บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ข้าว (rice)

ข้าว เป็นเมล็ดธัญพืช (cereal grain) ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นอาหารหลักของประชากรโลกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออก ตะวันออกกลาง และตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งลาตินอเมริกา แอฟริกา และหมู่เกาะ เวสต์ อินดีส์ (West Indies) ข้าวจึงเป็นเมล็ดธัญพืชที่ถูกผลิตทั่วโลกสูงสุดเป็นอันดับที่ 2 รองจากข้าวโพด (maize) ข้าวที่นิยมบริโภคมีอยู่ 2 สปีชีส์ คือ *Oryza glaberrima* ซึ่งปลูกเฉพาะในเขตร้อน (tropical) บริเวณสามเหลี่ยมตอนบนของแม่น้ำไนเจอร์ (Niger river) ในทวีปแอฟริกา (Africa) เท่านั้น ขณะที่สปีชีส์ *Oryza sativa* ปลูกทั่วไปในหลายประเทศ โดยเฉพาะในทวีปเอเชีย ข้าวสปีชีส์ *Oryza sativa* ยังแบ่งออกได้เป็น 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวสายพันธุ์ indica เป็นพันธุ์ข้าวเมล็ดยาว ปลูกมากในเขตร้อนแพร่สู่ตอนใต้ของอินเดีย ศรีลังกาและแหลมมลายู สายพันธุ์ที่ 2 คือ japonica เป็นข้าวเมล็ดป้อม ปลูกมากในเขตอบอุ่นบริเวณแม่น้ำเหลืองของจีนแพร่ไปยังประเทศเกาหลีและญี่ปุ่น และสายพันธุ์ที่ 3 คือ javanica หรือข้าวชวา ปลูกในประเทศอินโดนีเซีย แพร่ไปยังฟิลิปปินส์และญี่ปุ่น ข้าวที่ปลูกในประเทศไทยเป็นสายพันธุ์ indica ซึ่งแบ่งออกได้เป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว นอกจากนี้ ข้าวยังได้ถูกคัดสรรและปรับปรุงพันธุ์มาโดยตลอดตั้งแต่มีประวัติศาสตร์การเพาะปลูก ข้าวในปัจจุบันจึงมีหลากพันธุ์ทั่วโลกที่ให้รสชาติและประโยชน์ใช้สอยแตกต่างกันไป

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

โครงสร้างของเมล็ดข้าวแสดงในภาพที่ 1 โดยเมล็ดข้าว (rice fruit, rice grain or rice seed) เป็นผลชนิด caryopsis เนื่องจากส่วนที่เป็นเมล็ดเดี่ยว (single seed) ติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่หรือเยื่อหุ้มผล (pericarp) เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน (กรมการข้าว, 2554) คือ

1. **ส่วนที่ห่อหุ้ม** เรียกว่า แกลบ (hull หรือ husk) ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) หาง (awn) ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmas)

2. **ส่วนที่รับประทานได้** เรียกว่า ข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice) เมล็ดข้าวที่เอาเปลือกออกแล้ว ประกอบด้วย

2.1 เยื่อหุ้มผล (pericarp) หรือ fruit coat ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกัน คือ epicarp, mesocarp และ endocarp ส่วน pericarp มีลักษณะเป็น fibrous ผนังเซลล์ประกอบด้วย protein, cellulose และ hemicelluloses

2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) อยู่ถัดจาก pericarp เข้าไป ประกอบด้วย เนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถวเป็นที่อยู่ของสารประเภทไขมัน (fatty material)

2.3 เยื่ออาลูโรน (aleurone) อยู่ต่อจาก tegmen ห่อหุ้ม starchy endosperm (ข้าวสาร) และ embryo (คัพภะ) aleurone layer มี protein สูง นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วย oil, cellulose และ hemicelluloses

2.4 ส่วนที่เป็นแป้ง (starch endosperm) หรือส่วนที่เป็นข้าวสาร อยู่ชั้นในสุด ของเมล็ดประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่และมีโปรตีนอยู่บ้าง แป้งในเมล็ดข้าวมี 2 ชนิด คือ

1) **Amylopectin** เป็น polymer ของ D-glucose ที่ต่อกันเป็น branch chain

2) **Amylose** เป็น polymer ของ D-glucose ที่ต่อกันเป็น linear chain

ส่วนประกอบของแป้งทั้ง 2 ชนิด มีสัดส่วนแตกต่างกันไปตามชนิดข้าว ในข้าว เหนียวจะมี amylose อยู่ประมาณ 0-2% ส่วนที่เหลือเป็น amylopectin ส่วนข้าวเจ้าจะมี amylose มากกว่าคือ ประมาณ 7-33% ของน้ำหนักข้าวสาร

2.5 คัพภะ (embryo) อยู่ติดกับ endosperm ทางด้าน lemma เป็นส่วนที่จะเจริญ เป็นต้นต่อไป embryo ประกอบด้วย ต้นอ่อน (plumule) รากอ่อน (radicle) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) embryo เป็นส่วนที่มี protein และ fat สูง

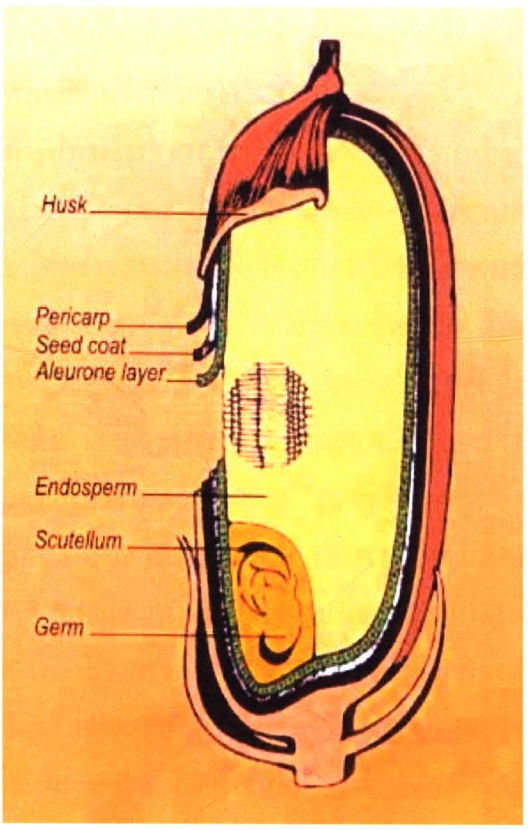


Figure 1 Structure of rice grain (source: http://www.teksengricemill.com/knowled/structure.htm)

2.2 ข้าวเหนียวก่ำ (glutinous purple rice)

ข้าวเหนียวก่ำ (*Oryza sativa* L.) ปลูกมากในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย นอกจากนี้ยังนิยมปลูกมากในประเทศแถบเอเชีย ได้แก่ ลาว เวียดนาม อินเดีย จีน และญี่ปุ่น มีลักษณะเป็นข้าวพันธุ์ไวแสง ปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี ข้าวเหนียวก่ำพันธุ์พื้นเมืองจะมีความสามารถในการทนแล้งและการฟื้นตัวจากแล้งได้ดี ต้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียว เมล็ดของข้าวเหนียวก่ำมีลักษณะเป็นสีม่วงแดงหรือสีแดงก่ำ ลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากข้าวทั่วไปที่เห็นได้ชัดคือมีสีม่วงบนส่วนต่าง ๆ ของต้น เช่น กาบใบ แผ่นใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด (ภาพที่ 2 และ 3) คุณค่าของข้าวเหนียวก่ำพันธุ์พื้นเมืองตามภูมิปัญญาท้องถิ่นเชื่อว่าเป็นสมุนไพร การปลูกข้าวเหนียวก่ำจึงเป็นการปลูกเพียงเพื่อใช้ในการรักษาโรคเท่านั้น ซึ่งโรคที่ใช้ข้าวเหนียวก่ำรักษา ได้แก่ การตกเลือดของหญิงคลอดลูก กล่าวกันว่า ในอดีตหากสตรีใดคลอดลูกและมีการตกเลือดไม่หยุด จะนำเอาต้นข้าวเหนียวก่ำมาต้มกับใบเมี่ยง (ใบชา) ให้รับประทาน นอกจากนี้ยังช่วยรักษาโรคท้องร่วง โรคผิวหนัง เช่น โรคหิด เป็นต้น ดังนั้นการปลูกข้าวเหนียวก่ำในอดีตจึงมิได้

ปลูกเพื่อบริโภค แต่จะปลูกเพื่อใช้เป็นสมุนไพร (จรัญจิตและสุวัฒน์ 2552 อ้างอิงจาก ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2551)

สารประกอบสำคัญที่พบในข้าวเหนียวก่ำได้แก่ สารแกมมา-โอไรซานอล (Gamma-oryzanol) และสารแอนโธไซยานิน (Anthocyanin) แกมมา-โอไรซานอลมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายและเป็นสารแอนติออกซิแดนท์คล้ายกับวิตามินอี และยังช่วยกระตุ้น Growth Hormone (GH) ให้ร่างกายเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างภูมิคุ้มต้านทานต่อโรคต่าง ๆ หรือบำบัดอาการเรื้อรังของโรคต่าง ๆ เช่น มะเร็ง อัมพฤกษ์ โรคหัวใจ ความดันโลหิต ลดคอเลสเตอรอล เส้นเลือดตีบ โรคเก๊าท์ ไมเกรน ลดความเครียด ช่วยให้นอนหลับ แก้ปัญหาวัยทอง ปวดประจำเดือน และสมรรถภาพเพศชาย (ธวัชชัย, 2547) ส่วนแอนโธไซยานิน เป็นสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) หรือสารจำพวกฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นสารรงควัตถุที่ให้สีม่วงแดงของข้าวเหนียวก่ำ รงควัตถุกลุ่มนี้จะให้สีบนต้นข้าวแตกต่างกันไป ตั้งแต่สีชมพูจนถึงสีม่วงดำ และมีการกระจายรงควัตถุไปตามส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวแตกต่างกันตามสายพันธุ์ ส่วนใหญ่จะพบรงควัตถุในส่วนที่เป็นลำต้นและใบ (vegetative part) และเกือบทุกส่วนของช่อดอก (floral part) ยกเว้นในส่วนของ embryo หรือ endosperm ที่ไม่พบการกระจายของรงควัตถุ แอนโธไซยานิน จะอยู่ใน vacuole ภายในเซลล์ที่อยู่ในชั้นของ epidermal cell ของใบ ดอก และผลของพืช โครงสร้างของแอนโธไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใน vocuole เปลี่ยนไป ถ้า pH เท่ากับหรือต่ำกว่า 1 จะให้สีส้มแดง ถ้า pH มากกว่า 6 จะไม่มีสี และถ้า pH น้อยกว่า 6 จะให้สีน้ำเงิน-ม่วง แอนโธไซยานินสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น alcohol และสามารถละลายได้ในน้ำ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระอีกด้วย (Karladee *et al.*, 2003)

Figure 2 Characteristics of purple glutinous rice seeds and stems (source: http://www.oknation.net/blog/print.php?id=657477)

Figure 3 Characteristics of purple glutinous rice seeds as brown rice (source: http://www.oknation.net/blog/print.php?id=657477)

2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวก่ำ

องค์ประกอบทางเคมีข้าวเหนียวก่ำมีเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของ เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.77, 10.07, 3.08, 1.24 และ 83.84% ตามลำดับ (Pongpiachan *et al.*, 2004) ขณะที่ Ling *et al.* (2002) พบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนและเยื่อใยของข้าวดำสูงกว่าข้าวขาว (ตารางที่ 1) ส่วน Karladee *et al.* (2003) ได้ศึกษาถึงปริมาณน้ำมัน (crude oil) และปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอล (gamma-oryzanol) ที่สะสมอยู่ในเมล็ดข้าวเหนียวก่ำสายพันธุ์ต่าง ๆ ได้แก่ ก่ำอมก๋อย (Kum Omkoi) ก่ำ 87061 (Kum 87061) ก่ำน่าน (Kum Nan) และก่ำดอยสะเก็ด (Kum Doi Saket) โดยเปรียบเทียบกับข้าวขาว (white rice; Mali 105) ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม พบว่าปริมาณ crude oil ที่สกัดได้จากรำของข้าวทั้ง 4 สายพันธุ์มีปริมาณสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดจากเมล็ดข้าวกล้อง (3.09 กรัมในรำข้าว 100 กรัม และ 0.66 กรัมในเมล็ดข้าว 100 กรัม ตามลำดับ) ขณะที่ปริมาณ crude oil ของข้าวเหนียวก่ำทั้ง 4 สายพันธุ์ มีปริมาณใกล้เคียงกัน และไม่พบความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขาว ปริมาณแกมมา-โอไรซานอลมีความผันแปรเนื่องจากสายพันธุ์ของข้าว โดยพบในรำข้าวประมาณ 431.54 ถึง 654.97 มิลลิกรัมในรำข้าว 100 กรัม และพบในเมล็ดข้าวกล้องประมาณ 59.01 ถึง 73.26 มิลลิกรัมในเมล็ดข้าว 100 กรัม ปริมาณแกมมา-โอไรซานอลในเมล็ดข้าวกล้องทั้งเมล็ดพบสูงที่สุดในสายพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดและก่ำ 87061 (73.26 และ 71.19 มิลลิกรัมในเมล็ดข้าว 100 กรัม ตามลำดับ) ขณะที่ปริมาณแกมมา-โอไรซานอลในรำข้าว

พบสูงที่สุดในสายพันธุ์ก่ำน่าน (654.97 มิลลิกรัมในรำข้าว 100 กรัม) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแกมมา-โอไรซานอลในรำข้าวและเมล็ดข้าวกล้องของข้าวเหนียวก่ำทุกสายพันธุ์กับข้าวขาว พบว่าข้าวเหนียวก่ำทุกสายพันธุ์มีปริมาณแกมมา-โอไรซานอลสูงกว่าข้าวขาว (ข้อมูลแสดงในตารางที่ 2 - 3 และภาพที่ 4 - 7)

Table 1 Composition of black rice and white rice outer layer fractions (Ling *et al.*, 2002)

Ingredient	**Black rice outer layer fraction unit/100 g**	**White rice outer layer fraction unit/100 g**
Protein, g	13.9	12.2
Fat, g	13.2	14.1
Carbohydrate, g	47.36	50.96
Water, g	9.9	7.98
Fiber, g	9.32	7.04
Mineral, mg	7420	7750
Phosphorus	1694.1	1542.5
Calcium	60.2	45.3
Potassium	673.7	624.6
Magnesium	79.4	90.4
Sodium	2.11	4.35
Iron	16.46	6.3
Zinc	9.96	4.92
Copper	1.49	0.91
Selenium	0.15	0.06
Vitamins, mg		
Thiamin	2.3	1.2
Riboflavin	0.4	0.14
Vitamin E	0.6	0.3
Niacin	21	13
Flavonoid, g	6.4	1.17

Table 2 Amount of γ-Oryzanol in crude oil (mg) extracted from bran of various purple glutinous rice cultivars by using hexane (Karladee *et al.*, 2003)

Cultivar	Weight of extract oil (g)	Amount of γ-Oryzanol (mg)
Kum Omkoi	3.1311	431.540
Kum 87061	2.9401	524.752
Kum Nan	3.2618	654.976
Kum Doi Saket	3.0636	653.211
Average	3.0992	566.120

Table 3 Amount of γ-Oryzanol in crude oil (mg) extracted from brown rice of various purple glutinous rice cultivars by using hexane (Karladee *et al.*, 2003)

Cultivar	Weight of extract oil	Amount of γ-Oryzanol
Kum Omkoi	0.6788	59.019
Kum 87061	0.5797	71.190
Kum Nan	0.7156	60.899
Kum Doisaket	0.6663	73.267
Average	0.6601	66.094

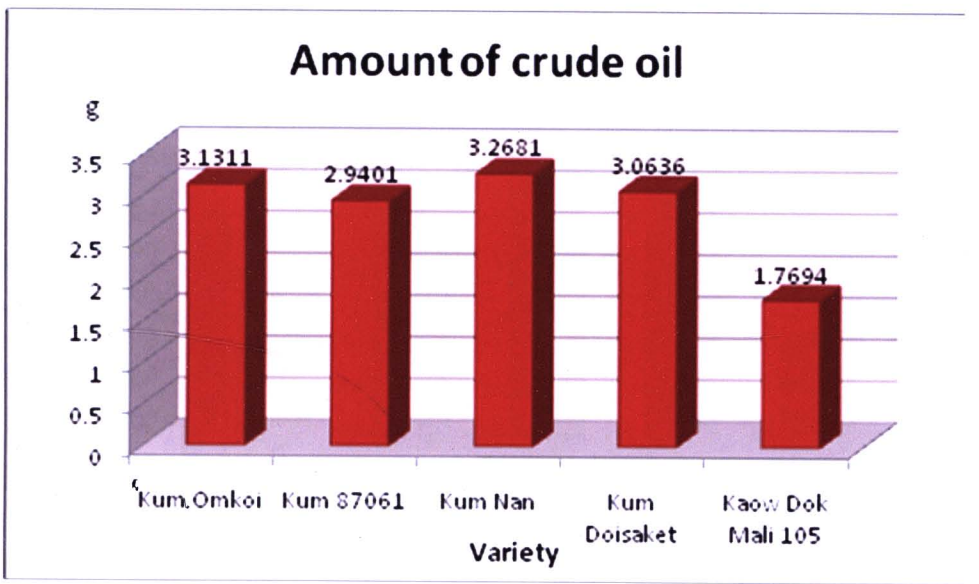


Figure 4 Comparison of the amount of crude oil (g) extracted from bran of various purple glutinous rice cultivars (Kum) and of controlled white rice (Kaow Dok Mali 105) (Karladee *et al.*, 2003)

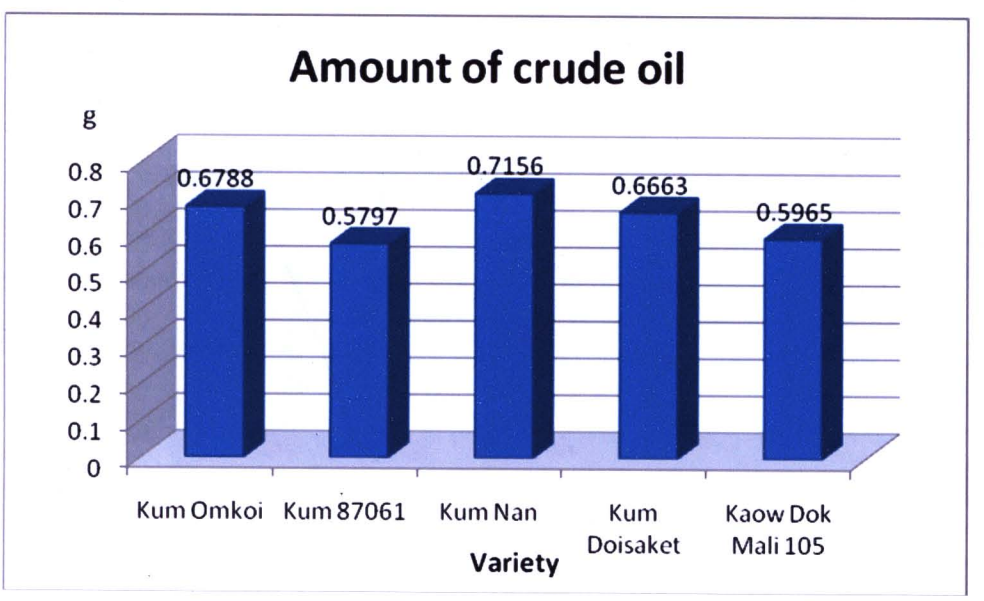


Figure 5 Comparison of the amount of crude oil (g) extracted from brown rice of various purple glutinous rice cultivars (Kum) and of controlled white rice (Kaow Dok Mali 105) (Karladee *et al.*, 2003)

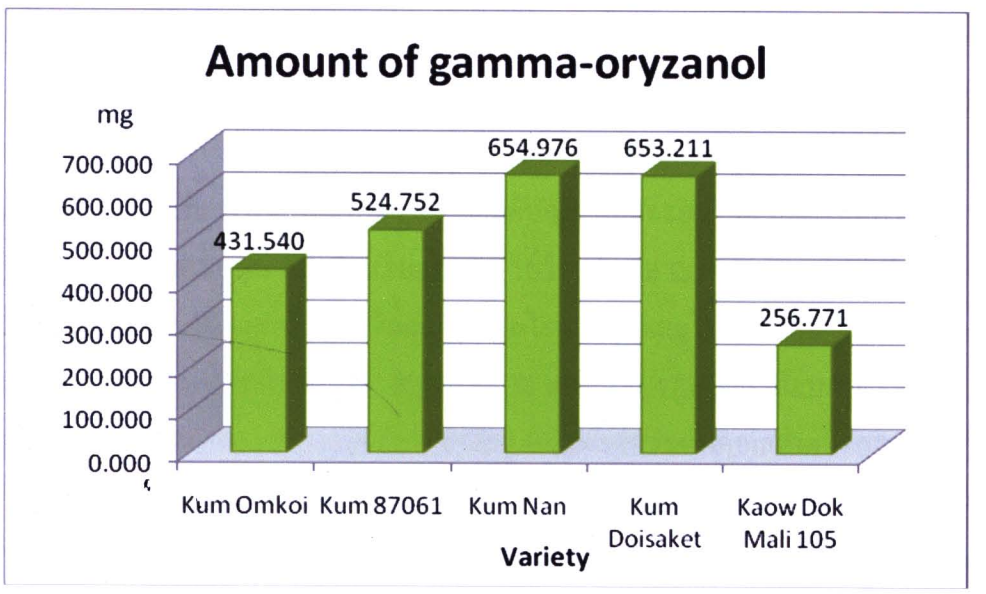


Figure 6 Comparison of the amount of γ- Oryzanol in crude oil (mg) extracted from bran of various purple glutinous rice cultivars (Kum) and of controlled white rice (Kaow Dok Mali 105) (Karladee *et al.*, 2003)

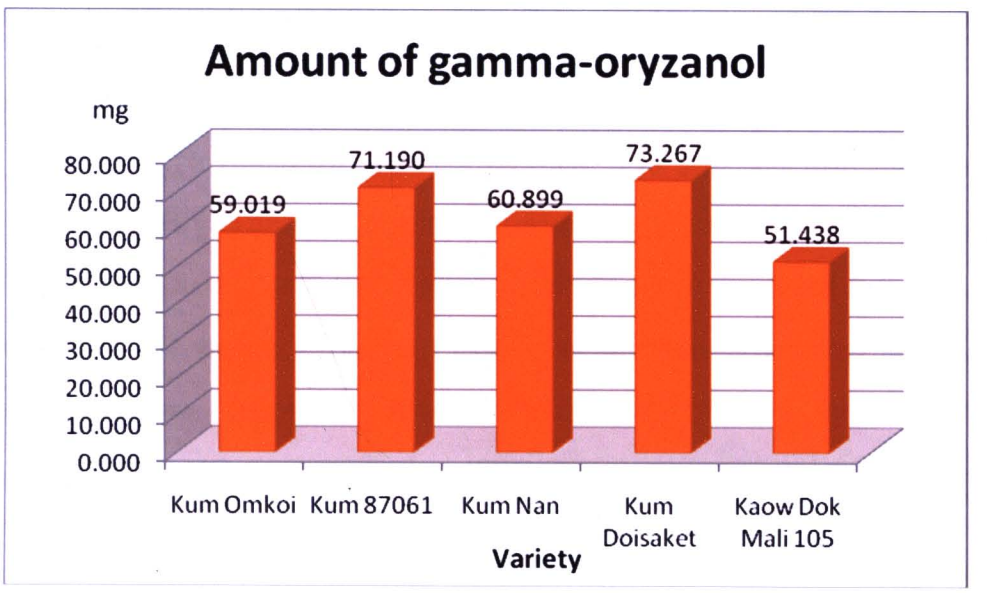


Figure 7 Comparison of the amount of γ- Oryzanol in crude oil (mg) extracted from brown rice of various purple glutinous rice cultivars (Kum) and of controlled white rice (Kaow Dok Mali 105) (Karladee *et al.*, 2003)

2.2.2 คุณสมบัติของข้าวเหนียวก่ำ

กาญจนา (2550) ได้ทำการศึกษาถึงผลของการเสริมรำข้าวเหนียวก่ำ (purple rice bran; PRB) ต่อระดับไขมันในเลือดและสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหลังหย่านม พบว่าสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง กลุ่มที่เสริม 4 และ 6% PRB มีระดับคอเลสเตอรอลในเลือดต่ำที่สุด ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมแกมมา-โอไรซานอล (3,000 mg/kg) กลุ่มที่เสริมโปรแอนโธไซยานิน (82 mg/kg) กลุ่มที่เสริมแกมมา-โอไรซานอลและโปรแอนโธไซยานิน (100 + 65 mg/kg ตามลำดับ) และกลุ่มที่เสริม 2% PRB (251.86 และ 237.47 mg/dl เทียบกับ 306.60, 317.47, 344.47, 270.60 และ 260.18 mg/dl ตามลำดับ) ส่วนผลต่อระดับคอเลสเตอรอลชนิดที่มีความหนาแน่นสูง (HDL-cholesterol) พบว่าสัปดาห์ที่ 4 และ 5 กลุ่มที่เสริม 2% PRB มี HDL-cholesterol สูงที่สุด ($P<0.05$) ส่วนผลต่อสมรรถภาพการผลิตพบว่าอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของลูกสุกรไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ วิไลวรรณ (2550) ที่พบว่าลูกสุกรกลุ่มที่เสริม 6% PRB มีแนวโน้มของอัตราการเจริญเติบโตต่อวันสูงที่สุดเท่ากับ 382.28 g รองลงมาคือ กลุ่มที่เสริม 4% PRB กลุ่มที่เสริมแกมมา-โอไรซานอลและโปรแอนโธไซยานิน (100 + 65 mg/kg) กลุ่มที่เสริมแกมมา-โอไรซานอล (3,000 mg/kg) กลุ่มที่เสริม 2% PRB กลุ่มที่เสริมโปรแอนโธไซยานิน (82 mg/kg) และกลุ่มควบคุม ตามลำดับ (369.40, 368.94, 368.31, 365.44, 360.33 และ 341.22 g ตามลำดับ) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3 แกมมา-โอไรซานอล

แกมมา-โอไรซานอล เป็นสารผสมระหว่าง ferulic acid ester ของ sterol และ triterpene alcohol มีหลายอนุพันธุ์ทั้ง แอลฟา (α) เบตา (β) และแกมมา (γ) แต่แกมมา-โอไรซานอลเป็นอนุพันธุ์ที่พบมากที่สุด (Huang, 2003) พบในรำข้าวเหนียวก่ำทั้งหมด 10 ชนิด ได้แก่ Δ-7-stigmastenyl ferulate, stigmasteryl ferulate, cycloartenyl ferulate, 24-methylene cycloartanyl ferulate, Δ-7-campestenyl ferulate, campesteryl ferulate, Δ-7-sitostenyl ferulate, sitosteryl ferulate, compestanyl ferulate และ sitostanyl ferulate โดยชนิดที่พบมากและมีความสำคัญมีอยู่ 4 ชนิดคือ cycloartanyl ferulate, 24-methylene cycloartanyl ferulate, campesteryl ferulate และ beta-sitosteryl ferulate ดังแสดงในภาพที่ 8 (Xu and Godber, 1999 และ Chotimakorn and Ushio, 2008)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

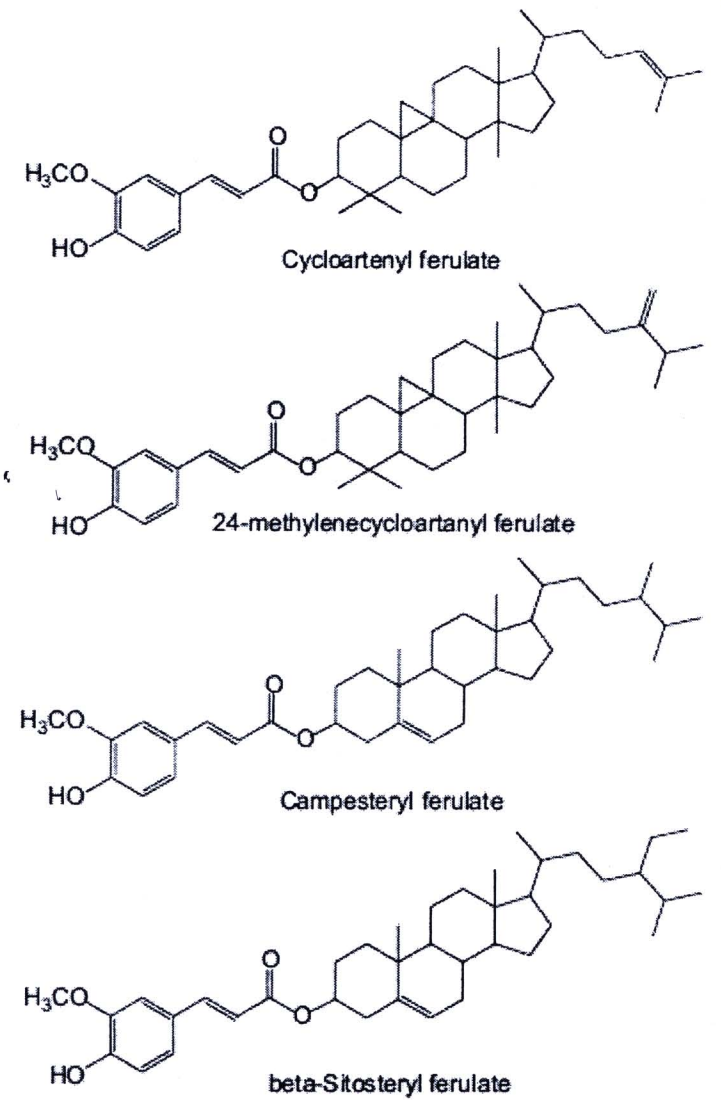


Figure 8 The 4 major chemical structure forms of feruric acid (cycloartanyl ferulate, 24-methylene cycloartanyl ferulate, campesteryl ferulate and beta-sitosteryl ferulate) (Chotimakorn and Ushio, 2008)

2.3.1 แกมมา-โอไรซานอลในข้าวเหนียวก่ำ

จากการศึกษาของ Boonsit *et al.* (2010) พบสารแกมมา-โอไรซานอลในข้าวเหนียวก่ำมีปริมาณสูงกว่าในข้าวกล้องขาว โดยพบปริมาณแกมมา-โอไรซานอลในข้าวเหนียวก่ำทุกสายพันธุ์เฉลี่ย 55.58 มิลลิกรัมในเมล็ดข้าวกล้อง 100 กรัม ขณะที่ข้าวกล้องขาวพบเพียง 30.68 มิลลิกรัมในเมล็ดข้าวกล้อง 100 กรัม โดยข้าวเหนียวก่ำสายพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดและก่ำมูเซอ มีปริมาณแกมมา-โอไรซานอลสูงที่สุดคือ 72.95 และ 70.16 มิลลิกรัมในเมล็ดข้าวกล้อง 100 กรัม ตามลำดับ Pongpiachan *et*

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 21 ส.ค. 2554
เลขทะเบียน 242954
เลขเรียกหนังสือ

al. (2004) พบว่าในรำข้าวเหนียวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดและก่ำน่านมีปริมาณแกมมา-โอไรซานอลใกล้เคียงกันคือ 2.854 และ 2.693% ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ แต่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแกมมา-โอไรซานอลในไขมันโดยรวมพบว่า รำข้าวเหนียวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดมีค่าโดยรวมสูงที่สุดคือ 20.16% ส่วนในรำข้าวเหนียวก่ำพันธุ์ก่ำอมก๋อยมีค่าต่ำที่สุดคือ 1.882% วัตถุแห้ง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์จากพืชชนิดต่าง ๆ พบว่า ข้าวโพด งา เมล็ดลินสีด กากเรปสีด กากฝ้าย ถั่วเหลืองไขมันเต็ม และรำข้าวสาลี มีสารแกมมา-โอไรซานอล อยู่ในระดับต่ำคือ 0.241, 0.007, 0.014, 0.003, 0.003, 0.001 และ 0.143% วัตถุแห้ง ตามลำดับ

2.3.2 คุณสมบัติของแกมมา-โอไรซานอล

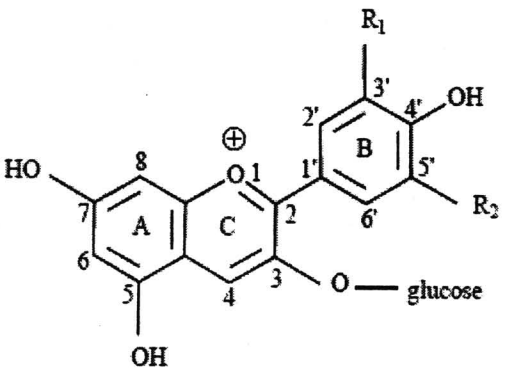
การเสริมแกมมา-โอไรซานอลในอาหารสามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมและตับได้ โดยเพิ่มการสะสม Cycloartenol (CA) ที่ตับ ซึ่งไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cholesterol esterase ทำให้มีการหลั่ง endogenous sterol ออกมาในทางเดินอาหารเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Chen and Cheng (2006) พบว่าหนูทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยแกมมา-โอไรซานอล มีระดับไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมาและตับ และคอเลสเตอรอลชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ (low density lipoprotein; LDL) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับ นอกจากนี้แกมมา-โอไรซานอลยังมีคุณสมบัติในการเพิ่มภูมิคุ้มกันในหนูทดลอง (Teltathum, 2004)

2.4 แอนโธไซยานิน

แอนโธไซยานิน (anthocyanin) เป็นองค์ประกอบย่อยของโปรแอนโธไซยานิดิน (Proanthocyanidin) ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) หรือสารจำพวกฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) (Nelida *et al.*, 1998) แอนโธไซยานินมีคุณสมบัติให้สีม่วงแดงในพืชหลายชนิด ในธรรมชาติจะพบแอนโธไซยานินอยู่ในรูปของโมเลกุลแอนโธไซยานิดิน (Anthocyanidin) 6 ชนิด คือ pelargonidin (Pn), cyanidin (Cy), malvidin (Mv), peonidin (Pd), petunidin (Pt) และ delphinidin (Dp) แสดงในภาพที่ 9 (Kong *et al.*, 2003 และ Shipp and Abdel-Aal, 2010) โดยโมเลกุลแอนโธไซยานิดินจะจับกับหมู่น้ำตาลชนิดต่าง ๆ เช่น กลูโคส กาแลคโตส และมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลที่ต่างกัน ทำให้แอนโธไซยานินมีหลายอนุพันธ์ และมีความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน (Hou *et al.*, 2004)

ได้มีการศึกษาถึงปริมาณแอนโธไซยานินในส่วนเยื่ออลูโรน (aleurone layer) ของข้าวก่ำ (black rice) พบอนุพันธ์ของแอนโธไซยานิน 2 ชนิด ได้แก่ cyanidin-3-glucoside และ peonedin-3-glucoside และพบปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด 43.2% นอกจากนี้ยังพบว่ามีองค์ประกอบอื่น ๆ

ประกอบอยู่ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน สารฟลาโวนอยด์ น้ำ และอื่น ๆ (21.6, 4.9, 16.6, 5.5 และ 8.2% ตามลำดับ) (Xia *et al.*, 2006)



Pelargonidin-3-glucoside: R_1=H, R_2=H

Cyanidin-3-glucoside: R_1=OH, R_2=H

Delphinidin-3-glucoside: R_1=OH, R_2=OH

Peonidin-3-glucoside: R_1=OCH_3, R_2=H

Petunidin-3-glucoside: R_1=OCH_3, R_2=OH

Malvidin-3-rutinoside: R_1=OCH_3, R_2=OCH_3

Figure 9 Structure of six common anthocyanidins in glucoside form with glucose. (Shipp and Abdel-Aal, 2010)

2.4.1 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในข้าวไทย

จากการศึกษาของ Nakornriab and Srihanam (2010) พบสารฟลาโวนอยด์ในข้าวสีต่าง ๆ ได้แก่ ข้าวสีขาว (white rice) ข้าวสีแดง (red rice) และข้าวสีดำ (black rice) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.8931-0.9884, 1.0103-1.0494 และ 1.0810-1.2239 GAE/g^{-1} ตามลำดับ โดยรำของข้าวสีแดงพบปริมาณสารฟีนอลิก (phenolic content) สูงที่สุด รองลงมาคือข้าวสีดำซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับข้าวสีขาว และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสายพันธุ์ข้าวพบว่า สายพันธุ์จากกลุ่มข้าวสีแดงที่มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุดคือสายพันธุ์ 5718 และ 21606 ตามลำดับ ขณะที่ในข้าวสีดำพบปริมาณสารฟีนอลิกใกล้เคียงกันในทุกสายพันธุ์ เช่นเดียวกับข้าวสีขาว แต่ยกเว้นสายพันธุ์ Homchaiya ที่มีปริมาณสารฟีนอลิกน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 10

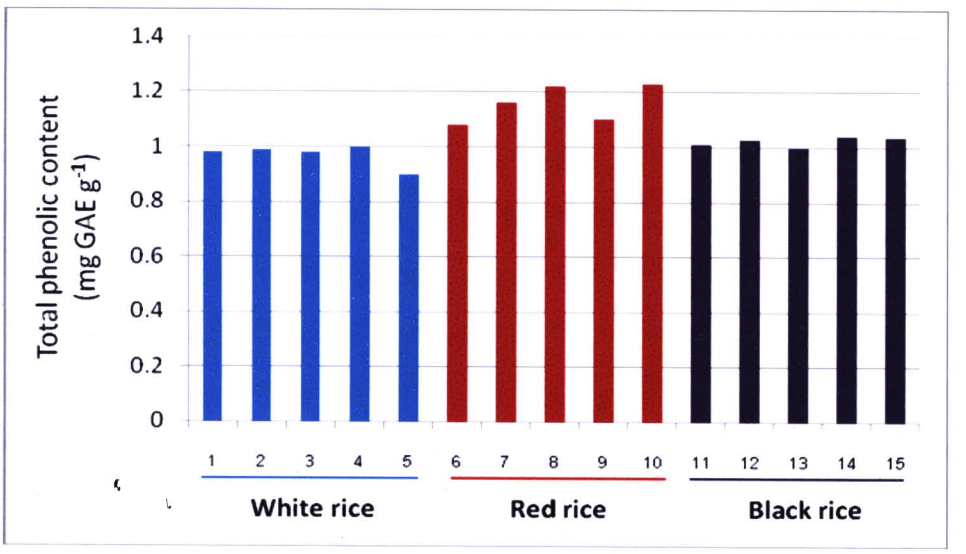


Figure 10 Total phenolic content of Thai rice bran extracts measured by the Folin-Ciocalteu method expressed as mg GAE/g: white rice; 1 (Mali105), 2 (Supun), 3 (Saohai), 4 (Homjun), 5 (Homchaiya), red rice; 6 (3256), 7 (GS18003), 8 (21606), 9 (21699), 10 (5718), black rice; 11 (96041-20), 12 (96051-37), 13 (96004-49), 14 (96023-35) and 15 (96065-42). (Nakornriab and Srihanam 2010)

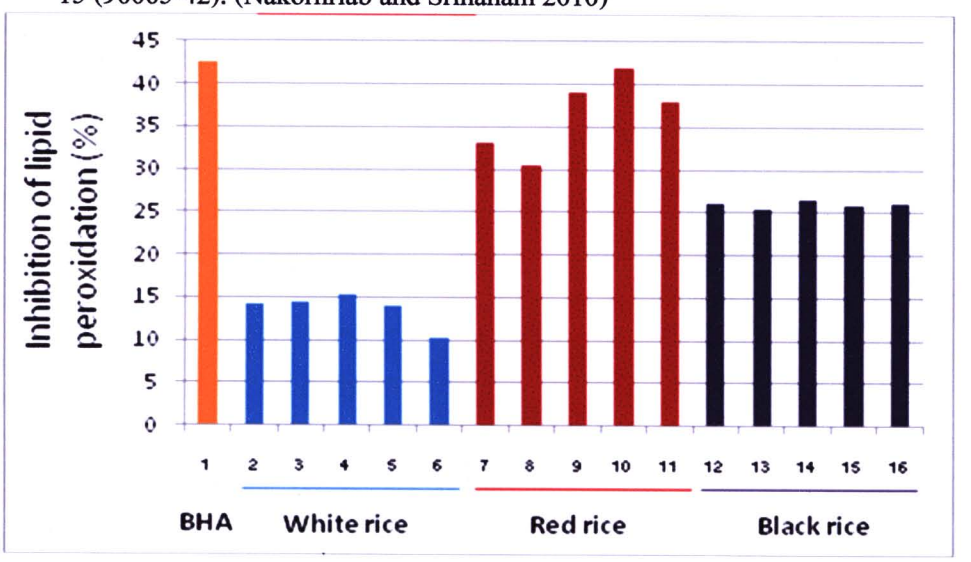


Figure 11 Antioxidative activity of crude extracts of Thai rice bran using thiocyanate method expressed as % inhibition of lipid peroxidation: white rice; 2 (Mali105), 3 (Supun), 4 (Saohai), 5 (Homjun), 6 (Homchaiya), red rice; 7 (3256), 8 (GS18003), 9 (21606), 10 (21699), 11 (5718), black rice; 12 (96041-20), 13 (96051-37), 14 (96004-49), 15 (96023-35) and 16 (96065-42) which compared with BHA (No.1). (Nakornriab and Srihanam 2010)

2.4.2 คุณสมบัติของแอนโธไซยานิน

แอนโธไซยานิน มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่มีความว่องไว รวมทั้งเป็นสารที่สามารถยับยั้ง reactive oxygen species (ROS) ซึ่งเป็นสารอนุมูลอิสระที่มีอะตอมของออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้ดีกว่าสารฟลาโวนอยด์ชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า cyanidin-3-glucoside ซึ่งเป็นสารประกอบของแอนโธไซยานินที่ออกฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด สามารถยับยั้งสาร ROS และป้องกันการถูกทำลายของเซลล์จากรังสียูวี (ultraviolet radiation) (Kaneda *et al.*, 2006) นอกจากนี้ยังพบว่าโปรแอนโธไซยานิดินสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและยับยั้งเซลล์มะเร็งปอด (Chen *et al.*, 2006) จากการศึกษาของ Nakornriab and Srihanam (2010) พบว่าข้าวสีแดงมีความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด รองลงมาคือข้าวสีดำและข้าวสีขาว ตามลำดับ แต่มีคุณเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสาร (butylated hydroxyanisole; BHA) ดังแสดงในภาพที่ 11 และตารางที่ 4

Table 4 Radical scavenging activity of Thai rice bran extracts and BHA expressed by EC_{50} (mg mL^{-1}) (Nakornriab and Srihanam, 2010)

Colour	Cultivars	EC_{50} (mg mL^{-1})
White	Mali105	0.2516
	Supun	0.1576
	Saohai	0.1644
	Homjun	0.2336
	Homchaiya	0.2582
Red	3256	0.0155
	GS18003	0.014
	21606	0.0169
	21699	0.0084
	5718	0.0057
Black	96041-20	0.0267
	96051-37	0.0243
	96004-49	0.0359
	96023-35	0.0218
	96065-42	0.0256
Standard	BHA	0.0021

2.5 การศึกษาทางด้านคุณภาพเนื้อ

2.5.1 สีของเนื้อ (colour)

สีปกติหรือสีธรรมชาติของเนื้อเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก ๆ ในการตัดสินใจเลือกซื้อ สีของเนื้อที่สดหรือผิดปกติเป็นผลเนื่องมาจากรงควัตถุของกล้ามเนื้อ (myoglobin) ที่มีรูปแบบแตกต่างกันไป และยังสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ โดยวัดออกมาได้ค่าความสว่าง (lightness, L*) ค่าความเป็นสีแดง (redness, a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) (สัญชัย, 2553) โดยค่า L* จะขึ้นอยู่กับปริมาณไมโอโกลบินในเนื้อ เมื่อค่า L* สูง เนื้อมีปริมาณไมโอโกลบินอยู่น้อย เนื่องจากเนื้อสามารถอุ้มน้ำได้น้อย หากเนื้อมีค่า pH ต่ำกว่า 5.8 แสดงว่าเนื้อเป็น PSE (pale, soft and exudative) ซึ่งมีลักษณะ ซีด เหลว และไม่คงรูป (Pérez *et al.*, 1998) และหากค่า pH สูงกว่า 6.4 เนื้อสามารถอุ้มน้ำได้มาก และมีไมโอโกลบินมาก เนื้อจึงมีสีคล้ำเข้ม แสดงว่าเนื้อเป็น DFD (dark, firm and dry) ซึ่งมีลักษณะคล้ำ แข็ง และแห้ง (Ahn and Maurer, 1990)

จากการทดลองของ Lampe *et al.* (2006) ได้ศึกษาเปรียบเทียบสุกรที่ได้รับข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพดสีเหลืองและข้าวโพดสีขาวเป็นแหล่งพลังงาน พบว่าเนื้อสันนอกของสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวบาร์เลย์มีค่าความสว่างของเนื้อ (L*) สูงที่สุด ($P<0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ซึ่งให้ผลขัดแย้งกับการทดลองของ Carr *et al.* (2005) ที่พบว่าค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อสุกรที่ได้รับข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพดและข้าวสาลีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการทดลองของ Camp *et al.* (2003) พบว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดผิวมัน (waxy corn) มีค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับข้าวโพดผิวไม่มัน (nonwaxy corn) โดยมีค่าเท่ากับ 6.03 และ 5.43 ตามลำดับ ($P<0.08$) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของเนื้อ

2.5.2 องค์ประกอบของโภชนะในเนื้อ (chemical composition)

องค์ประกอบของ น้ำ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตและแร่ธาตุในเนื้อสัตว์ มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ สายพันธุ์ อายุ เพศ และชนิดของกล้ามเนื้อเป็นต้น โดยน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญในเนื้อสัตว์ มีประมาณ 70-80% ซึ่งมีผลต่อรสชาติ (taste) ความนุ่ม (tenderness) สี (colour) และความชุ่มฉ่ำ (juiciness) (สัญชัย, 2553) จากการศึกษาของ Okrouhla *et al.* (2008) พบว่าในเนื้อสันนอก (loin) มีองค์ประกอบของน้ำ ไขมันแทรก โปรตีน และเถ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 72.50–72.80, 1.56-1.96, 23.20–23.40 และ 1.37–1.40 % ตามลำดับ ส่วนในเนื้อสะโพก (ham) มีค่าระหว่าง 70.43–71.59, 3.52–4.26, 21.67–21.95 และ 1.42–1.56 % ตามลำดับ

Carr *et al.* (2005) รายงานว่าเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของไขมัน (fat) โปรตีน (crude protein) และความชื้น (moisture) ในเนื้อจากสุกรที่ได้รับข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพดและข้าวสาลีไม่มีความแตกต่างกัน โดยสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวบาร์เลย์มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Moreland (1971) ขณะที่การทดลองของ Lampe *et al.* (2006) พบว่า สุกรกลุ่มที่ได้รับทั้งข้าวโพดสีขาวและข้าวโพดสีเหลืองมีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงกว่ากลุ่มที่ได้ข้าวข้าวบาร์เลย์ ($P<0.05$)

2.5.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างและความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (pH and water holding capacity)

ค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเนื้อ โดยค่า pH ที่วัดได้มากกว่า 6.4 เป็นเนื้อที่มีโอกาสเกิด DFD แต่ถ้าวัดได้ต่ำกว่า 5.8 เนื้อนั้นมีโอกาสเกิด PSE (สัญชัย, 2553) ทั้งนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดได้แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากความเครียดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนก่อนกระบวนการฆ่า เช่น การขนส่ง สภาพอากาศ สภาพของคอกพักสัตว์ และกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการช๊อค เป็นต้น ส่วนค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อใช้พิจารณาทางด้านคุณภาพเนื้อ นอกจากนี้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ โดยพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำขณะเก็บรักษา (drip loss) และการสูญเสียน้ำขณะปรุงสุก (cooking loss) ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ เริ่มจากการจัดการก่อนฆ่ามีผลต่อความเครียดก่อนการฆ่า (สัญชัย, 2551) ซึ่งทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อลดลงเพราะโปรตีนของกล้ามเนื้อถูกทำให้เสียสภาพ (denature) ไปบางส่วน โปรตีนจึงจับตัวกันได้น้อย ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสมีน้ำไหลออกจากเซลล์ (exudative) (เยาวลักษณ์, 2536) เมื่อนำเนื้อไปหาค่าการสูญเสียน้ำขณะเก็บรักษา (drip loss) ภายใน 24 ชั่วโมง อาจมีปริมาณน้ำที่ไหลออกมาจากชิ้นเนื้อประมาณ 3% ส่วนการสูญเสียน้ำขณะประกอบอาหาร (cooking loss) มีค่าประมาณ 25-35% ซึ่งการวัดความสามารถในการอุ้มน้ำจะใช้ในการประเมินความชุ่มฉ่ำและคุณภาพของเนื้อได้ (Honikel and Hamm, 1999)

Amphonephet *et al.* (2010) ได้ศึกษาถึงผลของการทดแทนปลายข้าว (broken rice) ด้วยมันเส้นหมักบด (fermented cassava chip meal) ในอาหารสุกร พบว่าสุกรที่ได้รับปลายข้าวมีแนวโน้มค่า pH และ drip loss น้อยกว่าสุกรที่ได้รับมันเส้นหมักบด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วน Lampe *et al.* (2006) รายงานว่าค่า pH ที่ 24 ชั่วโมงหลังฆ่า และค่าการสูญเสียน้ำขณะเก็บรักษา (loin purge) และขณะปรุงสุก (cooking loss) ของเนื้อสุกรที่ได้รับข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพดสีขาวและข้าวโพดสีเหลืองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Carr *et al.* (2005) ที่พบว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานไม่พบความแตกต่างของค่า pH แต่มีแนวโน้มการ

สูญเสียน้ำขณะเก็บรักษาและขณะทำการปรุงสุก (cooking loss) น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลีตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ขณะที่การทดลองของ Campe *et al.* (2003) พบว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดผิวมัน (waxy corn) มีการสูญเสียน้ำขณะเก็บรักษาสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับข้าวโพดผิวไม่มัน (nonwaxy corn) โดยมีค่าเท่ากับ 5.02 และ 3.76 กรัม ตามลำดับ ($P<0.08$) ส่วนค่า pH ที่ 45 นาที และ 24 ชั่วโมงหลังฆ่า ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ

2.5.4 ปริมาณคอลลาเจน (collagen content)

คอลลาเจนเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มี 20-25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด พบได้ในผิวหนัง กระดูก กระดูกอ่อน เอ็นและผนังเส้นเลือด (Bodwell and McClain, 1971) ปริมาณของคอลลาเจนและโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ที่ห่อหุ้มกลุ่มของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละกลุ่มให้รวมเป็นมัดกล้ามเนื้อ (perimysium) เป็นปัจจัยหลักในการใช้ตัดสินความเหนียวของเนื้อ (Liu *et al.*, 1995) โดยเนื้อที่มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (soluble collagen) สูง เนื้อจะมีความนุ่ม ส่วนเนื้อที่มีปริมาณคอลลาเจนที่ไม่ละลาย (insoluble collagen) สูง เนื้อจะมีความเหนียว โดยจะวิเคราะห์หาปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน (Hydroxyproline) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่พบเฉพาะในคอลลาเจน (Greaser, 2009) โดยปริมาณคอลลาเจนในเนื้อขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านอายุ สัตว์ที่มีอายุมากจะมีปริมาณคอลลาเจนในเนื้อมากกว่าสัตว์อายุน้อย (สัญชัย, 2553) สอดคล้องกับการศึกษาของ Hill (1966) ที่ทำการศึกษาปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อของสุกรที่มีอายุต่างกันพบว่า ในสุกรอายุน้อยจะมีปริมาณคอลลาเจนในเนื้อน้อยกว่าสุกรอายุมาก ซึ่งปริมาณคอลลาเจนจะเพิ่มขึ้นตามอายุของสุกรที่เพิ่มขึ้น

2.5.5 การประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

การประเมินทางประสาทสัมผัสเป็นวิธีการประเมินโดยให้ผู้ทดสอบชิมตัดสินคุณภาพด้านความนุ่ม (tenderness) กลิ่น (odour) รสชาติ (flavor) ความชุ่มฉ่ำ (juiciness) และความพอใจโดยรวม (overall acceptability) เป็นต้น ให้คะแนนตามลักษณะที่พิจารณาได้ โดยมีคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 9 ซึ่งหมายถึง ความพอใจน้อยที่สุดไปจนถึงพอใจมากที่สุด (ไพโรจน์, 2545) การสูญเสียน้ำของเนื้อจะลดคุณค่าทางโภชนะของอาหารและทำให้เนื้อมีความนุ่มลดลงและมีรสชาติด้อยลง (Pelicano *et al.*, 2003) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการประเมิน เช่น ชนิดอาหารที่สัตว์ได้รับ เพศ พันธุกรรม บรรจุภัณฑ์ และระยะเวลาในการเก็บรักษา (Ngapo and Gariépy, 2008)

จากการศึกษาของ Lampe *et al.* (2006) พบว่าเนื้อสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวบาร์เลย์มีรสชาติแย่กว่าเนื้อสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดสีเหลืองและข้าวโพดสีขาว แต่ไม่มีความแตกต่างกันในด้านของความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และความพอใจโดยรวม สอดคล้องกับการทดลองของ Carr *et al.* (2005) ที่

พบว่าความนุ่มและความชุ่มฉ่ำของเนื้อสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด และข้าวสาลี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่สุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวสาลีมีแนวโน้มความนุ่มและความชุ่มฉ่ำต่ำกว่าทั้งสองกลุ่มการทดลอง นอกจากนี้การทดลองของ Moreland (1971) พบว่าเนื้อสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวบาร์เลย์มีความนุ่มและความพอใจโดยรวมสูงที่สุด ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวโพด ข้าวฟ่างและข้าวสาลี

2.5.6 ค่าการหืนของเนื้อ (thiobarbituric acid reactive substance; TBARS)

ค่า TBARS ใช้เป็นตัวบ่งชี้การเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อและผลิตภัณฑ์จากเนื้อ โดยการวัดการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง malondialdehyde (MDA) และ สารละลาย thiobarbituric acid (TBA) (Irwin and Hedges, 2004) ในเนื้อที่เก็บรักษาโดยการแช่เย็นที่อุณภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากการตัดแต่งเป็นเวลา 0-9 วัน

จากการศึกษาของ Jaturasitha *et al.* (2007) พบว่าการเสริมน้ำมันทูน่าซึ่งประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า 3 สูง ทำให้อายุการเก็บรักษาเนื้อสั้นลง แต่ไม่มีผลต่อสีและกลิ่นของเนื้อสุกร ส่วนการเสริมวิตามินอีมีผลทำให้ลดการเกิด lipid oxidation โดยเฉพาะในเนื้อบด ซึ่งเกิดการหืนได้ง่าย (Guo *et al.*, 2006) นอกจากนี้ Juliano *et al.* (2005) รายงานว่าแกมมา-โอไรซานอลให้ผลในการยืดระยะเวลาการหืนของไขมันได้ดีกว่า butylated hydroxyanisole (BHA) และ butylated hydroxytoluene (BHT) สอดคล้องกับการศึกษาของ Chotimarkorn *et al.* (2008) ที่พบว่าสารสกัดจากรำข้าวช่วยชะลอการหืนในน้ำมันทูน่าได้นานขึ้น นอกจากนี้ยังมีการวัดการหืนของเนื้อโดยใช้ค่า iodine value ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงจำนวนกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมัน ถ้าค่า iodine value สูง แสดงว่าในเนื้อมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่มาก ซึ่งทำให้เกิดการหืนได้ง่าย จากการทดลองของ Carr *et al.* (2005) ทดสอบการหืนของเนื้อโดยใช้ค่า iodine value โดยศึกษาเปรียบเทียบสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพดและข้าวสาลี พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งให้ผลการทดลองขัดแย้งกับ Lampe *et al.* (2006) ที่พบว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวบาร์เลย์มีค่า iodine value ต่ำที่สุด ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดสีเหลืองและข้าวโพดสีขาว

2.5.7 ปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเนื้อ (cholesterol and triglyceride content)

คอเลสเตอรอลเป็นไขมันชนิดหนึ่ง ที่ร่างกายใช้สร้างเป็นเยื่อบุเซลล์ ฉนวนหุ้มเส้นประสาท และสร้างฮอร์โมนต่าง ๆ ที่สำคัญคือฮอร์โมนเพศ นอกจากนี้ยังใช้สร้างเกลือน้ำดี ซึ่ง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ช่วยในการแตกตัวของอาหารจำพวกไขมัน พบในอาหารที่มาจากสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์เท่านั้น (สัญชัย, 2553) โดยตับจะส่งคอเลสเตอรอลไปสู่เนื้อเยื่ออื่น ๆ ของร่างกาย โดยส่งรวมกับกรดไขมันและไลโปโปรตีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำมากหรือ very low density lipoprotein (VLDL) ซึ่งสร้างจากตับ เมื่อ VLDL ส่งกรดไขมันไปให้เนื้อเยื่อไขมันแล้ว ตัวมันเองจะมีความหนาแน่นมากขึ้น กลายเป็นไลโปโปรตีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ เรียกว่า low density lipoprotein (LDL) ซึ่งมีหน้าที่ในการลำเลียงคอเลสเตอรอล โดยเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายจะรับคอเลสเตอรอลไปได้ ต้องมีตัวรับ LDL (LDL receptor) จากนั้น LDL จะถูกพาเข้าไปย่อยสลายภายในเซลล์ และเซลล์จะนำคอเลสเตอรอลไปใช้สร้างหรือซ่อมแซมเนื้อเยื่อนั้น ส่วน high density lipoprotein (HDL) จะทำหน้าที่ตรงกันข้ามกับ LDL คือ เป็นตัวช่วยในการสลายไคโลไมครอน (chylomicron) และ VLDL รวมทั้งนำพาคอเลสเตอรอลอิสระจากเนื้อเยื่อต่าง ๆ เข้าไปควบคุมปฏิกิริยาสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในเซลล์ตับ โดยภาวะที่ร่างกายมีระดับของ LDL ในกระแสเลือดสูง มีโอกาสเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งและตีบตัน (atherosclerosis) (อุษณีย์, 2547) โดยค่าคอเลสเตอรอลทั้งหมดที่วัดได้เป็นผลรวมของคอเลสเตอรอลที่มาจาก LDL-cholesterol HDL-cholesterol และ VLDL-cholesterol

จากการศึกษาของ Zawistowski *et al.* (2009) พบว่า การเสริมสารสกัดจากข้าวเหนียวก่ำ (*Oryza sativa* L.) สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในพลาสมาของหนูทดลอง นอกจากนี้การทดลองของ Wilson *et al.* (2007) ยังพบว่าแกมมา-โอไรซานอลช่วยลดปริมาณ LDL และ VLDL-cholesterol และเพิ่มปริมาณ HDL-cholesterol ในหนูแฮมสเตอร์ จากการศึกษาสารแกมมา-โอไรซานอลที่ประกอบด้วย ferulic acid ester กับ triterpene alcohols เช่น cycloartenol (CA 106 mg%) และ 24-methylene cycloartenol (494 mg%) พบว่า CA สามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอร์ไรด์ได้ โดยเกิดการสะสม CA ที่ตับ ทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cholesterol esterase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สลาย cholesterol ester เป็น free-cholesterol และ free fatty acid ซึ่งจะถูกนำไปสะสมที่เนื้อเยื่อสัตว์ สัตว์ที่ได้รับ CA จะมีการขับ endogenous sterol ออกมาเพิ่มขึ้น ทำให้ระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง (Patel and Naik, 2004)

ส่วนไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) หรือ ไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของไขมัน และเป็นพลังงานสำรองที่มีมากที่สุดในร่างกาย โดยเกือบทั้งหมดจะถูกเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อไขมัน ไตรกลีเซอไรด์ในกระแสเลือดจะรวมอยู่กับโปรตีนในรูปของ chylomycron และ VLDL ไลโปโปรตีนทั้งสองจะทำหน้าที่เป็นตัวพาไตรกลีเซอไรด์ไปให้เนื้อเยื่อต่าง ๆ โดย chylomycron จะทำหน้าที่ในการพาไตรกลีเซอไรด์จากการย่อย และการดูดซึมไขมันที่

ลำไส้ ส่วน VLDL จะทำหน้าที่ในการนำพาไตรกลีเซอไรด์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากตับ (อุษณีย์, 2547) โดยปริมาณไตรกลีเซอไรด์นั้นมีความแปรผันตามปริมาณไขมันในเนื้อ (De Smet *et al.*, 2004)

2.5.8 องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อ (fatty acid composition)

กรดไขมันเป็นองค์ประกอบของไขมันในเนื้อ ซึ่งมีผลต่อกลิ่นและอายุการเก็บรักษา โดยเนื้อที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณสูงจะส่งผลให้เนื้อมีกลิ่นที่ผิดปกติและอายุการเก็บรักษาสั้น แต่การบริโภคกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจและโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือด (สัญชัย, 2553) กรดไขมันชนิดอิ่มตัวหรือ saturated fatty acid (SFA) ที่พบมากในเนื้อสุกรคือ palmitic acid (C16:0) และ stearic acid (C18:0) แต่ไม่มีผลต่อการสูงขึ้นของระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (Kelly *et al.*, 2001) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวหรือ monounsatuated fatty acid (MUFA) พบ 40% ของปริมาณไขมันทั้งหมดในเนื้อ ได้แก่ oleic acid (C18:1 n-9) ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนหรือ polyunsaturated fatty acid (PUFA) ที่พบในเนื้อสุกรประกอบด้วย กรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 และ โอเมก้า 6 ในปริมาณ 19 และ 17% ตามลำดับ โดยมีคำแนะนำว่าสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 ต่อ โอเมก้า 3 ควรน้อยกว่า 4:1 (Enser *et al.*, 2000) ร่างกายของสัตว์มีความจำเป็นต้องได้รับกรดไขมันชนิดที่จำเป็น (essential fatty acid) กรดไขมันชนิด oleic (C18:1) และ linoleic (C18:2) พบมากในเมล็ดพืชหรือผลไม้ เช่น ถั่วเหลือง ข้าวโพด เป็นต้น โดยเฉพาะ linoleic acid (C18:2 n-6) และ α-linoleic acid (C18:3 n-3) เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ กรดไขมันชนิดอื่นที่มีความจำเป็นต่อร่างกายเช่น arachidonic acid, eicosapentaenoic (EPA) และ docosahexaenoic (DHA) โดยพบว่าปริมาณและชนิดกรดไขมันที่พบในเนื้อมีความสัมพันธ์กับกรดไขมันที่พบในพืชอาหารสัตว์

จากการศึกษาของ Lampe *et al.* (2006) พบว่าสุกรที่ได้รับข้าวบาร์เลย์มีปริมาณกรดไขมันชนิด palmitic, palmitoleic, oleic, linolenic, eicosenoic และ PUFA ต่ำที่สุด ขณะเดียวกันมีปริมาณกรดไขมันชนิด linoleic, arachidic, arachidonic, SFA และMUFA สูงที่สุด ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดสีเหลืองและข้าวโพดสีขาว นอกจากนี้การทดลองของ Carr *et al.* (2005) พบว่าปริมาณ SFA และ MUFA ของเนื้อสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวบาร์เลย์มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับข้าวโพดและข้าวสาลี แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ