บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. ผลิตก้างปลาผงและปลากะตักผงเพื่อเป็นแหล่งแคลเซียม

ผลิตก้างปลาผงและปลากะตักผงตามวิธีของลักษณา และคณะ (2545) ศึกษาและนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของก้างปลาผง และปลากระตักผง (ต่อ 100 กรัม) จากการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม ความชื้น โปรตีน ไขมัน คำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตและพลังงานในก้างปลาผง ปลากระตักผงแสดงผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณค่าทางโภชนาการของก้างปลาผง และปลากระตักผง ในปริมาณ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ก้างปลาผง	ปลากระตักผง
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	6,608±1.01 [a]	3,426±0.44 [b]
โปรตีน (กรัม)	48.78±2.0 [b]	71.49±0.3 [a]
เถ้า (กรัม)	30.62±0.2 [a]	17.10±0.3 [b]
ความชื้น (กรัม)	6.51 ±0.8 [a]	5.23±0.9 [b]
ไขมัน (กรัม)	13.15±0.7 [a]	4.67±0.2 [b]
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	0.9	1.4
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	317.2	334.0

ค่าเฉลี่ยที่มีตัว a, b และ c เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ก้างปลาผงมีปริมาณแคลเซียม 6,608 มิลลิกรัม ปลากระตักผงมีปริมาณแคลเซียม 3,426 มิลลิกรัม ปริมาณแคลเซียมที่มีในก้างปลาผงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้น้อยกว่าก้างปลาผงที่ใช้ในการศึกษาของลักษณาและคณะ (2545) ประมาณ 3 เท่า ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะชนิดก้างปลาที่ต่างกัน ในขณะที่ปริมาณแคลเซียมในปลากะตักผงมีปริมาณใกล้เคียงกันในทั้งสองการศึกษา จะเห็นได้ว่าก้างปลาผงมีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าปลากระตักผงประมาณหนึ่งเท่าตัว ก้างปลามีส่วนที่เป็นกระดูกมากกว่าปลากระตัก เนื่องจากแคลเซียมจะพบมากในเปลือกและกระดูกของสัตว์ทีสามารถรับประทานได้ทั้งตัว (พรรัตน์, 2554) ส่วนโปรตีนในปลากระตักจะมีปริมาณสูงกว่าก้างปลา เนื่องจากโปรตีนส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนที่เป็นเนื้อของสัตว์ต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ปลากระตักทั้งตัวซึ่งจะมีส่วนของเนื้อปลามากกว่าส่วนที่เป็นก้างปลา

2 . ผลของการใช้ก้างปลาผง ปลากะตักผงและแคลเซียมสังเคราะห์ต่อคุณภาพของข้าวเกรียบ

2.1 การหาสูตรมาตรฐานข้าวเกรียบ

ทำการศึกษาสูตรมาตรฐานข้าวเกรียบโดยการแปรปริมาณและชนิดของแป้งที่ใช้เป็นส่วนผสม ใน 3 ระดับ (ตารางที่ 4) เมื่อนำข้าวเกรียบทั้ง 3 สูตร ไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่า ข้าวเกรียบสูตรปลา 49% ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาลี กับข้าวเกรียบสูตรปลา 49% ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู มีความชอบรวมไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 5) จึงเลือกข้าวเกรียบสูตรปลา 49% ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาลีมาเป็นสูตรพื้นฐานสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากบางพื้นที่แป้งสาคูหายากและมีราคาสูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง อีกทั้งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตข้าวเกรียบอีกด้วย

ตารางที่ 4 ข้าวเกรียบปลาสูตรพื้นฐาน

ส่วนผสม	เปอร์เซ็นต์		
	สูตรปลา 44%	สูตร ปลา 49% ไม่ใส่แป้งสาคู	สูตรปลา 49% ใส่แป้งสาคู
เนื้อปลา	44	49	49
แป้งมันสำปะหลัง	47.9	39.4	39.4
แป้งสาลี	6.3	4.9	0
แป้งสาคู	0	0	4.9
เกลือป่น	0.5	2	2
น้ำตาลทราย	0.6	2.8	2.8
พริกไทยป่น	0.2	0.8	0.8
กระเทียม	0.3	0.8	0.8

ตารางที่ 5 ผลการประเมินการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาสูตรพื้นฐาน

ปัจจัย	สูตรปลา 44%	สูตร ปลา 49% ไม่ใส่แป้งสาคู	สูตรปลา 49% ใส่แป้งสาคู
สี	5.2 ±1.3[a]	5.0±1.4[a]	5.1±1.2[a]
กลิ่นคาวปลา	4.4 ±1.4 [b]	4.8±1.1 [ab]	5.2±1.0[a]
กลิ่นรสพริกไทย	3.8 ±1.1 [b]	5.0±1.2[a]	5.2± 0.9[a]
รสเค็ม	3.1±1.4 [b]	4.9±1.2[a]	4.7±1.3[a]
ความกรอบ	5.0±1.4 [b]	5.7±0.8 [a]	5.5±1.2[ab]
การพองตัว	4.4±1.6[b]	5.3±1.2 [a]	5.2± 1.5[a]
ความชอบรวม	4.1±1.4 [b]	5.3±1.0 [a]	5.5±1.1[a]

ค่าเฉลี่ยที่มี a b c เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 6 ปริมาณวัตถุดิบแหล่งแคลเซียมที่เสริมในข้าวเกรียบปลาสูตรพื้นฐาน

วัตถุดิบ	สูตรพื้นฐาน %	ก้างปลาหรือ ปลากะตักผง %	แคลเซียมสังเคราะห์ %
เนื้อปลาสด	49.3	0	49.5
แป้งมันสำปะหลัง	39.4	39.4	39.4
แป้งสาลี	4.9	4.9	4.9
ก้างปลาผง/ปลากระตักผง	0	17.5	1.93**
เกลือป่น	2	2	2
น้ำ ตาลทราย	0.6	0.6	0.6
พริกไทยป่น	0.2	0.2	0.2
กระเทียม	0.3	0.3	0.3
น้ำ	15-20	15-20	15-20

** คำนวณปริมาณแคลเซียมสังเคราะห์ที่ทำให้ได้แคลเซียมในข้าวเกรียบคิดเป็น 30% RDI
(RDI เป็นปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยแนะนำให้บริโภคแคลเซียมปริมาณ 800 มิลลิกรัมต่อวัน)

2.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเกรียบปลาก้างปลาผง ข้าวเกรียบปลากระตักผง และข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์

ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมจากก้างปลาผง (FB) และข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมจากปลากะตักผง (KT) มีปริมาณแหล่งแคลเซียมผงคิดเป็นร้อยละ 17.5 ของส่วนผสมทั้งหมด (ไม่รวมน้ำ) และไม่ใช้เนื้อปลาในสูตร ในขณะที่ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมจากแคลเซียมสังเคราะห์ (TCP) ใช้ไตรแคลเซียมฟอสเฟตในส่วนผสมคิดเป็นร้อยละ 1.93 และใช้เนื้อปลาในสูตร ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการพบว่า ปริมาณแคลเซียมในข้าวเกรียบทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดย FB มีปริมาณแคลเซียมมากกว่า TCP และ KT เนื่องจากคุณสมบัติก้างปลามีปริมาณแคลเซียมสูง (ตารางที่ 3) เมื่อเสริมลงไปในข้าวเกรียบในปริมาณเท่ากัน ทำให้ข้าวเกรียบก้างปลาจึงมีแคลเซียมสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบที่มีวางจำหน่ายทั่วไปในประเทศมาเลเซียจำนวน 28 ตัวอย่าง จากการศึกษาของ (Nurul *et al.*,2001) พบว่าในข้าวเกรียบมีแคลเซียมอยู่ระหว่าง 9.75-381.50 มิลลิกรัม/100 กรัม โปรตีนร้อยละ 5.53-15.80 จะเห็นว่าข้าวเกรียบที่มีวางจำหน่ายโดยทั่วไปส่วนใหญ่จะมีปริมาณแคลเซียมค่อนข้างต่ำ จากการศึกษาปริมาณโปรตีนของข้าวเกรียบทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พบว่า TCP มีโปรตีนมากกว่า KT และ FB เนื่องจาก TCP ในส่วนผสมได้ใช้เนื้อปลาร้อยละ 49 ซึ่งเนื้อปลาเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ ส่วนของ FB จะมีส่วนที่เป็นเนื้อปลาน้อยมากจึงมีโปรตีนต่ำตามลำดับ

ตารางที่ 7 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเกรียบปลาก้างปลาผง ข้าวเกรียบปลากระตักผงและข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ข้าวเกรียบก้างปลาผง(ร้อยละ 17.5)	ข้าวเกรียบปลากระตักผง(ร้อยละ 17.5)	ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์ (ร้อยละ 1.93)
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	867 ± 0.60^{a}	416 ± 0.10^{c}	558.6 ± 0.11^{b}
โปรตีน (กรัม)	8.1 ± 0.12^{c}	8.9 ± 0.01^{b}	11.4 ± 0.10^{a}
เถ้า (กรัม)	6.8 ± 0.10^{a}	4.0 ± 0.03^{b}	4.1 ± 0.00^{b}
ความชื้น (กรัม)	2.5 ± 0.06^{b}	1.7 ± 0.06^{c}	3.0 ± 0.05^{a}
ไขมัน (กรัม)	17.3 ± 0.49^{c}	40.6 ± 0.52^{a}	23.5 ± 0.11^{b}
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	65.0	44.60	57.70
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	448.90	580.60	488.50

ค่าเฉลี่ยที่มีตัว a , b และ c เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเกรียบก้างปลาผง ข้าวเกรียบปลากระตักผง และข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์

ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมทั้งสามชนิดมีการพองตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดย KT และ TCP การพองตัวสูงกว่า FB เนื่องจากข้าวเกรียบ KT และ TCP มีเนื้อปลาเป็นส่วนผสมหลัก เนื้อปลาซึ่งมีโปรตีนหากนำมาผสมกับแป้งในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะช่วยให้ข้าวเกรียบพองตัวดี ขณะเดียวกันหากข้าวเกรียบมีปริมาณเนื้อปลามากเกินไป ทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้น การขยายตัวของข้าวเกรียบลดลง เนื่องจากโปรตีนไปจับตัวกับแป้งทำให้แป้งไม่ขยายตัว (Yu *et al.*, 1981) ขณะที่ FB มีเถ้าสูง มีโปรตีนต่ำ (ตารางที่ 3) จึงมีผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบลดลงและทำให้ข้าวเกรียบมีค่าความแข็งสูงกว่าข้าวเกรียบ KT และ TCP ซึ่งอัตราการพองตัวของข้าวเกรียบหลังทอดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ (Siaw *et al.*,1985) ค่าสีของข้าวเกรียบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดย TCP มีค่าความสว่าง (L*) สูงกว่า FB และ KT ส่วนค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) FB มีค่าสูงกว่า KT และ TCP จากรูปที่ 2 จะเห็นว่า ข้าวเกรียบ TPC และ FB มีสีเหลืองอ่อน ๆ สว่างกว่า ข้าวเกรียบ KT ซึ่งมีสีค่อนข้างคล้ำ เมื่อเปรียบเทียบ ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบแบบ Hedonic scaling 9 ระดับคะแนน พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับ TCP ด้านการพองตัวของข้าวเกรียบสูง สอดคล้องกับคุณภาพข้าวเกรียบ (ตารางที่ 8) ซึ่งผลการประเมินความชอบรวม TCP ได้รับการยอมรับสูงกว่า FB และ KT ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 8 คุณภาพข้าวเกรียบก้างปลาผง ข้าวเกรียบปลากระตักผง และข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์

คุณภาพข้าวเกรียบ	ข้าวเกรียบก้างปลาผง (ร้อยละ 17.5)	ข้าวเกรียบปลากระตักผง (ร้อยละ 17.5)	ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์ (ร้อยละ 1.93)
ค่า a_w	0.51 ± 0.03^{a}	0.53 ± 0.02^{a}	0.55 ± 0.04^{a}
ค่าความแข็ง(กรัม)	875.81 ± 90.95^{a}	570.23 ± 39.01^{b}	568.39 ± 34.6^{b}
ค่าการพองตัว(ร้อยละ)	62.24 ± 4.88^{b}	85.75 ± 17.20^{a}	83.56 ± 27.67^{a}
ค่าสี			
ค่าความสว่าง (L*)	41.55 ± 3.75^{b}	33.62 ± 2.22^{c}	43.48 ± 4.3^{a}
ค่าสีแดง (a*)	7.60 ± 0.64^{a}	1.36 ± 0.13^{b}	1.15 ± 0.38^{b}
ค่าสีเหลือง (b*)	21.20 ± 2.20^{a}	$7.70\pm.82^{c}$	16.35 ± 0.73^{b}

ค่าเฉลี่ยที่มีตัว a , b และ c เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

TCP FB KT

ภาพที่ 2 ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมจากแหล่งแคลเซียมต่าง ๆ

ตารางที่ 9 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบเสริมแคลเซียม

คุณลักษณะ	ข้าวเกรียบก้างปลาผง (ร้อยละ 17.5)	ข้าวเกรียบปลากระตักผง(ร้อยละ 17.5)	ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์ (ร้อยละ 1.93)
สี	6.65±1.18 ^{ab}	5.85 ±1.49 ^{b}	6.80 ±1.43 ^{a}
กลิ่น	6.20 ±1.24 ^{a}	6.20 ±1.24 ^{a}	6.65 ±1.46 ^{a}
พริกไทย	6.10 ±1.41 ^{a}	5.90 ±1.25 ^{a}	6.00 ±1.33 ^{a}
เกลือ	6.00 ±1.55 ^{a}	6.05 ±1.50 ^{a}	6.50 ±1.43 ^{a}
ความกรอบ	7.20 ±1.19 ^{ab}	6.50±1.19 ^{b}	7.30 ±1.08 ^{a}
การพองตัว	6.35 ±1.30 ^{b}	5.05±1.60 ^{c}	7.55 ±.57 ^{a}
ความชอบรวม	6.90±1.11 ^{ab}	6.25 ±1.16 ^{b}	7.15 ±.87 ^{a}

ค่าเฉลี่ยที่มี a, b และ c เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2.3 การแตกตัวของแคลเซียมที่เสริมในข้าวเกรียบ

การศึกษาประสิทธิภาพในการแตกตัวของแคลเซียมที่เสริมในข้าวเกรียบทั้ง 3 สูตร เปรียบเทียบกับการแตกตัวของแคลเซียมในนม (เป็นแหล่งแคลเซียมอ้างอิง) โดยใช้วิธีการของ Roig *et al* (1999)

ตารางที่ 10 ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด ร้อยละการซึมผ่านเมมเบรนของแคลเซียม (%dialyzability) และร้อยละการละลายของแคลเซียม (% solubility) ในตัวอย่างนมผง และข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมทั้งสามสูตร

ชนิดอาหาร	แคลเซียมในตัวอย่าง (มก.ต่อ 100 ก.)	ร้อยละการซึมผ่านเมม-เบรนของแคลเซียม*	ร้อยละการละลายของแคลเซียม*	ประสิทธิภาพการซึมผ่านเมมเบรนของแคลเซียมเทียบกับนม**	ประสิทธิภาพการละลายของแคลเซียมเทียบกับนม**
นมผง	419.2	13.53±1.23	71.60±2.67	-	-
ข้าวเกรียบก้างปลาผง	897.0	5.69±1.03	29.81±2.17	42.0	41.6
ข้าวเกรียบปลากะตักผง	419.7	2.76±2.03	11.76±4.32	20.4	16.4
ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์	558.6	5.14±1.77	28.31±12.95	37.9	39.6

* ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวน 2 ซ้ำ

** คำนวณจากร้อยละการซึมผ่านเมมเบรน หรือ การละลายของแคลเซียมในตัวอย่างข้าวเกรียบเทียบกับ ร้อยละการซึมผ่านเมมเบรน หรือ การละลายของแคลเซียมในตัวอย่างนมผง

การศึกษาปริมาณแร่ธาตุที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ bioavailability) ในหลอดทดลอง (in vitro) เป็นการจำลองการย่อยอาหารที่เกิดขึ้นในร่างกายโดยทำในหลอดทดลอง ปริมาณแร่ธาตุที่วัดได้ในตัวอย่างที่ผ่านการย่อย (digesta) ด้วยเอนไซม์เปบซิน-กรดไฮโดรคลอริค และเอนไซม์จากตับอ่อน (แพนครีเอติน)-เกลือน้ำดี เป็นปริมาณแร่ธาตุที่ละลายได้ (soluble mineral) ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้เป็นส่วนที่พร้อมจะดูดซึมได้ (available for absorption) ในขณะที่ปริมาณแร่ธาตุที่วัดได้ในถุงไดอะไลซิส (dialysis bag) ที่มีขนาดรูพรุนที่จำเพาะกับขนาดอนุภาคของแร่ธาตุที่ต้องการศึกษา เป็นส่วนของแร่ธาตุที่แตกตัวและมีขนาดอนุภาคที่สามารถเคลื่อนผ่านเมมเบรนของถุงไดอะไลซิสได้ เรียกว่า ปริมาณแร่ธาตุที่ซึมผ่านเมมเบรน (dialyzable mineral)ได้ แม้ว่าการวัดประมาณแร่ธาตุที่ละลายได้ และแร่ธาตุที่ซึมผ่านเมมเบรนเป็นวิธีการที่สามารถบ่งชี้สัดส่วนของแร่ธาตุที่สามารถดูดซึมได้เท่านั้น ซึ่งเป็นขั้นตอน

แรกในการดูดซึมที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต (Roig et al, 1999) ไม่สามารถใช้ในการบ่งชี้ปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดที่ร่างกายดูดซึมไปใช้ได้ แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้สามารถใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณแคลเซียมที่สามารถจะนำไปใช้ได้ระหว่างแคลเซียมจากแหล่งต่าง ๆได้ สำหรับการพิจารณาคัดเลือกแหล่งแคลเซียมขั้นต้นก่อนที่จะทำการศึกษา in vivo bioavailability ต่อไป เพื่อศึกษาปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายจะนำไปใช้ได้จริง ๆ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวัดปริมาณแคลเซียมที่ละลายได้ และปริมาณแคลเซียมที่ซึมผ่านเมมเบรนได้ โดยใช้นมผงเป็นแหล่งแคลเซียมอ้างอิง เนื่องจากนมเป็นแหล่งแคลเซียมที่นิยมบริโภคกันทั่วไป และมีข้อมูลการศึกษา bioavailability ค่อนข้างมาก ผลการศึกษา พบว่า แคลเซียมจากข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมจากก้างปลาผงมีประสิทธิภาพในการละลาย และการซึมผ่านเยื่อเมมเบรนได้มากกว่าแคลเซียมจากข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์และข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมจากปลากะตักผง ตามลำดับ เมื่อเทียบกับนมผงแล้ว แคลเซียมจากข้าวเกรียบเสริมก้างปลาผงมีการแตกตัวได้ประมาณ 40% ของแคลเซียมในนมผง จากข้อมูลนี้อาจกล่าวได้ว่า เมื่อรับประทานข้าวเกรียบเสริมก้างปลา หรือข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์ และ นมผงในปริมาณที่มีแคลเซียมเทียบเท่ากัน ร่างกายจะได้รับแคลเซียมจากข้าวเกรียบเสริมแคลเซียม น้อยกว่า นมผงกว่าสองเท่าตัว กล่าวคือจะต้องบริโภคข้าวเกรียบเสริมก้างปลาปริมาณ 60 กรัม ในขณะที่ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์ปริมาณ 100 กรัม จึงจะได้รับแคลเซียมในปริมาณที่เทียบเท่ากับนม 1 แก้ว

2.5. การคำนวณต้นทุนข้าวเกรียบ

นำข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมมาคำนวณต้นทุนเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบปลาสูตรท้องถิ่นผล ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตข้าวเกรียบสูตรปลาท้องถิ่นและข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมต่อน้ำหนักของก้อนแป้งก่อนนึ่ง 100 กรัม

ชนิดของข้าวเกรียบ	จำนวนเงิน (บาท)
ข้าวเกรียบปลาสูตรท้องถิ่น	4.26
ข้าวเกรียบก้างปลาผง	1.31
ข้าเกรียบปลากระตักผง	2.78
ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์	4.98

จากตารางที่ 11 ผลการศึกษาพบว่าต้นทุนวัตถุดิบการผลิตข้าวเกรียบสูตรปลาท้องถิ่นและข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมต่อน้ำหนักของก้อนแป้งก่อนนึ่ง 100 กรัม การเสริมก้างปลาผงและปลากระตักผงในข้าวเกรียบจะช่วยลดต้นทุน ส่วนการเสริมแคลเซียมสังเคราะห์ ต้นทุนการผลิตข้าวเกรียบจะสูงกว่าข้าวเกรียบปลาสูตรท้องถิ่นเล็กน้อย

3. ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อเก็บข้าวเกรียบ นำข้าวเกรียบไปทดสอบกับผู้บริโภค จำนวน 200 คน แสดงผลดังตาราง

ตารางที่ 12 การยอมรับของผู้บริโภคต่อข้าวเกรียบเสริมก้างปลาผง ข้าวเกรียบเสริมปลากระตักผง ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์

ชนิดข้าวเกรียบ	ความพึงพอใจต่อชนิดข้าวเกรียบ (5 ระดับคะแนน)
ข้าวเกรียบเสริมก้างปลา	$3.91.33\pm0.76^{b}$
ข้าวเกรียบเสริมปลากระตัก	3.72 ± 0.98^{c}
ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์	4.26 ± 0.87^{a}

ค่าเฉลี่ยที่มีตัว a , b และ c เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

จากตารางที่ 12 ผลการศึกษาพบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อข้าวเกรียบทั้ง 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้บริโภคให้การยอมรับ TCP มากที่สุด รองลงมาคือ FB และ KT ตามลำดับ KT ผู้บริโภคให้การยอมรับน้อย อาจเนื่องจากข้าวเกรียบมีสีคล้ำกว่า FB และTCP ซึ่งสอดคล้องกับลักษณาและคณะ (2545) พบว่า KT ผู้บริโภคให้การยอมรับน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ FB และข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมจากกุ้งฝอยผง

ตารางที่ 13 ร้อยละของผู้บริโภคต่อการตัดสินใจซื้อและไม่ซื้อข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมแต่ละชนิดไปบริโภค

ชนิดข้าวเกรียบ	ร้อยละการตัดสินใจซื้อ/ไม่ซื้อข้าวเกรียบ		
	ซื้อ	ไม่ซื้อ	ไม่แน่ใจ
ข้าวเกรียบเสริมก้างปลา	74	11	15
ข้าวเกรียบเสริมปลากระตัก	62.5	19.5	18
ข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์	80.5	9.5	11

จากตารางที่ 13 ผลการศึกษาพบว่าผู้บริโภคตัดสินใจซื้อและไม่ซื้อข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยผู้บริโภคตัดสินใจซื้อ TCP มากที่สุด รองลงมาข้าว FB และ KT ตามลำดับ และผู้บริโภคตัดสินใจไม่ซื้อ KT มากที่สุด รองลงมา FB TCP ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวเกรียบ (ตารางที่ 11)

4. ผลของการศึกษาอายุการเก็บข้าวเกรียบในลักษณะแห้งดิบ และข้าวเกรียบทอด

คัดเลือกชุดการทดลองที่ได้รับความชอบโดยรวมมากที่สุด จากเกรียบก้างปลาผง (FB) ข้าวเกรียบปลากระตักผง (KT) และข้าวเกรียบเสริมแคลเซียมสังเคราะห์ (TCP) นำมาตรวจสอบคุณภาพของข้าวเกรียบแห้งดิบ และข้าวเกรียบทอด โดยข้าวเกรียบแห้งดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน ทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในเดือนที่ 0 1 2 3 4 5 และ 6 ส่วนข้าวเกรียบทอดบรรจุข้าวเกรียบในถุงโพลีโพรพิลีน (Polyprophylene) และถุงอลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium foil) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในสัปดาห์ที่ 0 1 2 3 4 และ 5 นำมาศึกษาวิเคราะห์หาวอเตอร์ แอคติวิตี้ การพองตัว ค่าสี และค่าจุลินทรีย์ที่มีผลต่อข้าวเกรียบ

4.1 ข้าวเกรียบในลักษณะแห้งดิบ

ตารางที่ 14 คุณภาพทางกายภาพของข้าวเกรียบแห้งดิบทั้งสามชนิด ที่เก็บรักษาในระยะเวลา 0-6 เดือน

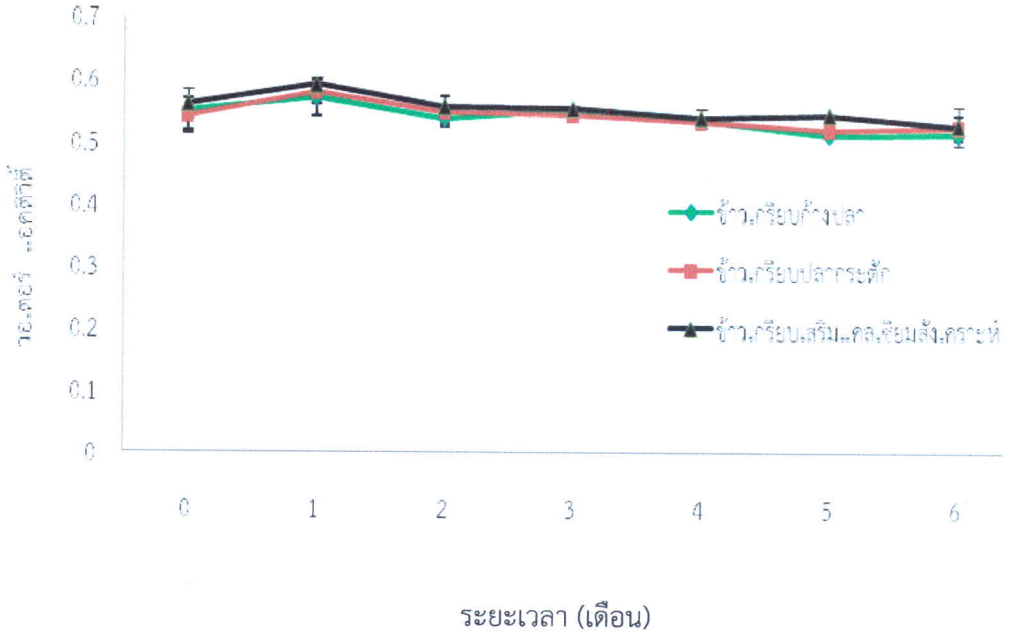
คุณภาพทางกายภาพ	ชนิดของข้าวเกรียบแห้งดิบ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)						
		0	1	2	3	4	5	6
วอเตอร์แอคติวิตี้	FB	0.54 ±.032^{a}	0.56±.029^{a}	0.53±.008^{a}	0.54±.006^{a}	0.53±.013^{a}	0.51±.000^{c}	0.51±.002^{a}
	KT	0.54 ±.028^{a}	0.57±.019^{a}	0.54±.025^{a}	0.54±.010^{a}	0.53±.008^{a}	0.51±.000^{b}	0.52±.020^{a}
	TCP	0.56±.024^{a}	0.59±.012^{a}	0.55±.005^{a}	0.55±.005^{b}	0.53±.014^{a}	0.54±.000^{a}	0.52±.030^{a}
การพองตัว	FB	63.14±4.88^{b}	71.90±0.70^{b}	74.78±6.91^{c}	73.40±1.71^{b}	27.96±1.91^{c}	27.77±1.69^{c}	26.49±0.82^{c}
	KT	86.80±17.20^{a}	108.73±10.79^{a}	95.05±6.38^{b}	87.33±1.66^{a}	38.19±1.82^{b}	38.77±1.64^{b}	36.44±2.52^{b}
	TCP	80.56 ±27.69^{a}	126.24±21.11^{a}	118.98 ±6.13^{a}	74.48±.98^{b}	53.58 ±2.08^{a}	52.21±1.82^{a}	51.60±0.81^{a}
ค่าสี								
L*	FB	40.53 ±3.85^{ab}	42.63 ±2.07^{a}	38.97 ±2.04^{a}	41.53 ±1.56^{a}	40.43 ±.05^{b}	40.06 ±.105^{b}	42.83 ±.08^{a}
	KT	33.98 ±2.42^{b}	33.62 ±.68^{b}	33.58 ±4.68^{a}	32.49 ±1.22^{b}	35.96 ±.01^{c}	34.81 ±.09^{c}	35.07 ±.15^{c}
	TCP	43.33 ±4.41^{a}	42.96 ±3.21^{a}	39.82 ±1.97^{a}	42.62 ±3.26^{a}	49.36 ±.05^{a}	43.04 ±.03^{a}	42.31 ±.04^{b}
a*	FB	7.44 ±.64^{a}	8.62 ±.42^{a}	8.17 ±.25^{a}	8.56±.28^{a}	8.60 ±.61^{a}	9.03 ±.618^{a}	9.70 ±.27^{a}
	KT	1.19 ±.03^{b}	1.40 ±.13^{b}	1.37 ±.22^{b}	1.44 ±.13^{b}	1.84 ±.15^{b}	1.71 ±.200^{b}	1.79 ±.06^{b}
	TCP	0.09 ±.39^{c}	0.42 ±.33^{c}	0.47 ±.35^{c}	0.03 ±.98^{c}	1.15 ±.23^{b}	0.71 ±.0.36^{c}	0.75 ±.24^{c}
b*	FB	20.77 ±2.30^{a}	22.46 ±1.28^{a}	21.19 ±.84^{a}	22.31 ±1.43^{a}	21.49 ±.75^{a}	21.52 ±1.32^{a}	24.41 ±.29^{a}
	KT	6.60 ±.80^{c}	7.19 ±.54^{c}	7.17 ±1.50^{c}	7.52 .45^{c}	8.92 ±.64^{c}	11.64 ±4.28^{b}	9.20 ±.069^{c}
	TCP	15.01 ±2.06^{b}	16.43 ±1.23^{b}	15.67 ±.72^{b}	16.20 ±1.45^{b}	19.12 ±1.18^{b}	17.70 ±.27^{a}	17.32 ±.86^{b}

ค่าเฉลี่ยที่มี a, b และ c เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

14. 1 ผลต่อวอเตอร์ แอคติวิตี้ (a_w)

ผลการศึกษาค่า a_w ของ FB KT และ TCP ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ในระยะเวลา 0-6 เดือน พบว่า ข้าวเกรียบแห้งดิบทั้ง 3 ชนิด มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.51-0.56 เมื่อเก็บรักษาข้าวเกรียบแห้งดิบนานทำให้ข้าวเกรียบมีค่า a_w ลดลง เนื่องจากการเก็บผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบในบรรยากาศที่มีความชื้นสูงกว่าความชื้นภายในของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จะดูดความชื้นจากบรรยากาศเข้าไปจนกระทั่งความชื้นภายในผลิตภัณฑ์สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ (Labusa 1982, อ้างถึงในจันทร์เพ็ญ ,2540) ซึ่งในการวิจัยนี้ได้เก็บข้าวเกรียบแห้งดิบในสภาพที่ใกล้เคียงกับที่ผู้ผลิตข้าวเกรียบในพื้นที่ปัตตานีวางข้าวเกรียบจำหน่ายโดยทั่วไป คือวางในสภาพห้องที่โล่งและสามารถหยิบซื้อขายได้ง่าย สภาพห้องที่เก็บค่อนข้างอบอ้าวส่งผลให้ ค่า a_w ของข้าวเกรียบทั้ง 3 ชนิดที่เก็บรักษาในเดือนที่ 1- 4 มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ

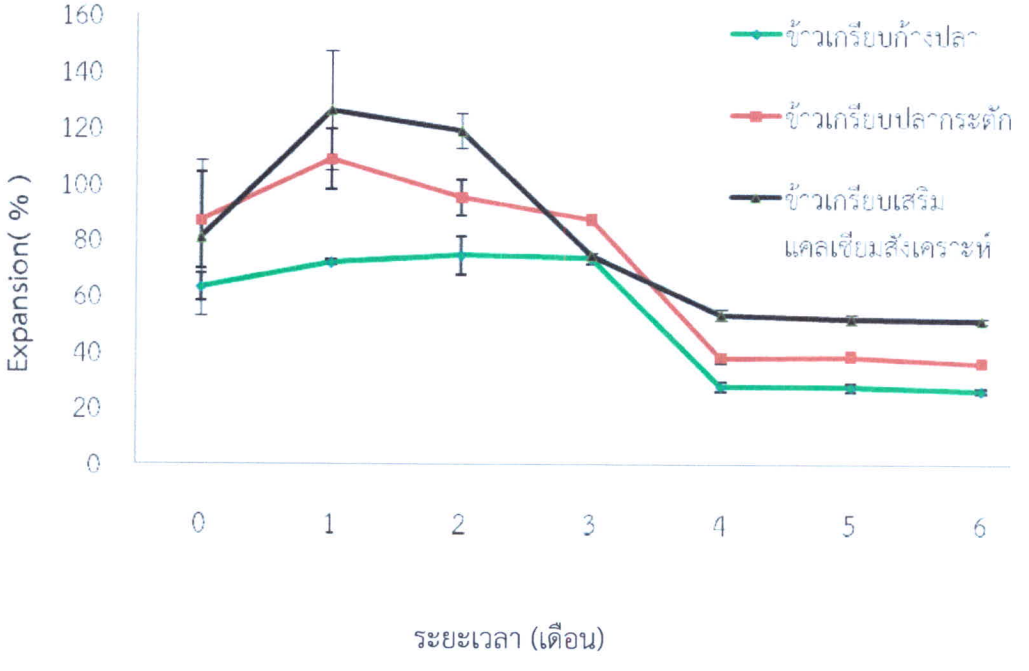
สอดคล้องกับการศึกษาของ สุรางค์ (2534) พบว่า ค่าวอเตอร์ แอคติวิตี้ ของข้าวเกรียบปลาไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราการขยายตัวของข้าวเกรียบ แต่เมื่อพิจารณา ค่าวอเตอร์ แอคติวิตี้ กับลักษณะปรากฏของข้าวเกรียบ พบว่าข้าวเกรียบที่มีค่าวอเตอร์ แอคติวิตี้ต่ำที่สุดจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ด้านแข็งบริเวณตรงกลาง ส่วนข้าวเกรียบที่มีค่าวอเตอร์ แอคติวิตี้ สูงที่สุด จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่สวยงาม เนื้อละเอียดสม่ำเสมอ โดยข้าวเกรียบที่มีค่าวอเตอร์ แอคติวิตี้ อยู่ระหว่าง 0.285-0.310 จะให้ลักษณะเนื้อข้าวเกรียบที่ดีเช่นกัน และยังมีเกณฑ์ที่ทำให้ข้าวเกรียบมีความกรอบดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ผลของ วอเตอร์ แอคติวิตี้ (a_w) ต่อข้าวเกรียบแห้งดิบแสดงสรุปดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ค่าวอเตอร์ แอคติวิตี้ของข้าวเกรียบแห้งดิบที่เก็บรักษาในระยะเวลา 6 เดือน

14.2 ผลต่อการพองตัว

ผลการศึกษาการพองตัวของข้าวเกรียบแห้งดิบทั้ง 3 ชนิด ในระยะเวลาตั้งแต่เดือนที่ 0-6 (ตารางที่ 14) ในช่วงเดือนที่ 0-1 พบว่าค่าการพองตัวของ TCP สูงกว่า KT และ FB ($P \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น พบว่าในช่วงเดือนที่ 4-6 ค่าการพองตัวของ TCP สูงกว่า FB และ KT ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ การที่ TCP มีค่าการพองตัวสูงสุด เนื่องจาก TCP ซึ่งมีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบหลักนั้น เนื่องจากแคลเซียมมีสมบัติความเป็นเกลืออยู่ ซึ่งเกลือจะส่งผลต่อการสกัดไมโอซิน (myosin) ออกจากเนื้อปลา โดยไมโอซินเป็นโครงสร้างที่ทำให้เกิดเจลของโปรตีน ทำให้เจลมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ส่งผลให้เนื้อสัมผัสเกิดความยืดหยุ่น ซึ่งในขณะที่ทำการนวดนั้นจะส่งผลให้ข้าวเกรียบสดมีความเหนียว (สายใจ, 2543) ดังนั้นการขยายตัวและการพองตัวของ TCP จึงเพิ่มขึ้นได้สูงกว่า FB และ KT สอดคล้องกับการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ (ตารางที่ 7) พบว่า TCP มีปริมาณปริมาณโปรตีนสูงกว่า FB และ KT และการพองตัวของข้าวเกรียบสอดคล้องกับผลการยอมรับของผู้บริโภค (ตารางที่ 14) ซึ่งพบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับ TCP สูงกว่า FB และ KT ซึ่งสอดคล้องกับ (Siaw *et al.*, 1985) พบว่าข้าวเกรียบที่มีอัตราการพองตัวสูงกว่าร้อยละ 77 ผู้บริโภคจะให้ยอมรับ ผลของการพองตัวต่อข้าวเกรียบแห้งดิบแสดงสรุปดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ค่าการพองตัวของข้าวเกรียบแห้งดิบที่เก็บรักษาในระยะเวลา 6 เดือน

14.3 ผลของค่าสี

การวัดสีของข้าวเกรียบทำโดยการใช้ Hunter LAB หาค่า L* a* และ b* ซึ่งค่า L หมายถึง ค่าความสว่าง 0 มีค่าความสว่างน้อย 100 มีค่าความสว่างมาก a หมายถึง ค่าสีแดงและสีเขียว เมื่อ a เป็นบวกจะเป็นสีแดง และ a เป็นลบจะเป็นสีเขียว และ b หมายถึง ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน เมื่อ b เป็นบวกจะเป็นสีเหลือง และ b เป็นลบจะเป็นสีน้ำเงิน จากการวัดค่าสีของข้าวเกรียบแห้งดิบทั้ง 3 ชนิด ในระยะเวลาตั้งแต่เดือนที่ 0-6 (ตารางที่ 14) พบว่า TCP มีค่า L มากที่สุด กล่าวคือ มีค่าความสว่างมากที่สุด ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาจะมากขึ้น TCP ก็ยังคงมีค่าความสว่างมากกว่า FB และ KT ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) ในทางกลับกัน พบว่า FB มีค่า a และ b สูงกว่า KT และ TCP ซึ่งการคล้ำของ FB เป็นผลมาจากสีของก้างปลาผงที่มีสีส้มเหลือง ซึ่งประกอบไปด้วยเม็ดสี (pigments) ที่จะส่งผลโดยตรงต่อข้าวเกรียบ รวมไปถึงสารประกอบในกลุ่มไนโตรเจน (nitrogenous compounds) เช่น ไมโอโกลบิล (myoglobin) ฮีโมโกลบิล (hemoglobin) และฮีโมไซยานิน (hemocyanins) มีส่วนสำคัญต่อการคล้ำของข้าวเกรียบเช่นกัน (Haard *et al.*, 1994)

14.4 ผลต่อจุลินทรีย์

ตารางที่ 15 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของข้าวเกรียบแห้งดิบทั้งสามชนิด ที่เก็บรักษาในระยะเวลา 0-6 เดือน

คุณภาพทางจุลินทรีย์	ชนิดของข้าวเกรียบแห้งดิบ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)						
		0	1	2	3	4	5	6
จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	FB	7900	2850	3400	3300	3300	3000	3100
	KT	1200	950	2100	2050	3550	2700	3050
	TCP	4500	4700	5000	6000	6550	5700	5100
E. Coli (ร้อยละ)	FB	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	KT	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	TCP	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
S. Aureus (ร้อยละ)	FB	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	KT	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	TCP	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ยีสต์ (CFU/g)	FB	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	KT	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	TCP	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
รา (CFU/g)	FB	20	5	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	KT	ไม่พบ	15	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	TCP	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

ผลการศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์ของข้าวเกรียบแห้งดิบทั้ง 3 ชนิด ในระยะเวลาตั้งแต่เดือนที่ 0-6 พบว่า การศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในระยะเวลา 6 เดือน FB มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 2,850-7,900 **CFU/g** ในขณะที่ TCPและ KT มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 4,500-6,550 **CFU/g** และ 950-3,550 **CFU/g** ตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กันกับ ค่า a_w ที่มีอยู่ในช่วง 0.51-0.55 (ตารางที่ 8) โดยเป็นช่วงสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คือ pH เท่ากับ 6-7 และ ค่า a_w เท่ากับ 0.96-0.99 (Nor-Khaizura *et al.*, 2009) ทั้งนี้ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีสูงในช่วงเริ่มต้นการเก็บรักษา อาจเกิดมาจากในช่วงการผลิตข้าวเกรียบในช่วงต้น ที่อาจมาจากวัตถุดิบหรือมาจากอุปกรณ์ และตัวบุคคลที่เกี่ยวข้องในระหว่างการผลิต ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากกระบวนการผลิตได้ (Fuselli *et al.*, 1994) แต่จากผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงนั้นมีความสัมพันธ์กับค่า a_w ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากค่า a_w แล้ว ยังมีปัจจัยสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น อุณหภูมิ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเกิดปฏิสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ รวมไปถึงสารอาหารในข้าวเกรียบ เป็นต้น (Gram and Huss, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของธีรวรรณและสุกัญญา (2554) พบว่า ข้าวเกรียบเมล็ดขนุนที่มีค่า a_w เพียง 0.311 ส่งผลให้ไม่พบจุลินทรีย์ในข้าวเกรียบเมล็ดขนุน เนื่องจากสภาวะดังกล่าวจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

ในขณะที่การศึกษาปริมาณยีสต์ รา รวมทั้ง E. *coli* และ *S. aureus* พบว่า เดือนที่ 0 ไม่พบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มดังกล่าว และถึงแม้ระยะเวลาในการเก็บรักษาจะเพิ่มขึ้นแต่ก็ยังไม่พบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มดังกล่าวเช่นกัน จากผลการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ในข้าวเกรียบแห้งดิบทั้ง 3 ชนิด สอดคล้องกับสำนักงานมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชน ที่ได้กำหนดให้ข้าวเกรียบดิบต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม *S. aureus* ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน.107/2546)

4.2 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเกรียบทอด

ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทั้ง 3 ชนิด การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทั้ง 3 ชนิดในระหว่างการเก็บรักษา โดยนำข้าวเกรียบทั้ง 3 ชนิด ที่ผ่านการทอดแล้วมาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ประเภท คือ ถุงโพลีโพรพิลีน และถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งศึกษาอายุการเก็บรักษาของข้าวเกรียบทั้ง 3 ชนิด โดยทำการตัวอย่างเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเคมีกายภาพและจุลินทรีย์ ผลการทดลองดังตารางที่ 16

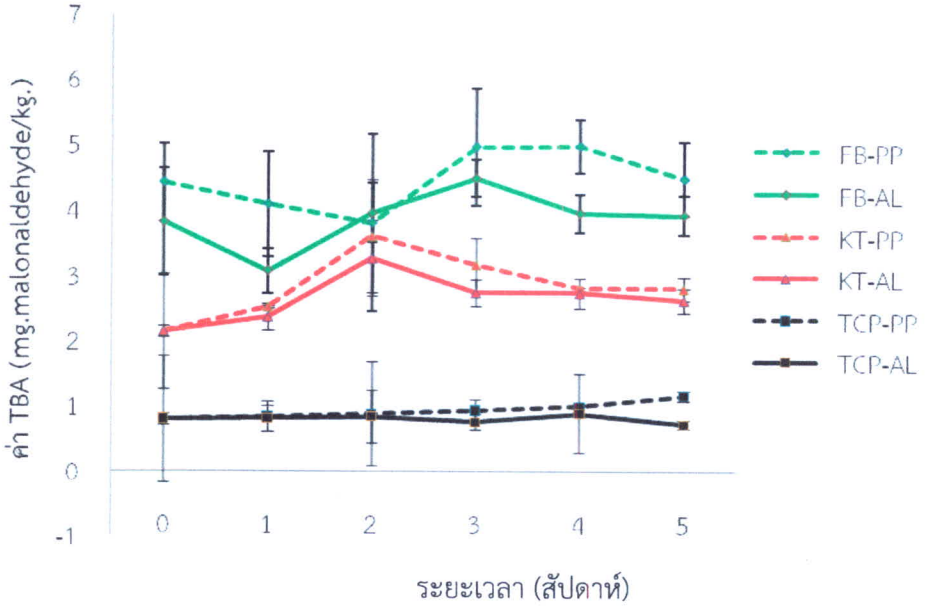
ตารางที่ 16 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวเกรียบทอดทั้งสามชนิด ที่เก็บในถุงโพลีโพรพิลีนและถุงอลูมีเนียมฟอยด์ ที่เก็บรักษาในระยะเวลา 0 สัปดาห์ และ 5 สัปดาห์

คุณภาพทางเคมีและกายภาพ	ชนิดของข้าวเกรียบ	สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
			0	1	2	3	4	5
TBARs (mg/kg)	FB	ถุงโพลีโพรพิลีน	4.42±.60^{a}	4.09±.80^{a}	3.81±1.35^{a}	4.97±0.90^{a}	4.98±0.41^{a}	4.48±0.56^{a}
		ถุงอลูมิเนียมฟอยด์	3.82±0.82^{a}	3.08±0.34^{ab}	3.96±0.45^{a}	4.49±0.28^{a}	3.96±0.29^{ab}	3.93±0.30^{a}
	KT	ถุงโพลีโพรพิลีน	2.15±0.09^{b}	2.53±0.02^{b}	3.61±0.86^{a}	3.17±0.42^{b}	2.81±0.03^{c}	2.81±0.18^{b}
		ถุงอลูมิเนียมฟอยด์	2.15±0.88^{b}	2.37±0.20^{b}	3.27±0.58^{a}	2.75±0.20^{b}	2.74±0.23^{bc}	2.63±0.19^{b}
	TCP	ถุงโพลีโพรพิลีน	0.81±0.97^{c}	0.85±0.23^{c}	0.89±0.80^{b}	0.95±0.17^{c}	1.01±0.05^{c}	1.17±0.08^{c}
		ถุงอลูมิเนียมฟอยด์	0.81±0.09^{c}	0.82±0.20^{c}	0.85±0.40^{b}	0.77±0.12^{c}	0.90±0.60^{c}	0.74±0.07^{c}
ความแข็ง (g)	FB	ถุงโพลีโพรพิลีน	721.19±18.74^{a}	429.16±24.99^{b}	489.28±56.58^{bc}	432.35±10.77^{c}	379.23±3.79^{c}	260.15±2.423^{d}
		ถุงอลูมิเนียมฟอยด์	532.96±38.40^{a}	543.93±0.73^{b}	412.83±47.74^{c}	323.43±3.17^{f}	267.62±1.32^{e}	249.13±0.53^{e}
	KT	ถุงโพลีโพรพิลีน	508.37±11.02^{a}	292.22±15.55^{c}	292.47±58.28^{d}	397.61±5.60^{d}	262.48±0.46^{f}	184.98±3.91^{f}
		ถุงอลูมิเนียมฟอยด์	587.14±17.30^{a}	476.90±13.50^{b}	563.72±9.40^{b}	367.07±4.84^{e}	342.84±0.48^{d}	294.35±5.29^{c}
	TCP	ถุงโพลีโพรพิลีน	601.90±29.55^{a}	777.33±39.82^{a}	670.14±55.12^{a}	577.93±2.35^{a}	587.35±1.24^{a}	487.13±1.70^{a}
		ถุงอลูมิเนียมฟอยด์	535.96±28.62^{a}	525.49±69.95^{b}	454.60±7.82^{c}	443.37±4.05^{b}	393.34±1.83^{b}	348.48±3.22^{b}

16.1 ผลต่อค่า TBARs

การศึกษาการหืนในข้าวเกรียบทั้ง 3 ชนิด พบว่า ข้าวเกรียบที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน มีค่า TBARs สูงกว่าข้าวเกรียบที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ($P \leq 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ อรอนงค์ และคณะ (2554) พบว่า ข้าวเกรียบกล้วยหอมที่บรรจุในถุงฟอยล์ยเมทัลไลท์มีการเพิ่มของค่า TBARs ต่ำกว่าข้าวเกรียบกล้วยหอมที่บรรจุในถุงโพลีโพรพีลีน และสอดคล้องกับ (อรนุช, 2548) พบว่าค่า TBARs ของข้าวเกรียบปลาที่เก็บรักษาที่บรรจุถุงโพลีโพรพิลีนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเร็วกว่าข้าวเกรียบที่เก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่สภาวะการเก็บรักษาเดียวกัน ทั้งนี้ ค่า TBARs ที่เพิ่มขึ้นของข้าวเกรียบที่บรรจุทั้งในถุงโพลีโพรพิลีนและถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เป็นผลมาจาก ระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ปริมาณไขมันในข้าวเกรียบทอดก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ โดยค่า TBARs (Thiobarbituric acid) เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงกลิ่นเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ (รณิดา, 2541)

และการศึกษายังพบว่า FB มีค่า TBARs สูงกว่า KT และTCP ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบ FB มีปริมาณไขมันสูงกว่า KT (ดังตาราง 1) ปริมาณไขมันในวัตถุดิบจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อเก็บข้าวเกรียบนานขึ้น ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นในข้าวเกรียบ ค่า TBARs ในข้าวเกรียบทอดทั้ง 3 ชนิด แสดงดังภาพที่ 5



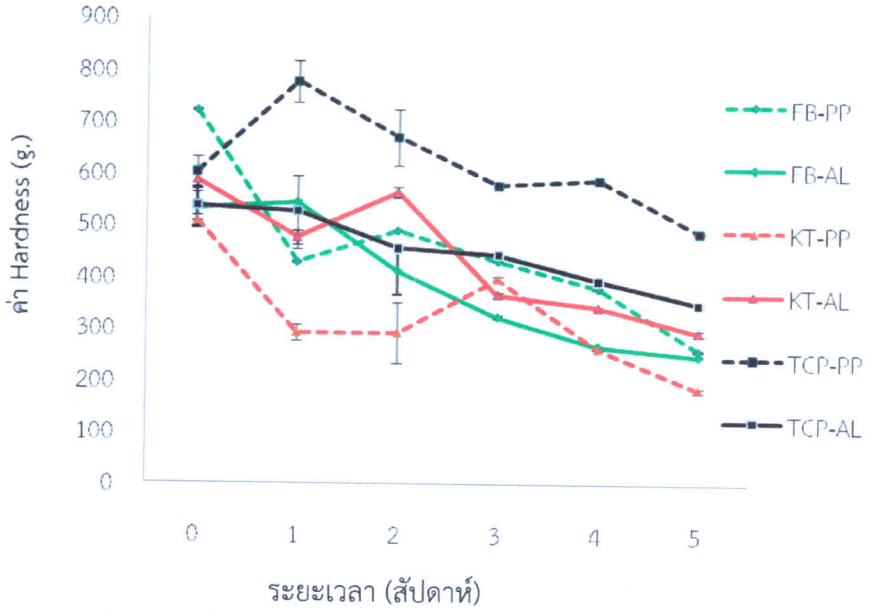
หมายเหตุ : FB-PP ข้าวเกรียบก้างปลาผงเก็บในถุงโพลีโพรพิลีน
FB-ALข้าวเกรียบก้างปลาผงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์
KT-PP-ข้าวเกรียบปลากระตักผงเก็บในถุงโพลีโพรพิลีน
KT-ALข้าวเกรียบปลากระตักผงเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยล์
TCP-PPข้าวเกรียบแคลเซียมสังเคราะห์เก็บในถุงโพลีโพรพิลีน
TCP-ALข้าวเกรียบปลากระตักผงเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยล์

ภาพที่ 5 ค่า TBARs ของข้าวเกรียบทอดที่เก็บรักษาในระยะเวลา 5 สัปดาห์

16.2 ผลต่อความแข็ง

จากการศึกษาความแข็งของข้าวเกรียบทั้ง 3 ชนิด พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นจะส่งผลให้คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสของความกรอบลดลง ดังจะเห็นได้จากค่าความแข็ง (Hardness) ของความเกรียบทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 16) ซึ่งมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) โดยพบว่า ค่าความแข็งของข้าวเกรียบทั้ง 3 ชนิด ที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟลอยด์ มีค่าความแข็งลดลงน้อยกว่าข้าวเกรียบที่บรรจุอยู่ในถุงโพลีโพรพิลีน ทั้งนี้การที่บรรจุภัณฑ์ประเภทอลูมิเนียมฟอยด์ส่งผลให้ข้าวเกรียบมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งน้อยกว่าถุงโพลีโพรพิลีน เนื่องจากถุงอลูมิเนียมฟอยด์มีลักษณะทึบแสง และมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและอากาศมากกว่าถุงโพลีโพรพิลีน

สอดคล้องกับการศึกษาของ ธีรวรรณและสุกัญญา (2554) พบว่า ข้าวเกรียบเมล็ดขนุนที่เก็บรักษาในถุงร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าถุงอลูมิเนียมฟอยด์ ทั้งนี้เนื่องจากการถ่ายเทมวลสารผ่านบรรจุภัณฑ์ ทั้งก๊าซและไอน้ำ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของอากาศในบรรจุภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์เกิดการดูดซับความชื้นเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อ่อนตัวลง ความแข็งในข้าวเกรียบทอดแสดงสรุปดังภาพที่ 6



หมายเหตุ : FB-PP ข้าวเกรียบก้างปลาผงเก็บในถุงโพลีโพรพิลีน
FB-ALข้าวเกรียบก้างปลาผงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์
KT-PP-ข้าวเกรียบปลากระตักผงเก็บในถุงโพลีโพรพิลีน
KT-ALข้าวเกรียบปลากระตักผงเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยล์
TCP-PPข้าวเกรียบแคลเซียมสังเคราะห์เก็บในถุงโพลีโพรพิลีน
TCP-ALข้าวเกรียบปลากระตักผงเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยล์

ภาพที่ 6 ค่าความแข็งของข้าวเกรียบทอดที่เก็บรักษาในระยะเวลา 5 สัปดาห์

16.3 ผลต่อจุลินทรีย์

ตารางที่ 17 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของข้าวเกรียบทอดทั้งสามชนิด ที่เก็บในถุงโพลีโพรพิลีนและถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ที่เก็บรักษาในระยะเวลา 0 สัปดาห์ และ 5 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ชนิดของข้าวเกรียบ	สภาวะการเก็บรักษา	คุณภาพทางจุลินทรีย์				
			จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	*E. Coli* (ร้อยละ)	*S. Aureus* (ร้อยละ)	ยีสต์ (CFU/g)	รา (CFU/g)
0	FB	ถุงโพลีโพรพิลีน	15	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
		ถุงอลูมิเนียมฟลอยด์	15	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	KT	ถุงโพลีโพรพิลีน	5	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
		ถุงอลูมิเนียมฟลอยด์	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	TCP	ถุงโพลีโพรพิลีน	85	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
		ถุงอลูมิเนียมฟลอยด์	50	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
5	FB	ถุงโพลีโพรพิลีน	15	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
		ถุงอลูมิเนียมฟลอยด์	10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	KT	ถุงโพลีโพรพิลีน	5	ไม่พบ	ไม่พบ	10	ไม่พบ
		ถุงอลูมิเนียมฟลอยด์	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	TCP	ถุงโพลีโพรพิลีน	340	ไม่พบ	ไม่พบ	30	ไม่พบ
		ถุงอลูมิเนียมฟลอยด์	25	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

เมื่อพิจารณาปริมาณจุลินทรีย์ (ตารางที่ 17) โดยปริมาณจุลินทรีย์ของข้าวเกรียบทั้ง 3 ชนิด ที่บรรจุในถุงโพลีโพรพีลินและถุงอลูมิเนียมฟลอยด์เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า ในสัปดาห์ที่ 0 และสัปดาห์ที่ 5 ของการเก็บรักษา พบว่า FB และ KT ไม่พบการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ทั้งหมด นอกจากนี้แล้วก็ยังไม่พบ *E. Coli, S. aureus* และยีสต์ รา ในขณะที่อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในส่วนของ TCP กลับพบว่ามีการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยในสัปดาห์ที่ 0 ของตัวอย่าง TCP ที่บรรจุถุงโพลีโพรพีลิน พบปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 85 CFU/g และเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 5 สัปดาห์ พบการเพิ่มปริมาณสูงขึ้นเป็น 340 CFU/g ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อรนุช (2548) พบว่าถุงโพลีโพรพิลีนจะมีอัตราการซึมผ่านของอากาศและอัตราการซึมผ่านของน้ำได้เร็วกว่าถุงอลูมิเนียมฟอยล์ นอกจากนี้แล้วสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจพบในช่วงการเก็บรักษาอาจปนเปื้อนมาจากสุขลักษณะในการผลิต ตั้งแต่วัตถุดิบ กระบวนการผลิต ตลอดจนถึงผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป บรรจุภัณฑ์ อนามัยส่วนบุคคลของผู้ผลิต โดยจุลินทรีย์ที่มีปะปนในข้าวเกรียบมาจาก 2 แหล่งใหญ่ ๆ ได้แก่ จุลินทรีย์ที่ปะปนมากับวัตถุดิบ และจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนจากภาชนะบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์เครื่องมือในการผลิต หรือบุคคลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตรวมทั้งอากาศอันเป็นสิ่งแวดล้อมรอบ ๆบริเวณ (สุรางค์, 2534) อย่างไรก็ตามค่าจุลินทรีย์ทั้งหมดยังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพผู้บริโภค ซึ่งตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชน ได้กำหนดให้ข้าวเกรียบพร้อมบริโภคมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม และราต้องไม่เกิน 100 โคโรนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน107/2546)