.98 ± 0.09^{b}
Waxy rice	RWR-96060	2.89 ± 0.05^{e}
	BWR-96025	3.30 ± 0.09^{f}
	CMP	3.25 ± 0.06^{f}
	KR	2.60 ± 0.02^{d}
	BWR-96044	2.85 ± 0.01^{e}

*Grain weight was based on 14% moisture content of rice grain

Mean value ± standard deviation of triplicates

Mean value with different letter are significantly different ($p<0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2 คุณภาพทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร เถ้า ปริมาณเหล็ก ปริมาณวิตามินอีและวิตามินบีชนิดต่างๆ ปริมาณของสารโพลีฟีนอล และความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของสารโพลีฟีนอล มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.2.1 คุณภาพทางเคมี

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว แสดงดังตารางที่ 25 ข้าวกล้อง CMP และ BWR-96044 มีความชื้นต่ำและไม่แตกต่างกันทางสถิติ สำหรับปริมาณโปรตีน พบว่าข้าวกล้องทุกพันธุ์มีโปรตีนในช่วง 6.63-8.46 เปอร์เซ็นต์ ข้าวกล้องพันธุ์ CMP มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกับข้าวกล้องพันธุ์ BWR-96025 และข้าวพันธุ์ SY RWR-96060 และ BWR-96044 มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษานี้พบว่าปริมาณโปรตีนข้าวกล้องมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Wang and Wang (2004) ที่พบว่าแป้งข้าวกล้องมีโปรตีน 7.7 เปอร์เซ็นต์ และ Hamaker and Griffin (1990) ซึ่งพบว่าแป้งข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีน 7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Teo *et al*. (2000) พบว่าแป้งข้าวมีโปรตีน 8 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนในข้าวจะอยู่ในส่วนของรำ ซึ่งเป็นส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด และบางส่วนพบในเนื้อเมล็ด ส่งผลให้ข้าวกล้องซึ่งเป็นข้าวที่ไม่ได้ผ่านการขัดสีเอารำออกมีปริมาณโปรตีนมากกว่าข้าวขัดขาว ดังนั้นการบริโภคข้าวกล้องจึงทำให้ผู้บริโภคได้รับปริมาณโปรตีนมากกว่าข้าวขัด และอีกสาเหตุที่ทำให้ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องมีค่าต่างกันคือพันธุ์ข้าว และสภาวะในการเพาะปลูก (สุพิศา, 2547)

Table 25 Chemical compositions of brown rice

Rice varieties		Moisture (% wb.)	Protein (% db.)	Lipid (% db.)	Carbohydrate (% db.)	Crude fiber (% db.)	Ash (% db.)
Non waxy rice	HK	6.76±0.26^{b}	6.96±0.10^{b}	1.47±0.09^{ab}	83.35±0.40^{b}	0.28±0.00^{b}	1.44±0.10^{ab}
	KN	8.65±0.14^{f}	6.63±0.11^{a}	2.17±0.04^{c}	80.08±0.40^{d}	0.35±0.05^{c}	1.64±0.13^{ab}
	SY	7.18±0.22^{c}	8.06±0.03^{d}	1.65±0.56^{ab}	80.94±0.30^{a}	0.26±0.01^{b}	2.15±0.05^{c}
Waxy rice	RWR-96060	8.19±0.30^{e}	8.18±0.12^{d}	1.58±0.04^{ab}	80.25±0.18^{b}	0.35±0.05^{c}	1.78±0.35^{b}
	BWR-96025	7.60±0.21^{d}	8.44±0.03^{e}	1.93±0.39^{bc}	78.95±0.36^{cd}	0.26±0.01^{b}	1.52±0.12^{ab}
	CMP	6.08±0.23^{a}	8.46±0.17^{e}	1.50±0.04^{ab}	82.35±0.35^{d}	0.16±0.05^{a}	1.58±0.20^{ab}
	KR	6.83±0.26^{bc}	7.69±0.09^{c}	1.44±0.11^{a}	82.63±0.11^{cd}	0.28±0.01^{b}	1.38±0.10^{a}
	BWR-96044	5.96±0.06^{a}	8.23±0.17^{d}	1.67±0.09^{ab}	82.76±0.23^{bc}	0.29±0.00^{b}	1.35±0.07^{a}

Mean value ± standard deviation of triplicates

Mean value with different letter in the same column are significantly different (p<0.05)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 26 Chemical compositions of milled rice

Rice varieties		Moisture (% wb.)	Protein (% db.)	Lipid (% db.)	Carbohydrate (% db.)	Crude fiber (% db.)	Ash (% db.)
Non waxy rice	HK	8.37±0.19^{c}	6.46±0.04^{b}	0.39±0.03^{c}	84.29±0.29^{e}	Tr	0.47±0.11^{ab}
	KN	12.29±0.36^{e}	5.38±0.08^{a}	0.26±0.05^{a}	81.68±0.15^{a}	Tr	0.36±0.12^{a}
	SY	8.74±0.22^{c}	7.89±0.16^{f}	0.38±0.09^{c}	82.43±0.36^{b}	Tr	0.54±0.05^{b}
Waxy rice	RWR-96060	7.96±0.23^{b}	7.26±0.07^{d}	0.36±0.03^{bc}	83.84±0.09^{d}	Tr	0.56±0.05^{b}
	BWR-96025	7.26±0.03^{a}	7.17±0.06^{d}	0.27±0.03^{ab}	84.92±0.15^{f}	Tr	0.37±0.11^{a}
	CMP	8.64±0.21^{c}	7.55±0.07^{e}	0.23±0.02^{a}	82.94±0.29^{c}	Tr	0.62±0.04^{b}
	KR	9.88±0.21^{d}	6.77±0.03^{c}	0.28±0.04^{ab}	82.59±0.22^{bc}	Tr	0.46±0.04^{ab}
	BWR-96044	9.87±0.01^{d}	6.86±0.07^{c}	0.32±0.01^{abc}	82.36±0.13^{b}	Tr	0.57±0.05^{b}

Mean value ± standard deviation of triplicates

Mean value with different letter in the same column are significantly different (p<0.05)

Tr mean trace

Prince of Songkla University Pattani Campus

สำหรับปริมาณไขมันของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 1.44-2.17 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าปริมาณไขมันของข้าวพันธุ์ HK, SY, CMP, RWR-96060 และ BWR-96044 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยข้าวพันธุ์ KN มีปริมาณไขมันมากที่สุดคือ 2.17 เปอร์เซ็นต์ และข้าว KR มีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุดคือ 1.44 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาของ Heinemann *et al*. (2005) พบว่าข้าวกล้องมีไขมันเท่ากับ 2.65 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณใยอาหารของข้าวกล้องทั้ง 8 พันธุ์อยู่ในช่วง 0.16-0.35 เปอร์เซ็นต์ โดยข้าวพันธุ์ BWR-96044, HK, KR, SY และ BWR-96025 มีปริมาณใยอาหารที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ข้าวกล้อง KN มีปริมาณใยอาหารที่มากที่สุดและไม่แตกต่างจากข้าวกล้อง RWR-96060 ผลการทดลองที่ได้มีความคล้ายคลึงกับการศึกษาของ รุ่งนภา และคณะ (2546) ซึ่งพบว่าข้าวกล้องที่ใช้ศึกษามีใยอาหารอยู่ในช่วง 0.25-0.63 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Juliano (1972) พบว่าข้าวกล้องมีใยอาหารประมาณ 0.6-1.0 เปอร์เซ็นต์ ข้าวกล้องมีปริมาณใยอาหารที่สูงกว่าข้าวขัดขาว (กรมการข้าว, 2550) เนื่องจากข้าวกล้องมีส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดติดอยู่ ซึ่งเป็นแหล่งของใยอาหารที่อยู่ในรูปของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส สำหรับปริมาณเถ้าพบว่าอยู่ในช่วง 1.35-2.15 เปอร์เซ็นต์ ข้าวพันธุ์ SY, RWR-96060, CMP และ BWR-96044 มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกัน ข้าวกล้อง BWR-96044 และ KR มีปริมาณเถ้าน้อยมาก (1.35 และ 1.38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) ส่วนข้าวพันธุ์ SY มีปริมาณเถ้าสูงสุดคือ 2.15 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ สุพิศา (2547) พบว่าข้าวกล้องที่มีรงควัตถุ มีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 1.25-2.03 เปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษาของ ศศิธร (2547) พบว่าข้าวกล้องพื้นเมืองของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 1.34-1.63 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณเกลือแร่ที่มีในข้าว ปริมาณเถ้าจะพบมากในเยื่อหุ้มเมล็ดถึง 61 เปอร์เซ็นต์ของเถ้าที่พบทั้งหมดในข้าว (Lambert *et al*., 2007) ดังนั้นข้าวกล้องจึงมีปริมาณเถ้าสูงกว่าข้าวขัดขาว ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุด ซึ่งข้าวกล้องมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง 78.95-83.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ รุ่งนภา และคณะ (2546)

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของข้าวขัดขาวทุกพันธุ์มีค่าต่ำกว่าข้าวกล้อง โดยพบว่ามีโปรตีนอยู่ในช่วง 5.38-7.89 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 0.23-0.39 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 0.36-0.62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณเถ้าพบในปริมาณน้อยมาก Lamberts *et al*. (2007) กล่าวว่าการขัดสีเป็นการกำจัดเอาเยื่อหุ้มเมล็ดที่อุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน ใยอาหารและเถ้า เพราะองค์ประกอบเหล่านี้พบมากบริเวณคัพภะและเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอก (Mohapatra and Bal, 2007; Roy *et al*., 2008) ดังนั้นการขัดสีเมล็ดข้าว ทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลง จากการศึกษาพบว่าที่ระดับการขัดสีมากกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดโปรตีนบางส่วนที่พบในเยื่อหุ้มเมล็ดออกไปได้ เนื่องจากโปรตีนส่วนมากจะพบในเอนโดสเปิร์มชั้นใน ดังนั้นข้าวที่มีระดับการขัดสีสูงๆ

เช่น HK จึงมีโปรตีนต่ำ แต่ข้าว SY แม้ว่ามีระดับการขัดสีสูงแต่ก็พบปริมาณโปรตีนที่สูงเช่นกัน อาจเป็นไปได้ว่าข้าว SY มีโปรตีนที่อยู่ในเอนโดสเปิร์มชั้นในสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ข้าวขัดขาวมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง 81.68-84.92 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีปริมาณที่สูงกว่าข้าวกล้อง เพราะได้ขัดสีเอาเยื่อหุ้มเมล็ดออกไปทำให้มีสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการคำนวณสูงขึ้น ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ รุ่งนภา และคณะ (2546)

4.2.2 ปริมาณวิตามินในข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

ผลการวิเคราะห์วิตามินในข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพบว่า ทั้งข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพบวิตามินบีหนึ่งและวิตามินอี โดยพบในตัวอย่างข้าวกล้องอยู่ในช่วง 0.16-2.04 และ 0-6.51 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างตามลำดับ พบวิตามินบีหนึ่งในข้าวขัดขาว 0-0.40 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และไม่พบวิตามินอีในข้าวขัดขาว เป็นที่น่าสังเกตว่าข้าว CMP มีปริมาณวิตามินทั้งสองชนิดมากที่สุดและปริมาณวิตามินบีหนึ่งที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Xia *et al.* (2002) ที่พบว่าข้าวสีดำมีวิตามินบีหนึ่งเท่ากับ 2.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และ Deepa *et al*. (2008) พบว่าข้าวกล้องมีวิตามินบีหนึ่งในช่วง 0.40-0.52 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ส่วนปริมาณวิตามินอีที่วิเคราะห์ได้มีความใกล้เคียงกับการศึกษาของ Aguilar-Garcia *et al.* (2007) พบว่าข้าวกล้องมีวิตามินอีในช่วง 7.83-8.51 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง จากการทดลองพบว่าข้าวกล้องมีปริมาณวิตามินบีหนึ่งและวิตามินอีสูงกว่าข้าวขัดขาว เพราะการขัดสีจะกำจัดเอาเยื่อหุ้มเมล็ดซึ่งอุดมไปด้วยวิตามินออกไป นอกจากนี้ความแตกต่างของพันธุ์ข้าว และสภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกยังส่งผลให้ปริมาณวิตามินที่พบต่างกันด้วย (Deepa *et al*., 2008)

Table 27 Vitamin B_1 and E content in pigmented brown and milled rice

Sample		Vitamin B_1 (mg/100g)		Vitamin E (mg/100g)	
		Brown rice	Milled rice	Brown rice	Milled rice
Non waxy rice	HK	0.98	0.40	1.66	nd
	KN	0.16	Nd	3.85	nd
	SY	1.09	0.33	2.78	nd
Waxy rice	RWR-96060	0.26	0.22	5.35	nd
	BWR-96025	0.06	nd	nd	nd
	CMP	2.04	0.31	6.51	nd
	KR	1.19	0.08	1.35	nd
	BWR-96044	0.28	0.01	5.71	nd

Determination by department of agricultural technology, Mahasarakham university.

Nd mean not detected

4.2.3 ปริมาณเหล็กในข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

วิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กด้วยเทคนิค AAS โดยวิธีการดังกล่าวมีขีดความสามารถในการวิเคราะห์ต่ำสุดคือ 0.039 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการศึกษาพบว่า ข้าวกล้องมีธาตุเหล็กอยู่ในช่วง 0.91-1.66 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง (ตารางที่ 28) ข้าว BWR-96044 มีธาตุเหล็กสูงที่สุด รองลงมาคือ BWR-96025, KR, CMP, KN, SY, HK และ RWR-96060 สำหรับข้าวขัดขาวมีปริมาณธาตุเหล็กอยู่ในช่วง 0.30-0.84 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างและในข้าวพันธุ์เดียวกันมีค่าน้อยกว่าข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาของ ชนากานต์ และคณะ (2550) พบว่าพันธุ์ข้าวที่ปลูกบนพื้นที่ราบสูงของประเทศไทยคือ พันธุ์จะแนะแนะ มีธาตุเหล็กเท่ากับ 1.71 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง สุขจิตต์ และคณะ (2549) พบว่าข้าวมีที่มีรงควัตถุที่พบในประเทศไทยมีปริมาณธาตุเหล็กอยู่ไม่เกิน 2.50 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง นอกจากนี้ Hemalatha *et al*. (2007) ได้ศึกษาปริมาณเหล็กในธัญพืช พบว่าข้าวมีปริมาณของเหล็กเท่ากับ 1.32 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง สำหรับปริมาณของธาตุเหล็กที่พบในข้าวขัดขาวที่ได้มีใกล้เคียงกับ Heinemann *et al*. (2005) ที่ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวขัดขาวในประเทศบราซิล และพบว่าข้าวขัดขาวมีปริมาณเหล็กอยู่ในช่วง 0.40-0.29 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง จากการศึกษาของชนากานต์ และคณะ (2550) ได้ศึกษาปริมาณเหล็กในข้าวขัดขาว 4 พันธุ์คือ IR68144 (ข้าวเจ้า) จะแนะแนะ (ข้าวเหนียว) ข้าวดอกมะลิ 105 (ข้าว

Prince of Songkla University Pattani Campus

เจ้า) และเหนียวอุบล2 (ข้าวเหนียว) มีธาตุเหล็กเท่ากับ 0.92, 0.71, 0.51 และ 0.83 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง

จากการศึกษานี้พบว่าปริมาณธาตุเหล็กมีความสัมพันธ์กับสีของเมล็ด กล่าวคือเมื่อเมล็ดมีสีคล้ำมากขึ้นจะมีธาตุเหล็กสูงขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กับค่า L* a* และ b* ดังตารางภาคผนวกที่ 4 (r = -0.646 -0.654 และ -0.791 ตามลำดับ) ผลการทดลองคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Meng *et al*. (2005) พบว่าข้าวที่มีสีดำจะมีปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวที่มีสีแดงและสีขาว และ Qui *et al*. (1993) พบว่าข้าวกลุ่มจาปอนิกาที่มีรงควัตถุสีแดง มีปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวในกลุ่มอินดิกาที่ไม่มีรงควัตถุ การขัดสีทำให้ปริมาณธาตุเหล็กลดลง เมื่อระดับการขัดสีสูงขึ้น จึงมีผลต่อปริมาณของธาตุเหล็ก สังเกตได้จากข้าวกล้อง KN และ SY มีระดับการขัดสีที่สูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ทำให้มีปริมาณเหล็กเหลือในเมล็ดต่ำ เพราะปริมาณของธาตุเหล็กภายในเมล็ดจะมีค่าน้อยกว่าตรงผิวนอกของเมล็ด พบว่าที่เยื่อหุ้มเมล็ดมีแร่ธาตุประมาณ 61 เปอร์เซ็นต์ แต่ในเนื้อเมล็ดมีเพียง 23.7 เปอร์เซ็นต์ (Itani *et al.*, 2002)

Table 28 Iron content in rice grain

Rice varieties		Iron (mg/ 100 g sample)	
		Brown rice	Milled rice
Non waxy rice	HK	1.16 ± 0.03^{b}	0.82 ± 0.08^{e}
	KN	1.26 ± 0.03^{cd}	0.34 ± 0.03^{ab}
	SY	1.21 ± 0.04^{bc}	0.54 ± 0.07^{c}
Waxy rice	RWR-96060	0.91 ± 0.04^{a}	0.84 ± 0.06^{e}
	BWR-96025	1.48 ± 0.04^{e}	0.44 ± 0.04^{bc}
	CMP	1.31 ± 0.03^{d}	0.35 ± 0.07^{ab}
	KR	1.46 ± 0.03^{e}	0.70 ± 0.03^{d}
	BWR-96044	1.66 ± 0.03^{f}	0.30 ± 0.08^{a}

Mean value $\pm$ standard deviation of triplicates.

Mean value with different letter in the same column are significantly different (p<0.05)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.4 ปริมาณโพลีฟีนอลในข้าวกล้อง

โพลีฟีนอลเป็นสารที่พบในสารธรรมชาติกลุ่มใหญ่ เรียกตามความสามารถในการต้านออกซิเดชันว่าฟีนอลิกแอนติออกซิแดนท์ ซึ่งมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่ากว่าวิตามินซีและวิตามินอีหลายเท่า โพลีฟีนอลพบมากในองุ่น ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ และแม้กระทั่งข้าวที่มีรงควัตถุ (Escribano-Bailón *et al*., 2004) สำหรับการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลในข้าวมีสีที่พบในภาคใต้จำนวน 8 พันธุ์ และรายงานปริมาณฟีนอลิกในรูปของกรดแกลลิก เพราะพบกรดแกลลิกปริมาณสูงในข้าวและร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้งานได้สูง จากการทดลองในการสกัดสารโลพีฟีนอลใช้ตัวทำลายคือเมทานอล น้ำและกรดฟอร์มิก (50:48.5:1.5 v/v) ผลการทดลองพบว่าปริมาณสารสกัดที่ได้จากตัวอย่างข้าวอยู่ในช่วง 3.88-2.56 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก (ตารางที่ 29) ข้าว RWR-96060 มีปริมาณสารสกัดหยาบสูงสุด ข้าว HK มีปริมาณสารสกัดหยาบต่ำที่สุด ข้าวกล้องมีปริมาณโพลีฟีนอลอยู่ในช่วง 58.89-329.24 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ข้าวกล้อง BWR-96044 มีปริมาณโพลีฟีนอลสูงสุด และข้าวกล้อง KN มีปริมาณโพลีฟีนอลต่ำสุด โพลีฟีนอลที่พบในข้าวกล้อง HK ไม่แตกต่างกับข้าว SY, RWR-96060 และ KR

จากการศึกษาของ Shen *et al*. (2009) พบว่าปริมาณโพลีฟีนอลที่สกัดได้จากข้าวมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าว จากการทดลองนี้พบว่าข้าวกล้อง BWR-96025, BWR-96044 และ CMP มีความยาวเมล็ดมาก ทำให้มีพื้นผิวที่ของชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดมาก ส่งผลให้มีปริมาณสารโพลีฟีนอลสูงไปด้วย ข้าวกล้อง KR ถึงแม้ว่าจะมีความยาวของเมล็ดสูงที่สุด แต่กลับพบว่ามีปริมาณโพลีฟีนอลต่ำ อาจเป็นผลมากจากรงควัตถุของเมล็ดข้าวพันธุ์นี้สีอ่อนกว่าข้าวอีกสามพันธุ์ที่กล่าวมาแล้ว

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 29 Polyphenol content of rice sample

Rice varieties		Crude extract (%)	Total polyphenol (mg GAE/100g sample)
Non waxy rice	HK	2.56	80.44±6.61[b]
	KN	3.20	58.89±6.89[a]
	SY	3.06	82.01±7.90[b]
Waxy rice	RWR-96060	3.88	84.43±3.61[b]
	BWR-96025	3.36	280.15±9.83[d]
	CMP	3.17	208.42±0.00[c]
	KR	3.54	80.17±4.49[b]
	BWR-96044	3.46	329.24±6.72[e]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Mean value with different letter are significantly different (p<0.05)

เปรียบเทียบผลการศึกษานี้กับการศึกษาของ Chotimarkorn *et al.* (2008) สุพิศา (2547) และ Choi *et al.* (2007) ดังตารางที่ 29 พบว่าข้าวมีสีที่พบในภาคใต้ทั้ง 8 พันธุ์ มีปริมาณโพลีฟีนอลโดยรวมต่ำกว่าอ้างอิงดังกล่าว ทั้งนี้เพราะมีความแตกต่างในเรื่องพันธุ์และเทคนิคในการสกัด จากการศึกษาพบว่า การใช้เมทานอลและกรดเป็นตัวทำละลายจะให้ผลในการสกัดที่ดีกว่าการใช้เอทานอลเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณโพลีฟีนอลกับค่า L* a* และ b* พบว่าค่า L* a* และ b* มีความสัมพันธ์กับปริมาณโพลีฟีนอลดังตารางภาคผนวกที่ 5 (r = -0.893, -0.851 และ -0.928 ตามลำดับ) จากการศึกษาของ Goffman and Bergman (2004) พบว่าสีของเยื่อหุ้มเมล็ดมีความสัมพันธ์กับปริมาณของโพลีฟีนอลอย่างมีนัยสำคัญ ที่ส่งผลให้ปริมาณสารโพลีฟีนอลที่สกัดได้แตกต่างกัน โพลีฟีนอลมักพบอยู่ในชั้นของเยื่อหุ้มเมล็ด โดยมีการทำพันธะโควาเลนท์กับสารโพลีเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ เมล็ดพืชที่มีสีของเยื่อหุ้มเมล็ดเข้ม มักพบว่ามีปริมาณของโพลีฟีนอลสูงด้วย (Choi *et al*., 2007) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการทดลองในครั้งนี้

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 30 Comparison of polyphenol content in rice to other reports

Sample		Total polyphenol (mg/g sample)	Reference
White rice	Khao Dawk Mali 105	2.9	Chotimarkorn *et al*. (2008)
	Pathum Thani 60	3.2	
	Suphan Buri 90	2.8	
	Chainat 1	2.2	
	RD 13	2.7	
Pigmented rice	Phrae 3437	0.00-3.10	Supisa (2005)
	Phrae 0023		
	Kam-Suphan		
	San-Pha-Tawng 1		
	Sorghum	7.33	Choi *et al*. (2007)
	Black rice	3.13	
	Rice from Brazil	3.42-5.15	Nadia *et al*. (2008)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.5 ความสามารถในการขจัดอนุมูล DPPH ของสารโพลีฟีนอลจากข้าวกล้อง

DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่เกิดจากอนุมูลของไนโตรเจน มีสีม่วงเข้ม ไม่ต้องมีการ generate radical ซึ่ง DPPH ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ไม่ละลายน้ำ มีความเสถียรสูง ฉะนั้นวิธีการนี้จึงมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ เพราะใช้ได้ในเฉพาะตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ละลายน้ำเท่านั้น ดังนั้นความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระที่ศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในการรวมตัวกับ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่เสถียรที่อยู่ในสารละลาย โดยในการทดสอบนี้จะให้ DPPH (มีสีม่วงเข้ม) ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระในระยะเวลาที่กำหนด วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ดังนั้นการลดลงของความเข้มข้นของ DPPH (สีอ่อนลง) บ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวมีสีทั้ง 8 ชนิด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7

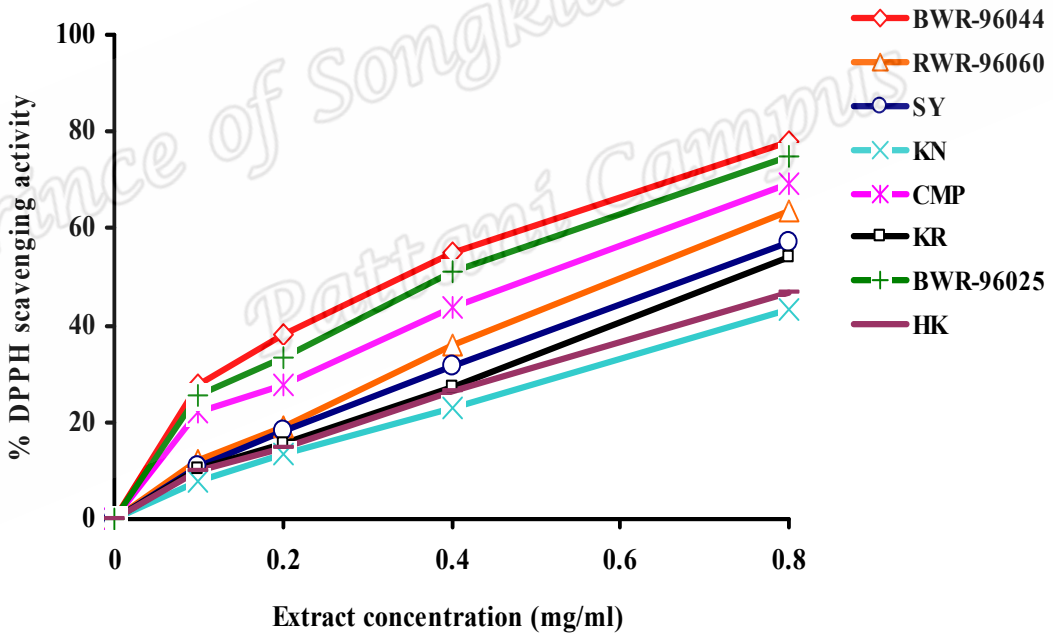


Fig 7 DPPH scavenging activity of pigmented brown rice

Prince of Songkla University Pattani Campus

ผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากข้าวกล้องมีสีสูงขึ้น ความสามารถในการขจัดอนุมูล DPPH สูงขึ้น สารสกัดจากข้าวกล้องพันธุ์ BWR-96044 มีความสามารถในการขจัดอนุมูล DPPH มากที่สุด รองลงมาคือ ข้าวกล้องพันธุ์ BWR-96025, CMP, RWR-96060, SY, KR, HK และ KN ความสามารถในการขจัดอนุมูล DPPH มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารโพลีฟีนอลในสารสกัด กล่าวคือข้าวกล้อง BWR-96044 มีปริมาณสารโพลีฟีนอลสูง ทำให้มีความสามารถในการขจัดอนุมูล DPPH สูงด้วย แต่ข้าวกล้อง KN มีปริมาณสารโพลีฟีนอลต่ำ ความสามารถในการขจัดอนุมูล DPPH จึงต่ำด้วย ผลการทดลองที่ได้มีความคล้ายกับการศึกษาของ Iqbal *et al.* (2005) ที่ได้ศึกษาปริมาณและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารที่สกัดจากข้าว 5 พันธุ์ คือ RB-kr, RB-s2, RB-bm, RB-86 และ RB-sf ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ DPPH แปรผันตรงกับปริมาณของสารโพลีฟีนอลที่สกัดได้ และจากการการศึกษาของ Chotimarkorn *et al.* (2008) ได้ศึกษาปริมาณสารโพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวในประเทศไทยจำนวน 5 พันธุ์ ซึ่งเป็นข้าวที่ไม่มีรงควัตถุได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 60 ข้าวสุพรรณบุรี 90 ข้าวชัยนาท 1 และข้าว กข 13 พบว่าความสามารถนาการขจัดอนุมูล DPPH แปรผันตรงกับปริมาณของสารโพลีฟีนอลเช่นเดียวกัน

4.2.6 ความสามารถในการขจัดอนุมูล ABTS ของสารโพลีฟีนอลจากข้าวกล้อง

ABTS เป็นอนุมูลอิสระประเภทไอออนบวก ก่อนนำมาใช้ต้อง generate radical โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระกับ ABTS เกิดได้รวดเร็วในสภาวะที่เป็นกรดจนถึงกลาง อนุมูลอิสระของ ABTS ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำ จึงใช้วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้กว้างกว่าวิธีการใช้ DPPH จากรูปที่ 8 พบว่าความสามารถในการขจัดอนุมูล ABTS ของสารสกัดที่ได้จากข้าวกล้องจะมีค่าสูงกว่าการใช้อนุมูล DPPH เนื่องจากวิธี ABTS เป็นการหาความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายได้ในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งผลการทดลองนี้มีความคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Iqbal (2005) ที่พบว่าความสามารถในการขจัดอนุมูล ABTS ของสารที่สกัดได้จากข้าวในปากีสถานมีค่าสูงกว่าการใช้อนุมูล DPPH จากการทดลองพบว่าข้าวกล้อง BWR-96044 มีความสามารถในการขจัดอนุมูล ABTS มากที่สุด และรองลงมาคือ ข้าวกล้องพันธุ์ BWR-96025, CMP, RWR-96060, SY, KR, HK และ KN ความสามารถในการขจัดอนุมูล ABTS มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารโพลีฟีนอล คือข้าวกล้อง BWR-96044 มีปริมาณสารโพลีฟีนอลสูง ทำให้ความสามารถในการขจัดอนุมูล ABTS สูงตามไปด้วย แต่ข้าวกล้อง KN มีปริมาณสารโพลีฟีนอลต่ำ ความสามารถในการขจัดอนุมูล ABTS

Prince of Songkla University Pattani Campus

จึงต่ำ แนวโน้มในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มเมื่อความเข้มข้นของสารโพลีฟีนอลเพิ่มขึ้น (Iqbal *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2007; Shen *et al.*, 2009)

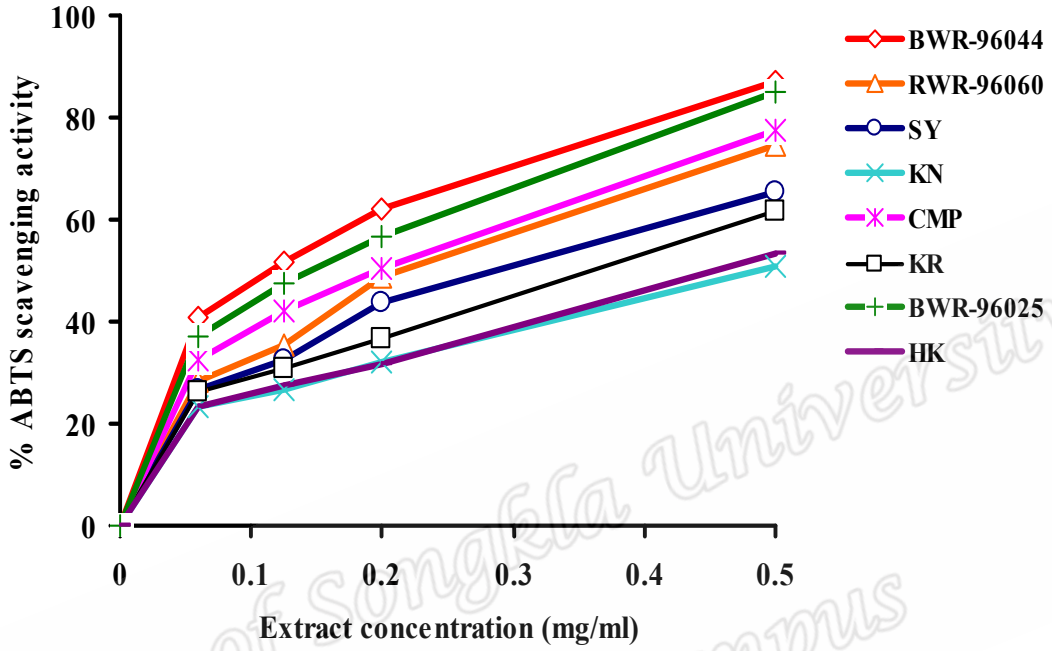


Fig 8 ABTS$^{\cdot+}$ scavenging activity of pigmented brown rice

เมื่อเทียบประสิทธิภาพในการขจัดอนุมูล DPPH และ ABTS ของสารสกัดที่ได้จากข้าวกล้องกับสารมาตรฐาน Trolox พบว่าสารมาตรฐาน Trolox มีความสามารถขจัดอนุมูลทั้งสองได้ดีกว่าแม้ใช้เพียงแค่ความเข้มข้นต่ำๆ (0-20 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) เนื่องจากสารมาตรฐานมีความบริสุทธิ์สูงและสามารถรีดิวซ์ได้ดีกว่าสารสกัดจากข้าวมีสี ค่าความสามารถในการขจัดอนุมูล ABTS ที่คำนวณหาความเข้มข้นที่เทียบเท่ากับสารมาตรฐาน พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากข้าวกล้องมีสีทั้ง 8 ชนิดอยู่ในช่วง 0.22-0.10 มิลลิโมลาร์ต่อกรัมตัวอย่าง ผลการทดลองที่ได้คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Shen *et al.* (2009) กล่าวคือความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS จากสารสกัดที่ได้จากข้าวมีสีอยู่ในช่วง 0.44-0.17 มิลลิโมลาร์ต่อกรัมตัวอย่าง

จะเห็นได้ว่าสารสกัดจากข้าวมีสีมีความสามารถขจัดอนุมูลอิสระ และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์พบว่า ปริมาณของสารโพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับสีของเมล็ด (L* a* และ b*) ดังตารางภาคผนวกที่ 6 (r = -0.794, -0.629 และ -0.770) กล่าวคือเมื่อค่า L* a* และ b* ลดลงส่งผลให้ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

Prince of Songkla University Pattani Campus

ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Shen *et al.* (2009) ที่พบว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า L* a* และ b* นอกจากนี้มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งได้กล่าวว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากธรรมชาติมีผลต่อการต้านเซลล์มะเร็ง ต้านการอักเสบของเนื้อเยื่อ ลดความเปราะบางของหลอดเลือด และลดการเกิดโรคหัวใจ (Bridle and Timberlake, 1996; Harbone and Grayer, 1998;) ดังนั้นข้าวที่มีรงควัตถุจึงมีศักยภาพสูงในการพัฒนาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3 สมบัติของสตาร์ชข้าว

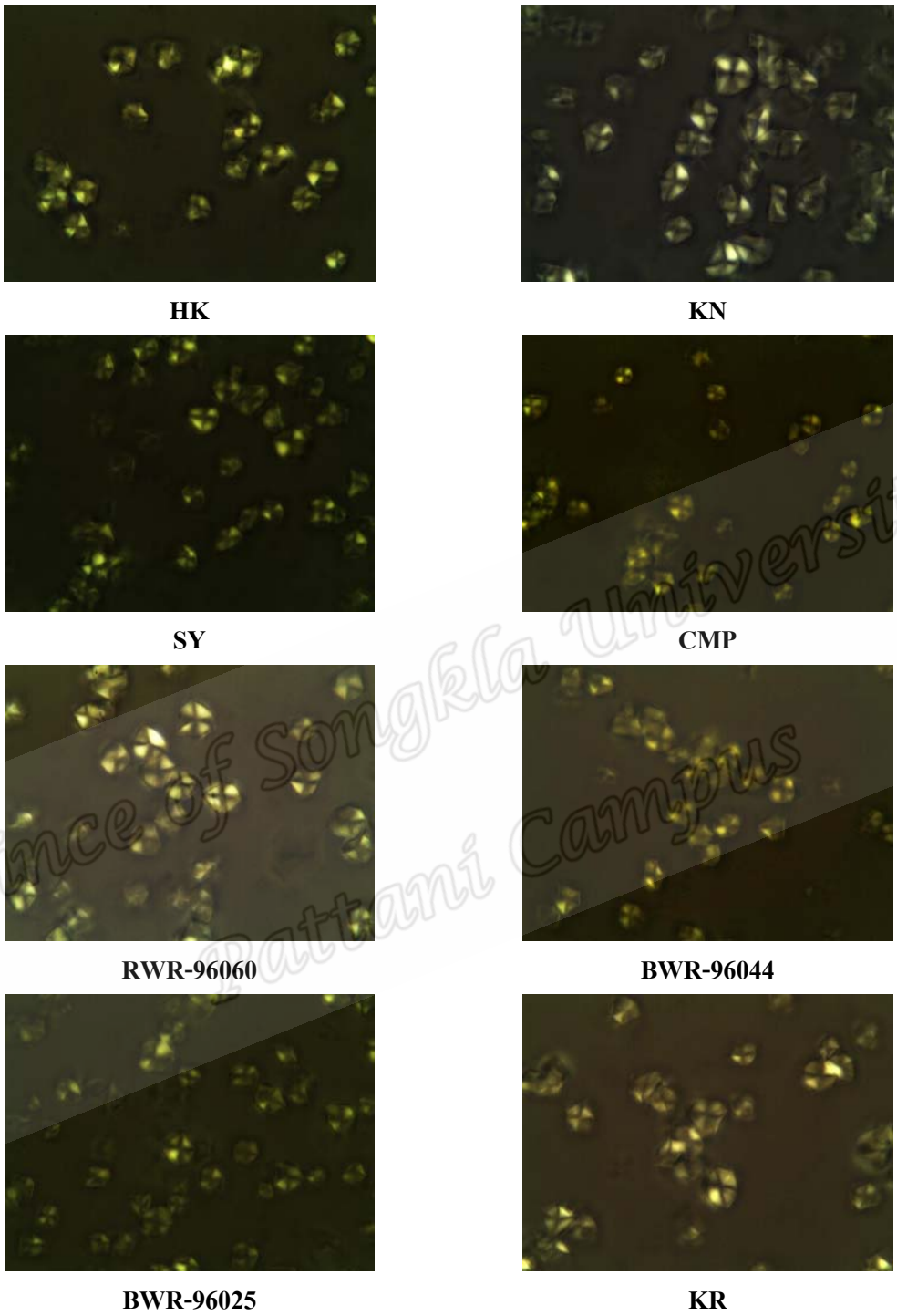
เตรียมตัวอย่างสตาร์ชข้าวตามวิธีการในข้อ 3.3.1.4 สตาร์ชที่ได้นำไปศึกษาสมบัติดังนี้ สมบัติด้านโครงสร้าง (ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ช ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ช รูปแบบโครงสร้างผลึก และความหนืดอินทรินสิค) สมบัติทางเคมี (ความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และเถ้า) และสมบัติเชิงหน้าที่ (กำลังการพองตัว ความสามารถในการละลาย ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ช การเกิดเจลาทิไนเซชัน การเกิดรีโทรกราเดชัน ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการทำละลาย ความแข็งแรงและความคงตัวของเจล)

4.3.1 สมบัติด้านโครงสร้างของสตาร์ชข้าว

4.3.1.1 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ช

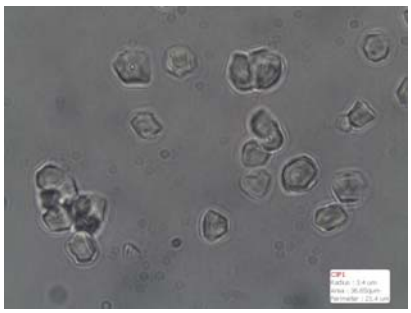
จากการศึกษารูปร่างของเม็ดสตาร์ชดิบด้วยกล้องจุลทรรศน์ระบบแสงโพลาไรซ์ พบว่าสตาร์ชมีคุณสมบัติในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ เกิดลักษณะของมอลตีสครอส (Maltese cross) ดังรูปที่ 9 แสดงถึงโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi crystalline) ของแป้งดิบ และไม่มีความแตกต่างกันในพันธุ์ข้าวทั้ง 8 พันธุ์ ขณะที่การส่องดูเม็ดสตาร์ชภายใต้แสงปกติ (รูปที่ 10) จะไม่พบมอลตีสครอส แต่มองเห็นรูปร่างเม็ดสตาร์ชมีลักษณะหลายเหลี่ยม สตาร์ชข้าวบางพันธุ์จะพบจุดเล็กๆ บนเม็ดสตาร์ชเรียกว่าไฮลัม ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช ซึ่งผลการทดลองก็มีความคล้ายคลึงกับการศึกษาของ รุ่งนภา และคณะ (2546) ซึ่งพบว่าเม็ดสตาร์ชข้าวดิบที่พบในประเทศไทย เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบลักษณะมอลตีสครอสเช่นกัน

Prince of Songkla University Pattani Campus

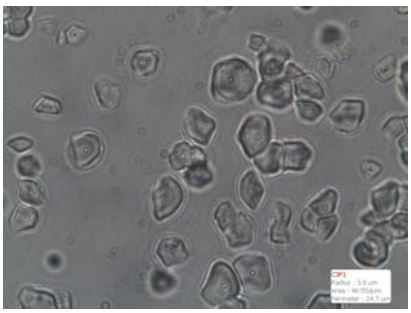


Prince of Songkla University Pattani Campus

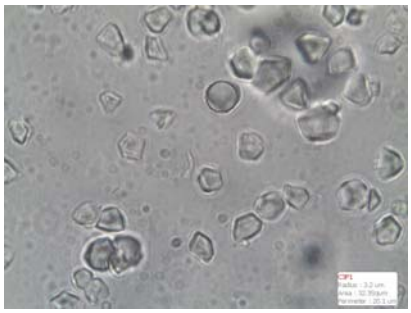
Fig 9 Polarized light microscopic image of pigmented rice starch granule (x100)



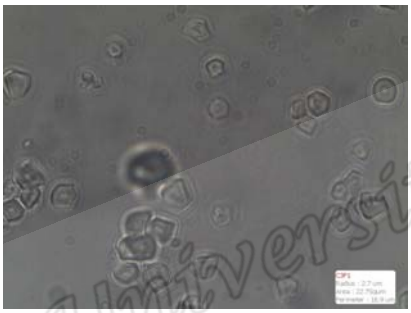
HK



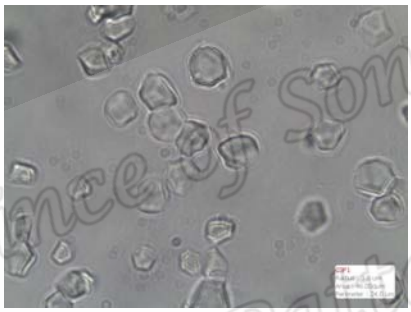
KN



SY

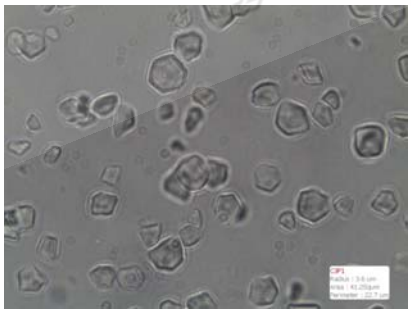


CMP

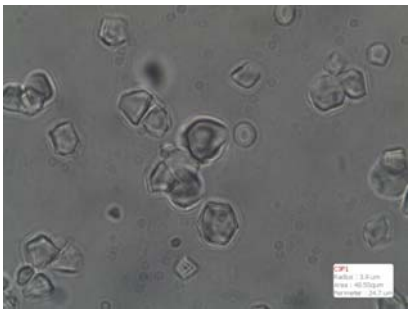


RWR-96060

BWR-96044



BWR-96025



KR

Prince of Songkla University Pattani Campus

Fig 10 Light microscopic image of pigmented rice starch granule (x100)