บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาคุณลักษณะของข้าวเหนียวดำ

ทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะตัวอย่างข้าวเหนียวดำ 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ดอยสะเก็ดจากจังหวัดเชียงใหม่ และ พันธุ์อมก๋อย จากอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยข้าวเหนียวดำทั้ง 2 พันธุ์เป็นข้าวกล้องข้าวเหนียว ข้าวกลองเป็นข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกแต่ยังไม่ผ่านการขัดสี (อรอนงค์, 2547) ข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดเยื่อหุ้มเมล็ดมีสีม่วงแดงเข้ม เนื่องจากมีองค์ ประกอบของแอนโทไซยานิน (Abdel-Aal and Hucl, 2003) เนื้อเมล็ดมีสีขาว มีสีม่วงแดงที่เข้มกว่าและเมล็ดยาวกว่าข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อย โดยวิเคราะห์องค์ประกอบ ทางเคมีและกายภาพ ในส่วนของค่าร้อยละของความชื้น ร้อยละของโปรตีน ร้อยละของปริมาณอะไมโลส และค่าความคงตัวของเจล (gel consistency) พบว่าปริมาณความชื้นในข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด และพันธุ์อมก๋อยมีค่าเท่ากับ 14.06 ± 0.16 และ 10.17 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 11

ปริมาณโปรตีนข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด และพันธุ์อมก๋อย มีค่าเท่ากับ 6.18 ± 0.07 และ 5.40 ± 0.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 10 โปรตีนในข้าวมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยโปรตีนที่มีอยู่ในข้าวได้แก่ แอลบิวมิน โกลบิวลิน โพรลามิน และออริซานิน แทรกอยู่ในระหว่างเมล็ดสตาร์ช มีผลต่อความอ่อนและความแข็งของเจล (อรอนงค์, 2547 : Chrastil, 1990) ข้าวทั่วไปจะมีโปรตีนประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ โดยโปรตีนออริซานินเป็นโปรตีนหลักที่มีมาก (Lyon et al., 1999) โปรตีนในข้าวเหนียวดำมีประมาณ 7-8 เปอร์เซ็นต์ (ดำเนิน และคณะ, 2543) โปรตีนในข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 มีปริมาณ 7.8 เปอร์เซ็นต์ (Juliano and Villareal, 1987) โปรตีนในข้าวเหนียวเมล็ดเต็มพันธุ์ กข6 จากจังหวัดหนองคายมี 7.14 เปอร์เซ็นต์ และข้าวเหนียวเมล็ดเต็มพันธุ์ กข6 จากจังหวัดขอนแก่นมี 7.23 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพื้นที่ทำการเพาะปลูก (keeratipibul et al., 2008) ปริมาณโปรตีนที่สูงในข้าวทำให้ข้าวปรุงสุกมีลักษณะแข็งและมีความเหนียวน้อยและลดการพองตัวของเมล็ดแป้ง (Juliano, 1965)

ปริมาณอะไมโลสข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด และพันธุ์อมก๋อย มีค่าเท่ากับ 9.70 ± 0.01 และ 9.00 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 10 อะไมโลสประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเรียงตัวเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น (linear chains) ส่วนใหญ่ด้วยพันธะแอลฟา -1,4 และมีโซ่กิ่ง (branched chain) อยู่ประมาณ 3 - 4 กิ่ง ด้วยพันธะแอลฟา -1,6 โดยทั่วไปข้าว

เหนียวมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าข้าวเจ้า ในข้าวเหนียวขาวมีปริมาณอะไมโลส 0-5 เปอร์เซ็นต์ จึงจัดเป็นชนิดข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำมีปริมาณแอมิโลเพคตินสูงทำให้ข้าวเหนียวมีลักษณะเหนียว ติดมือ (อรอนงค์, 2547 : Juliano, 1993) ปริมาณอะไมโลสที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ของข้าว ทำให้คุณลักษณะของข้าวสุกแตกต่างกัน (Bean et al., 1984) ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 มีปริมาณอะไมโลส 2-3 เปอร์เซ็นต์ (keeratipibul et al., 2008) ส่วนข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด และพันธุ์อมก๋อยจัดเป็นกลุ่มข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำมาก ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วง 5.1-12.0 เปอร์เซ็นต์ (Juliano, 1993)

ค่าความคงตัวของเจลเป็นการวัดการไหลของเจลในหลอดแก้วขนาด 11x100 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบค่ากับลักษณะเจลมาตรฐาน 3 แบบ คือเจลนุ่มมีระยะทางการไหล 61-100 มิลลิเมตร เจลนุ่มปานกลางมีระยะทางการไหล 41-60 มิลลิเมตร และเจลแข็งมีระยะทางในการไหล 26-40 มิลลิเมตร (อรอนงค์, 2547 : Cagampang et al., 1973) ข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด และพันธุ์อมก๋อยมีระยะทางการไหลของเจล 46.65 ± 0.15 และ 51.55 ± 0.05 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 10 ข้าวเหนียวดำทั้งสองพันธุ์มีเจลแบบเจลนุ่มปานกลาง แต่ข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยมีระยะทางในการไหลของเจลมากกว่าข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด เพราะข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด ปริมาณอะไมโลสมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะทางการไหลของเจลโดยปริมาณอะไมโลสสูงทำให้ระยะทางการไหลของเจลลดลง (keeratipibul et al., 2008) อะไมโลสทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น ทำการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งต่ำ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546)

ตารางที่ 11 คุณลักษณะของข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดและพันธุ์อมก๋อย

คุณลักษณะ	พันธุ์ข้าวเหนียวดำ	
	ดอยสะเก็ด	อมก๋อย
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	14.05 ± 0.15^{a}	10.17 ± 0.01^{b}
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	6.18 ± 0.07^{a}	5.40 ± 0.23^{b}
อะไมโลส (เปอร์เซ็นต์)	9.70 ± 0.01^{a}	9.00 ± 0.01^{b}
ค่าความคงตัวของเจล (มิลลิเมตร)	46.65 ± 0.15^{a}	51.55 ± 0.05^{b}

หมายเหตุ : อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

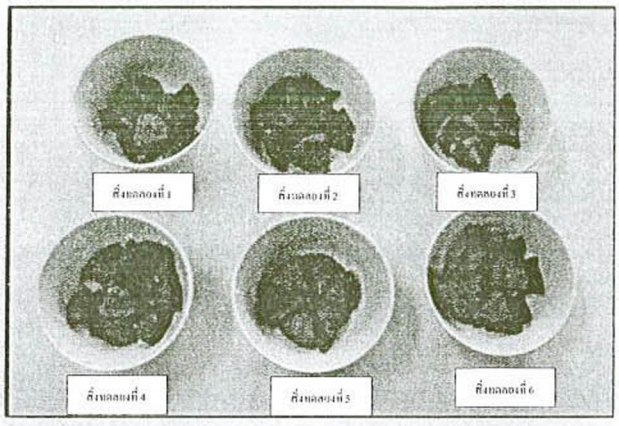
2. ผลการผลิตข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ

2.1 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณข้าวเหนียวดำที่มีผลต่อคุณลักษณะข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ

เมื่อทำการศึกษาปัจจัยที่ต่อคุณลักษณะข้าวเหนียวดำ โดยทำการศึกษาปัจจัย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ พันธุ์ข้าวเหนียวดำที่ใช้ในการผลิตข้าวอบกรอบ ได้แก่ ข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อย และข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณของข้าวเหนียวดำที่ใช้ทดแทนข้าวเหนียวขาว ได้แก่ ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยกำหนดสิ่งทดลองดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 ข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 20 ของน้ำหนักข้าวเหนียว
สิ่งทดลองที่ 2 ข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 30 ของน้ำหนักข้าวเหนียว
สิ่งทดลองที่ 3 ข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 40 ของน้ำหนักข้าวเหนียว
สิ่งทดลองที่ 4 ข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดร้อยละ 20 ของน้ำหนักข้าวเหนียว
สิ่งทดลองที่ 5 ข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดร้อยละ 30 ของน้ำหนักข้าวเหนียว
สิ่งทดลองที่ 6 ข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดร้อยละ 40 ของน้ำหนักข้าวเหนียว

จากนั้นทำการผลิตตามวิธีการผลิตดังแสดงในวิธีการทดลองซึ่งผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ได้ พบว่าข้าวอบกรอบที่ผลิตได้จะมีลักษณะสีม่วงเข้ม และมีกลิ่นหอมของข้าว เนื้อสัมผัสกรอบ ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำทั้ง 6 สิ่งทดลอง

จากตารางที่ 12 พบว่าพันธุ์ข้าวเหนียวดำ พันธุ์อมก๋อย และพันธุ์ดอยสะเก็ดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความแข็ง ค่าสี L*, b* ของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยและพันธุ์ดอยสะเก็ดมีปริมาณอะไมโลส ปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกัน ข้าวเหนียวดำดอยสะเก็ดมีปริมาณอะไมโลส 9.70 เปอร์เซ็นต์ น้อยกว่าข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยที่ปริมาณอะไมโลส ปริมาณอะไมโลส 9.00 เปอร์เซ็นต์ดังการทดลองตอนที่1 ตารางที่ 10 ปริมาณอะไมโลสที่มากขึ้นส่งผลต่อคุณลักษณะของข้าวสุก ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกนุ่มและเหนียว แต่ข้าวทีมีอะไมโลสสูงทำให้ข้าวปรุงสุกเนื้อแน่นและแข็ง (Rani and Bhattacharya, 1989) ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นที่ทำจากข้าวเหนียวเรียกว่า อาราเร่ จะมีเนื้อสัมผัสที่กรอบร่วน ละลายในปาก ไม่แข็งเหมือนข้าวอบกรอบที่ทำจากข้าวเจ้าเรียกว่า เซมเบ้ มีปริมาณอะไมโลสมากกว่า มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่า (Hsieh and Luh, 1991)

จากตารางที่ 12 พบว่าพันธุ์ข้าวเหนียวดำ พันธุ์อมก๋อย และพันธุ์ดอยสะเก็ดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าสี L*, b* ของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ค่าสี L* เป็นการวัดพารามิเตอร์ด้านความสว่างของสี ค่าสี b* เป็นการวัดเฉดสีเหลืองถึง สีน้ำเงิน เนื่องจากข้าวเหนียวดำมีสารกลุ่มฟีนอลิกโดยเฉพาะอย่างยิ่งแอนโทไซยานิน ซึ่งให้สีม่วงแดง (Abdel-Aal et al., 2006) พันธุกรรมของข้าวที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินแตกต่างกันทำให้ความเข้มของสีแตกต่างกัน

พันธุ์ข้าวเหนียวดำ พันธุ์อมก๋อย และพันธุ์ดอยสะเก็ดไม่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นของเพลเลท ค่าสี a* ความหนาแน่นของข้าวอบกรอบ การพองตัวและความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ปริมาณข้าวเหนียวดำที่แตกต่างกัน 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นปัจจัยต่อความแข็ง (hardness) ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากปริมาณข้าวเหนียวดำมีปริมาณอะไมโลส 9.7- 9.0 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 10 ซึ่งมากกว่าอะไมโลสที่มีอยู่ใน

ข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข6 มีปริมาณอะไมโลส 2-3 เปอร์เซ็นต์ (keeratipibul et al., 2008) การผลิตข้าวอบกรอบที่ใช้ข้าวเหนียวดำมากขึ้นจึงทำให้ปริมาณอะไมโลสมากขึ้น และส่งผลต่อความแข็งต่อข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ ดังตารางที่ 12

ปริมาณข้าวเหนียวดำที่แตกต่างกัน 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นปัจจัยต่อ ค่าสี L*, a* และ b* ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากข้าวเหนียวดำมีสารกลุ่มแอนโทไซยานิน ซึ่งให้สีม่วงแดง (Abdel-Aal et al., 2006) เมื่อปริมาณข้าวเหนียวดำที่ใช้ในการผลิตข้าวอบกรอบแตกต่างกันจึงส่งผลทำให้ค่าสี L *, a* และ b* ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 12

ปริมาณข้าวเหนียวดำที่แตกต่างกัน 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นปัจจัยต่อเปอร์เซ็นต์การพองของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากข้าวเหนียวดำมีปริมาณมีปริมาณอะไมโลส 9.7- 9.0 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 10 ซึ่งมากกว่าอะไมโลสที่มีอยู่ในข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข6 มีปริมาณอะไมโลส 2-3 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอะไมโลสมีความสัมพันธุ์เชิงลบกับเปอร์เซ็นต์การพองตัว หมายถึงปริมาณอะไมโลสที่มากขึ้นของวัตถุดิบส่งผลให้การพองตัวของข้าวอบกรอบลดลง (keeratipibul et al., 2008) ดังตารางที่ 12

ปริมาณข้าวเหนียวดำที่แตกต่างกัน 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ไม่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อ ความหนาแน่นของเพลเลท ความหนาแน่นของข้าวอบกรอบ และความชื้นของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังตารางที่ 12

ปัจจัยด้านพันธุ์ร่วมกับปริมาณข้าวเหนียวดำ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความแข็ง ค่าสี L*, a* และ b* ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความหนาแน่นของเพลเลท ความหนาแน่นของข้าวอบกรอบ เปอร์เซ็นต์การพองตัว และความชื้นของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ปัจจัยของพันธุ์และปริมาณข้าวเหนียวดำที่ทดแทนข้าวเหนียวขาวที่มีผลต่อคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ

ค่าที่วัด	พันธุ์ข้าวเหนียวดำ	ปริมาณข้าวเหนียวดำ (%)	พันธุ์ร่วมกับปริมาณข้าวเหนียวดำ
	P	*P*	*P*
ความหนาแน่นของเพลเลท	0.422	0.597	0.797
ความแข็ง (Hardness)	< 0.001	< 0.001	< 0.001
ค่าสี			
L*	0.005	0.022	0.031
a*	0.106	0.002	0.001
b*	< 0.00	< 0.001	< 0.001
ความหนาแน่นของข้าวอบกรอบ	1.000	0.397	1.000
เฟอร์เซ็นต์การพองตัว (Volume expansion)	0.065	0.016	0.618
ความชื้น	0.481	0.091	0.168

หมายเหตุ : P หมายถึง P-value หรือ significance ของการสมมติฐาน หมายถึงค่าที่น้อยกว่า 0.05 ของระดับนัยสำคัญที่จะทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน

2.2 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณข้าวเหนียวดำที่เหมาะสมในการผลิตข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ

การวัดเฟอร์เซ็นต์การพองตัวเป็นการวัดปริมาตรของเพลเลทก่อนการพองตัวเปรียบเทียบกับปริมาตรของข้าวอบกรอบภายหลังการพองตัว เป็นคุณลักษณะที่สำคัญในการบอกถึงคุณภาพข้าวอบกรอบ (keeratipibul et al., 2008) ข้าวอบกรอบที่ผลิตจากจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 20 มีเฟอร์เซ็นต์การพองตัว 174.58 ± 0.90 มากกว่าข้าวอบกรอบที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 30, 40 และข้าวเหนียวดำพันธุ์คอยสะเก็ดร้อยละ 30 และ 40 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($P \leq 0.05$) แต่มีเปอร์เซ็นต์การพองตัวไม่แตกต่างจากข้าวอบกรอบที่ผลิตจากจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดร้อยละ 20 ดังตารางที่ 13

เปอร์เซ็นต์การพองตัวเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบ (Hsieh and Luh, 1991) สาเหตุสำคัญที่ทำให้เปอร์เซ็นต์การพองตัวเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับสัดส่วนของอะไมโลสในวัตถุดิบ (Chinnaswamy, 1993) ข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลสต่ำ 2-3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง (อรอนงค์, 2547) ปริมาณอะไมโลสที่มากขึ้นของวัตถุดิบส่งผลให้การพองตัวของข้าวอบกรอบลดลง (keeratipibul et al., 2008) ทำให้ปริมาณอะไมโลสส่งผลต่อการพองตัวของข้าวอบกรอบ ขนมอบกรอบที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าของไทยมีปริมาณอะไมโลสสูงจึงทำให้การพองตัวของขนมต่ำ (Jomduang and Mohamed, 1994) แต่เนื่องจากข้าวเหนียวดำมีปริมาณอะไมโลสมากกว่าข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข6 ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณข้าวเหนียวดำจึงทำให้เปอร์เซ็นต์การพองตัวลดลง

ตารางที่ 13 ผลของความหนาแน่นเพลเลท ความหนาแน่นข้าวอบกรอบ และการพองตัวของข้าวอบกรอบที่ใช้พันธุ์และปริมาณต่างๆ ของข้าวเหนียวดำในการทดแทนข้าวเหนียวขาว

ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ		คุณลักษณะ		
พันธุ์	ปริมาณ (ร้อยละ)	ความหนาแน่นของเพลเลท (กรัม/ซม^3.)	ความหนาแน่นของข้าวอบกรอบ (กรัม/ซม^3.)	การพองตัว(%)
อมก๋อย	20	0.525 ± 0.005^{ns}	0.320 ± 0.005^{ns}	174.58 ± 0.90^{a}
	30	0.530 ± 0.010^{ns}	0.315 ± 0.010^{ns}	165.57 ± 2.33^{b}
	40	0.520 ± 0.005^{ns}	0.315 ± 0.010^{ns}	165.61 ± 2.74^{b}
ดอยสะเก็ด	20	0.520 ± 0.000^{ns}	0.320 ± 0.000^{ns}	168.17 ± 5.13^{ab}
	30	0.525 ± 0.015^{ns}	0.315 ± 0.010^{ns}	164.03 ± 6.50^{b}
	40	0.520 ± 0.005^{ns}	0.315 ± 0.010^{ns}	161.43 ± 5.02^{b}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 20 มีเปอร์เซ็นต์การพองตัว 174.58 ± 0.90 มากกว่าข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดร้อยละ 20 มีเปอร์เซ็นต์การพองตัว

168.17 ± 5.13 เนื่องจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยมีเปอร์เซ็นต์อะไมโลสต่ำกว่าข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด ดังตารางที่ 10 ข้าวอบกรอบที่ผลิตจากวัตถุดิบข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 20, 30, 40 และข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดร้อยละ 20, 30, 40 มีคุณลักษณะด้านความหนาแน่นของเพสเลท และความหนาแน่นของข้าวอบกรอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)ดังตารางที่ 14

ความแข็ง (hardness) ของข้าวอบกรอบวัดโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer หัววัด cylinder probe (P/2) ตั้ง TA setting ได้แก่ pre-test, test และ post-test ความเร็ว 3, 3 และ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที (keeratipibul et al., 2008) โดยวัดแรงสูงสุด (maximum force) พบว่าข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 20 มีความแข็ง 1677.42 ± 22.35 กรัม ซึ่งมีความแข็งน้อยกว่า ข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 30, 40 และข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดร้อยละ 20, 30 และ 40 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากปริมาณอะไมโลสมีผลต่อคุณภาพปริมาณอะไมโลสที่สูงในข้าวส่งผลต่อความแข็งที่เพิ่มขึ้น ความเหนียวลดลง และความเงาของข้าวสุก (Juliano et al., 1965) จากรายงานของ Saelcaw and Schleining (2010) พบว่าคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของขนมอบกรอบหรือแครกเกอร์ (cracker) จากวัตถุดิบแป้งที่เป็นแป้งมันสำปะหลัง ข้าว ข้าวเหนียว และแป้งสาลีมีผลต่อความแข็งของแครกเกอร์ โดยสัดส่วนของแป้งข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งของแครกเกอร์ลดลง และสัดส่วนของแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งของแครกเกอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลสต่ำสุด จึงส่งผลให้แครกเกอร์ที่ทำจากข้าวเหนียวมีเนื้อสัมผัสที่กรอบร่วน ดังนั้นข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าเข้าเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดดังตารางที่ 10 และข้าวเหนียวดำมีปริมาณอะไมโลสมากกว่าข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข6 จึงส่งผลให้ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 20 มีแข็งน้อยที่สุด

ตารางที่ 14 ผลของความแข็ง (hardness) และความชื้นของข้าวอบกรอบที่ใช้พันธุ์และปริมาณต่างๆ ของข้าวเหนียวดำในการทดแทนข้าวเหนียวขาว

ข้าวอบกรอบจาก ข้าวเหนียวดำ		คุณลักษณะ	
พันธุ์	ปริมาณ (ร้อยละ)	ความแข็ง (hardness) (กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
อมก๋อย	20	1677.42 ± 22.35 [c]	0.77 ± 0.06 [a]
	30	2047.63 ± 08.36 [d]	0.70 ± 0.03 [b]
	40	2312.29 ± 73.02 [e]	0.81 ± 0.05 [a]
ดอยสะเก็ด	20	2493.06 ± 83.30 [b]	0.78 ± 0.02 [a]
	30	2557.02 ± 28.29 [b]	0.76 ± 0.02 [ab]
	40	3520.09 ± 09.64 [a]	0.79 ± 0.02 [a]

หมายเหตุ : a, b, c, d และ e หมายถึงตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ทำการตรวจวัดค่าสีตามระบบ CIE colour (International Commission on Illumination) ที่ L* คือความสว่างในช่วงสเกล 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) a* แสดงในช่วงสเกล +50 (สีแดง) ถึง -50 (สีเขียว) และ b*ในช่วงสเกล +50 (สีเหลือง) ถึง -50 (สีน้ำเงิน) ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำมีสีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากข้าวเหนียวดำมีองค์ประกอบของรงควัตถุชนิดแอนโทไซยานิน (Abdel-Aal et al., 2006) พบแอนโทไซยานินในข้าวเหนียวดำ 3,276 ไมโครกรัมต่อกรัม แอนโทไซยานินจะมีความคงตัวในสภาวะที่เป็นกรดต่ำกว่า 4 (Abdel-Aal and Hucl, 2003) ค่าสี L* ของข้าวอบกรอบของข้าวเหนียวดำอยู่ในช่วง 28.58 – 29.67 โดยปริมาณข้าวเหนียวดำที่เพิ่มในข้าวอบกรอบไม่ได้ทำให้ความเข้มของสี (ค่าสี L*) เพิ่มขึ้นเนื่องจากสารแอนโทไซยานินไม่คงตัวที่สภาวะเบสแต่จะมีความคงตัวที่สภาวะกรด (Abdel-Aal and Hucl, 2003) ค่าสี a* อยู่ในช่วง 2.93 – 3.86 และค่าสี b* อยู่ในช่วง 2.26 - 3.65 ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลของค่าสี L* a* และ b* ของข้าวอบกรอบที่ใช้พันธุ์และปริมาณต่างๆ ของข้าวเหนียวดำในการทดแทนข้าวเหนียวขาว

ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ		คุณลักษณะ		
		ค่าสี		
พันธุ์	ปริมาณ (ร้อยละ)	L*	a*	b*
อมก๋อย	20	29.48 ± 0.48 [a]	3.40 ± 0.20 [bc]	3.65 ± 0.06 [a]
	30	29.23 ± 0.79 [a]	3.65 ± 0.10 [ab]	3.65 ± 0.10 [a]
	40	29.67 ± 1.22 [a]	3.31 ± 0.38 [bc]	2.26 ± 0.07 [e]
ดอยสะเก็ด	20	26.65 ± 0.55 [b]	3.86 ± 0.03 [a]	3.10 ± 0.05 [b]
	30	28.58 ± 0.58 [a]	3.10 ± 0.15 [cd]	2.93 ± 0.15 [c]
	40	29.36 ± 0.76 [a]	2.93 ± 0.03 [d]	2.62 ± 0.04 [d]

หมายเหตุ : a, b, c, d และ e หมายถึงตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

3. ผลคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ

การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ ด้วยวิธี 9 – Point hedonic rating scale (ปราณี, 2547) โดยทำการประเมินคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ ความชอบรวม จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน เป็นนักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่พิษณุโลก ทำการประเมินข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำทั้ง 6 สิ่งทดลอง ได้แก่

สิ่งทดลองที่ 1 ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 20 ของน้ำหนักข้าวเหนียว
สิ่งทดลองที่ 2 ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 30 ของน้ำหนักข้าวเหนียว
สิ่งทดลองที่ 3 ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 40 ของน้ำหนักข้าวเหนียว
สิ่งทดลองที่ 4 ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดร้อยละ 20 ของน้ำหนักข้าวเหนียว
สิ่งทดลองที่ 5 ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดร้อยละ 30 ของน้ำหนักข้าวเหนียว
สิ่งทดลองที่ 6 ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ดร้อยละ 40 ของน้ำหนักข้าวเหนียว

จากผลการทดลองดังตารางที่ 16 พบว่า ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 20 ได้รับคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมด้าน ความกรอบและความชอบรวม 6.90 และ 6.83 ตามลำดับ มากกว่าสิ่งทดลองข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 20 มีการพองตัว (volume expansion) สูงกว่า เนื่องจากการพองตัวเป็นคุณลักษณะที่สำคัญที่สุดของขนมขบเคี้ยวจากข้าวและผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ (Hsieh and Luh, 1991) นอกจากนี้ยังมีความแข็งน้อยกว่า เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ สัดส่วนปริมาณอะไมโลสที่แตกต่างกันทำให้คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของวัตถุดิบและคุณลักษณะของข้าวอบกรอบต่างกัน (Chinnaswamy, 1993)

ตารางที่ 16 ผลคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ

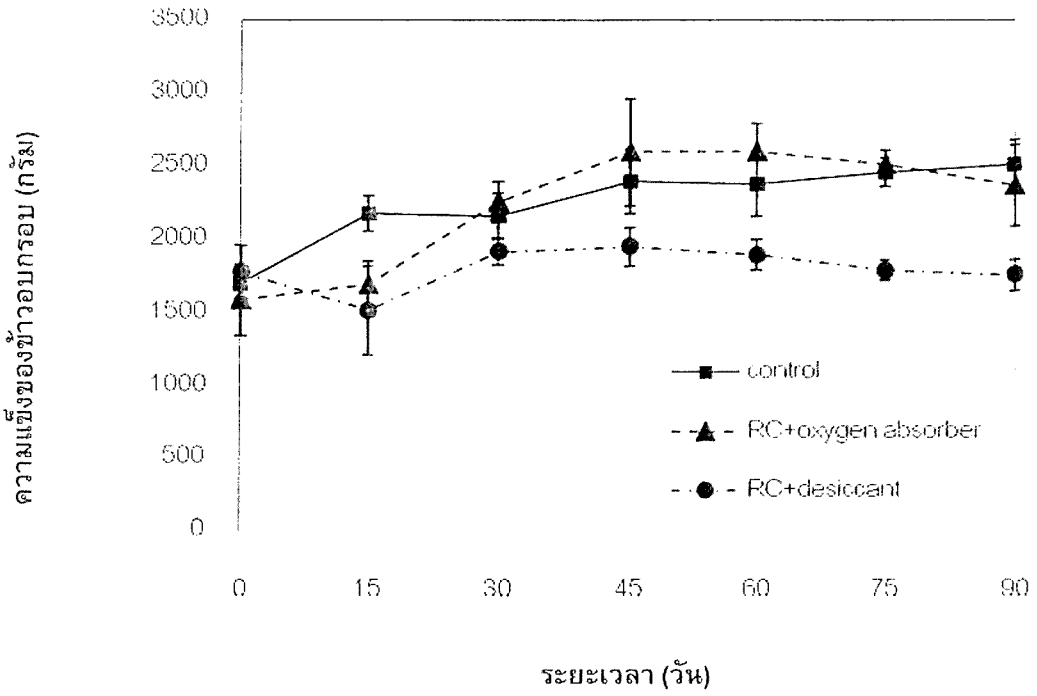
ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ		สี	กลิ่น	รสชาติ	ความกรอบ	ความชอบรวม
พันธุ์	ปริมาณ(ร้อยละ)					
อมก๋อย	20	5.80^{b}	6.07^{b}	5.67^{c}	6.90^{a}	6.83^{a}
	30	5.80^{b}	6.23^{a}	6.17^{ab}	6.23^{bcd}	6.23^{b}
	40	6.17^{a}	5.90^{b}	6.23^{ab}	6.47^{b}	6.40^{b}
ดอยสะเก็ด	20	5.90^{b}	5.93^{b}	6.03^{b}	6.20^{cd}	6.27^{b}
	30	6.27^{a}	6.00^{b}	6.03^{b}	6.33^{bc}	6.40^{b}
	40	6.37^{a}	5.90^{b}	6.33^{a}	6.00^{d}	6.40^{b}

หมายเหตุ : a, b, c และ d หมายถึงตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ

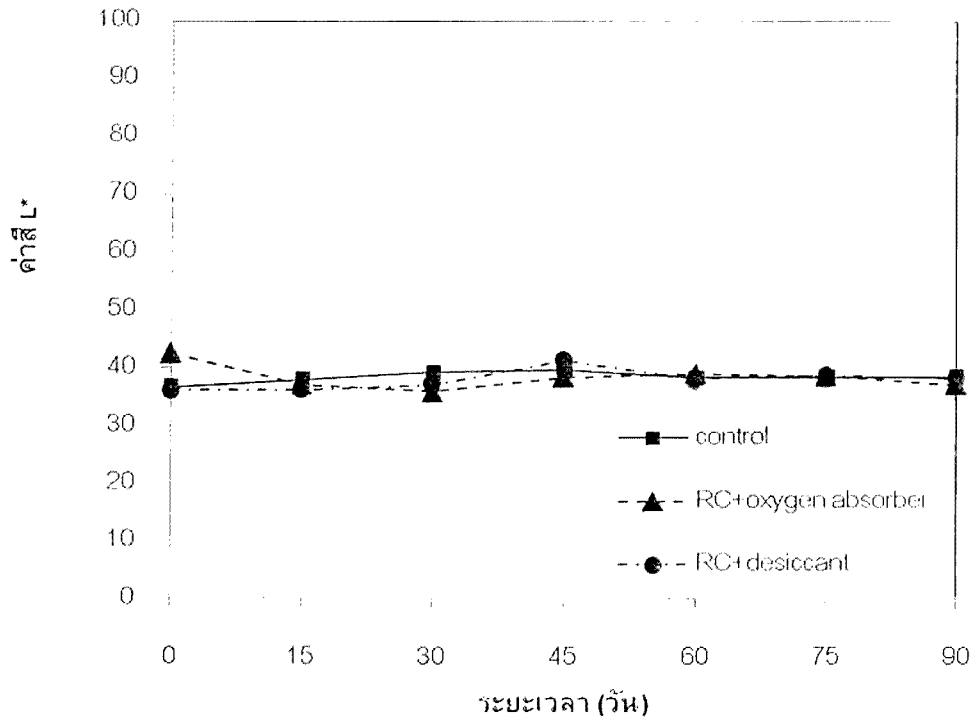
นำข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ผลิตได้ตอนที่ 2 คือ ข้าวอบกรอบที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 20 บรรจุลงภาชนะชนิด โพลีเอทีลีนปริมาณ 25 กรัม โดยแบ่งชนิดของภาชนะบรรจุเป็น 3 ชนิดคือ ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุชนิดโพลีเอทีลีน (ตัวอย่างควบคุม : control) ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุชนิดโพลีเอทีลีน และใส่สารดูดซับออกซิเจน (RC+oxygen absorber) และ

ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุชนิดโพลีเอทีลีน และใส่สารดูดซับความชื้น (RC+desiccant) ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำมีความแข็ง (hardness) 1,585 – 1,774 กรัม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของทั้ง 3 สิ่งทดลอง เมื่อเก็บข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิห้องนาน 15 วัน ความแข็งของข้าวอบกรอบ 1,513 – 2,177 กรัม ข้าวอบกรอบที่ใส่สารดูดซับความชื้นและสารดูดซับออกซิเจนในภาชนะบรรจุ มีความแข็งน้อยกว่าข้าวอบกรอบตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และมีความแข็งใกล้เคียงกับในวันที่ 0 ข้าวอบกรอบที่ใส่สารดูดซับความชื้นในภาชนะบรรจุในวันที่ 30, 45, 60, 75 และ90 มีความแข็งใกล้เคียงกับวันที่ 0 เนื่องจากสารดูดซับความชื้นมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำในอากาศภายในภาชนะบรรจุ ทำให้ปริมาณน้ำในอากาศภายในภาชนะบรรจุมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำในข้าวอบกรอบ ทำให้ความแข็งของข้าวอบกรอบไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บ 90 วัน แต่ข้าวอบกรอบตัวอย่างควบคุม และที่ใส่สารดูดซับออกซิเจนในภาชนะบรรจุในวันที่ 30, 45, 60, 75 และ 90 มีความแข็งของข้าวอบกรอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากข้าวอบกรอบมีปริมาณน้ำอิสระ และความชื้นต่ำ 0.3–0.4 และ 3-4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นข้าวอบกรอบจึงสามารถดูดซับน้ำจากอากาศภายในภาชนะบรรจุ ทำให้ปริมาณน้ำอิสระ และความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้ข้าวอบกรอบมีความเหนียวเพิ่ม จึงต้องออกแรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกมากขึ้นเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 15

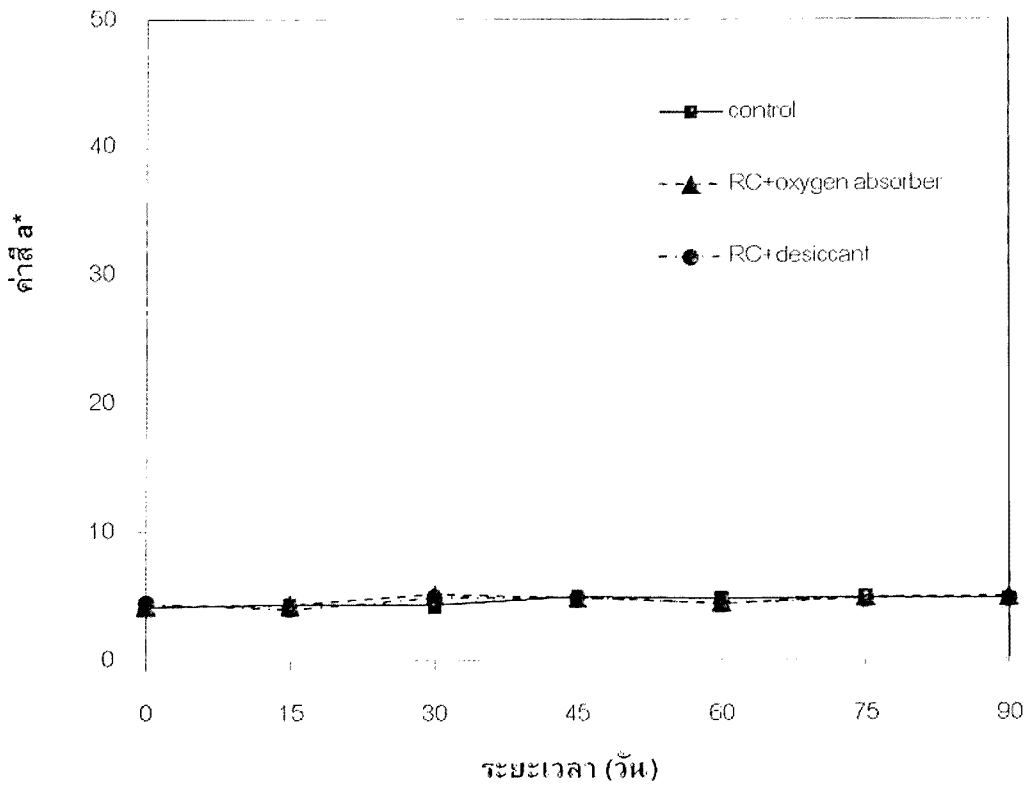


ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงความแข็งของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน RC+desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น

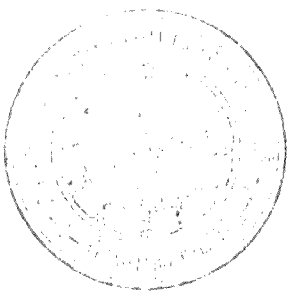
การเปลี่ยนแปลงค่าสี ตามระบบ CIE colour (International Commission on Illumination) ที่ L* คือความสว่างในช่วงสเกล 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) a* แสดงในช่วงสเกล +50 (สีแดง) ถึง -50 (สีเขียว) และ b*ในช่วงสเกล +50 (สีเหลือง) ถึง -50 (สีน้ำเงิน) พบว่าค่าสี L* a* และ b* ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่บรรจุชนิดโพลีเอทีลีน (ตัวอย่างควบคุม : control) ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุชนิดโพลีเอทีลีน และใส่สารดูดซับออกซิเจน (RC+oxygen absorber) และข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุชนิดโพลีเอทีลีน และใส่สารดูดซับความชื้น (RC+desiccant) ทั้ง 3 สิ่งทดลอง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเมื่อทำการเก็บรักษาไว้ 90 วัน ดังภาพที่ 16, 17 และ 18

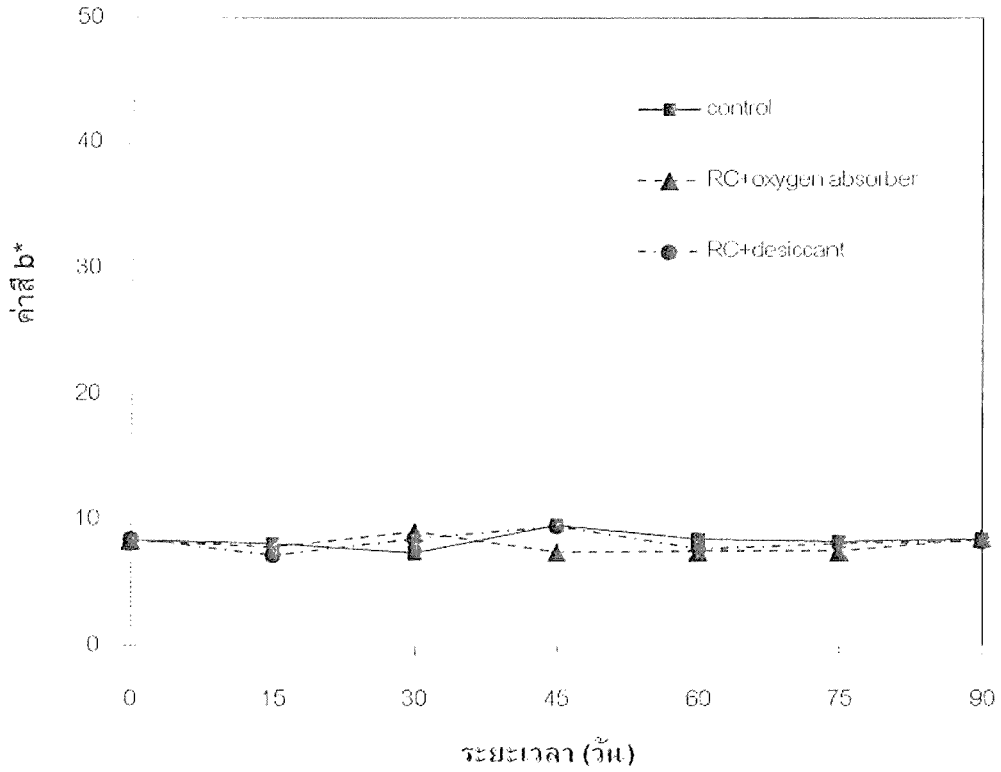


ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน, RC+desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+ oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน , RC+desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น

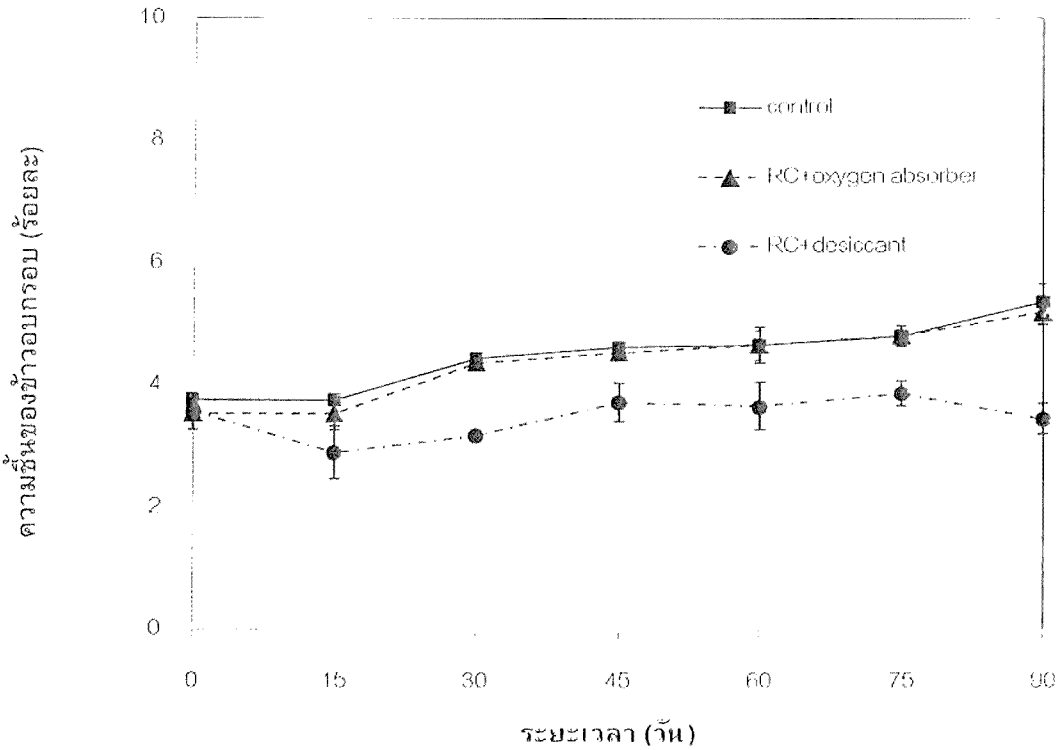




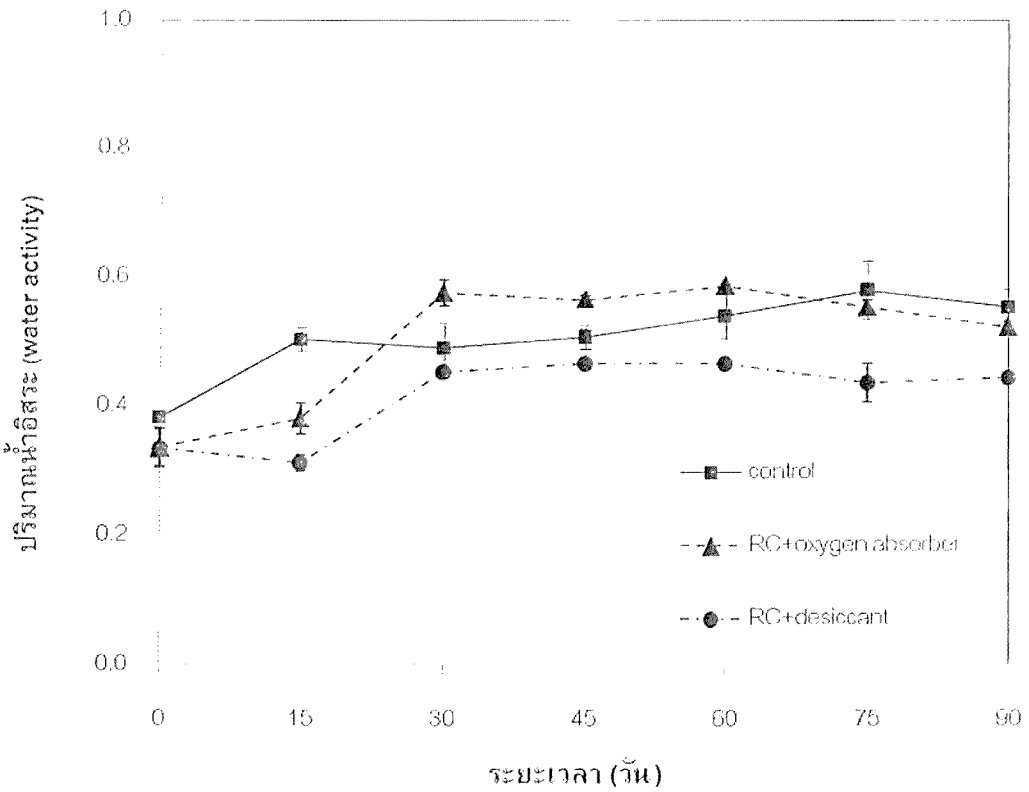
ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน , RC+ desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น

ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่บรรจุชนิดโพลีเอทีลีน (ตัวอย่างควบคุม : control) ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุชนิดโพลีเอทีลีน และใส่สารดูดซับออกซิเจน (RC+oxygen absorber) และข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุชนิดโพลีเอทีลีน และใส่สารดูดซับความชื้น พบว่าในวันที่ 0 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอยู่ในช่วงร้อยละ 3.54-3.77 และ 0.33-0.38 ตามลำดับ เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ในระยะเวลา 90 วัน ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่บรรจุในภาชนะบรรจุชนิดโพลีเอทีลีน และใส่สารดูดซับความชื้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ เนื่องจากสารดูดซับความชื้นมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำในอากาศภายในภาชนะบรรจุ แต่ข้าวอบกรอบตัวอย่างควบคุม และที่ใส่สารดูดซับออกซิเจนในภาชนะบรรจุในวันที่ 30, 45, 60, 75 และ 90 มีความชื้นของข้าวอบกรอบเพิ่มขึ้น

เนื่องจากข้าวอบกรอบสามารถดูดซับน้ำจากอากาศภายในภาชนะบรรจุ ทำให้ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของข้าวอบกรอบเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ดังภาพที่ 19 และ 20



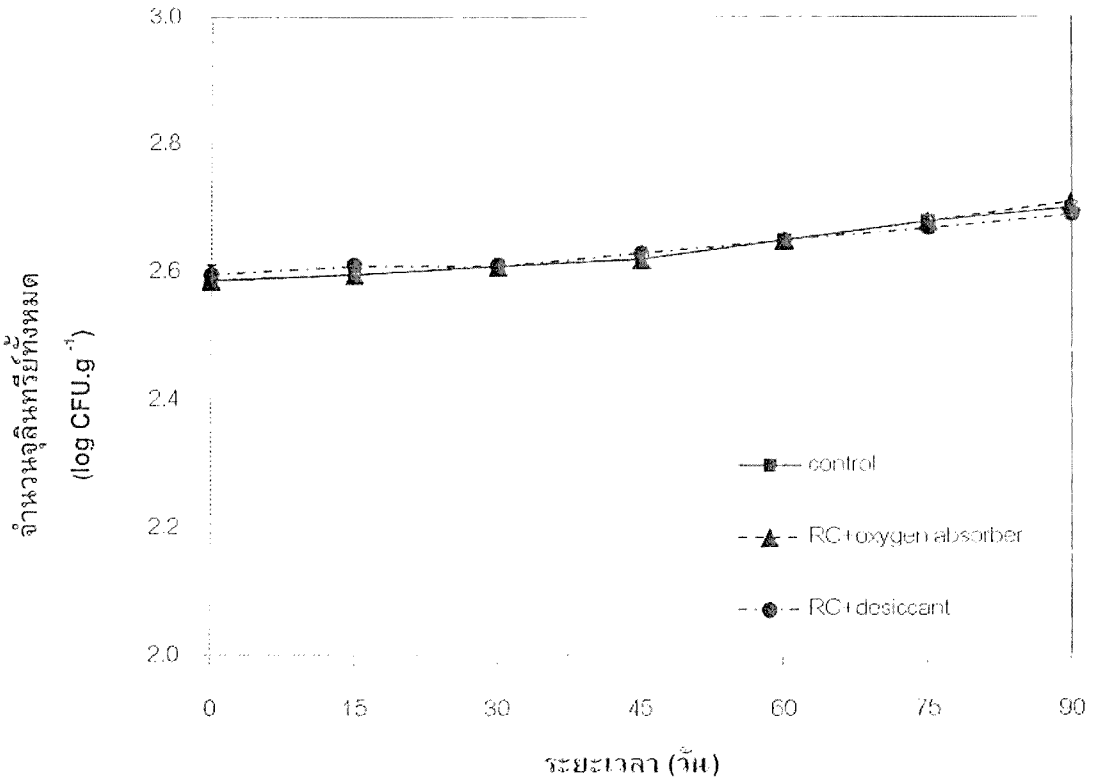
ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน, RC+desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น



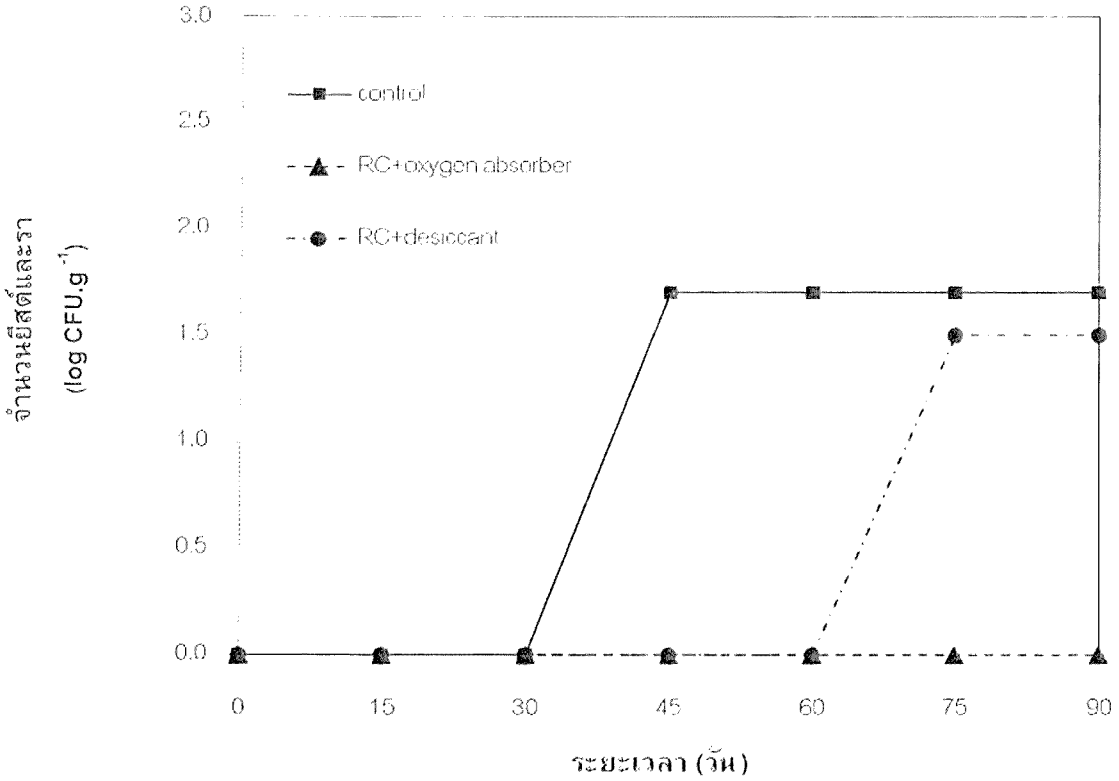
ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำอิสระ ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน, RC+desiccant หมายถึง ข้าวอาบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนยีสต์และราของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่บรรจุชนิดโพลีเอทีลีน (ตัวอย่างควบคุม : control) ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุชนิดโพลีเอทีลีน และใส่สารดูดซับออกซิเจน (RC+oxygen absorber) และข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุชนิดโพลีเอทีลีน และใส่สารดูดซับความชื้น(RC+desiccant) พบว่าในวันที่ 0 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนยีสต์และราของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอยู่ในช่วงร้อยละ 2.59-2.60 log cfu/g และ <1 log cfu/g ตามลำดับ เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 90 วัน ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำทั้งสามสิ่งทดลองมีการเพิ่มจำนวนเล็กน้อยเป็น 2.69-2.70 log cfu/g เนื่องจากข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ผลิตได้มีปริมาณน้ำอิสระ หรือปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ได้เพียง 0.44-0.55 ซึ่งต่ำกว่า 0.6 ที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดังนั้นเมื่อเก็บข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำไว้ 40 วันจึงมีจำนวนจุลินทรีย์ไม่แตกต่างจากวันที่ 0

ปริมาณยีสต์และรา ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำทั้งสามสิ่งทดลองในวันที่ 0 ไม่พบเชื้อยีสต์และรา จนถึงในวันที่ 75 และ 90 พบเชื้อยีสต์และราในตัวอย่างควบคุม และตัวอย่าง RC+desiccant ที่ 1.7 log cfu/g และ 1.5 log cfu/g ตามลำดับ แต่ไม่พบเชื้อยีสต์และราในตัวอย่าง RC+oxygen absorber เนื่องจากเชื้อยีสต์และราต้องใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต แต่ข้าวอบกรอบที่บรรจุในภาชนะที่ใส่สารดูดซับออกซิเจน (oxygen absorber) มีการดูดซับก๊าซออกซิเจนมาไว้ที่ตัวสารดูดซับออกซิเจน ทำให้ในภาชนะบรรจุไม่มีก๊าซออกซิเจนที่ยีสต์ และรานำไปใช้ได้ ทำให้ตรวจไม่พบเชื้อยีสต์และราในข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ ดังภาพที่ 21 และ 22

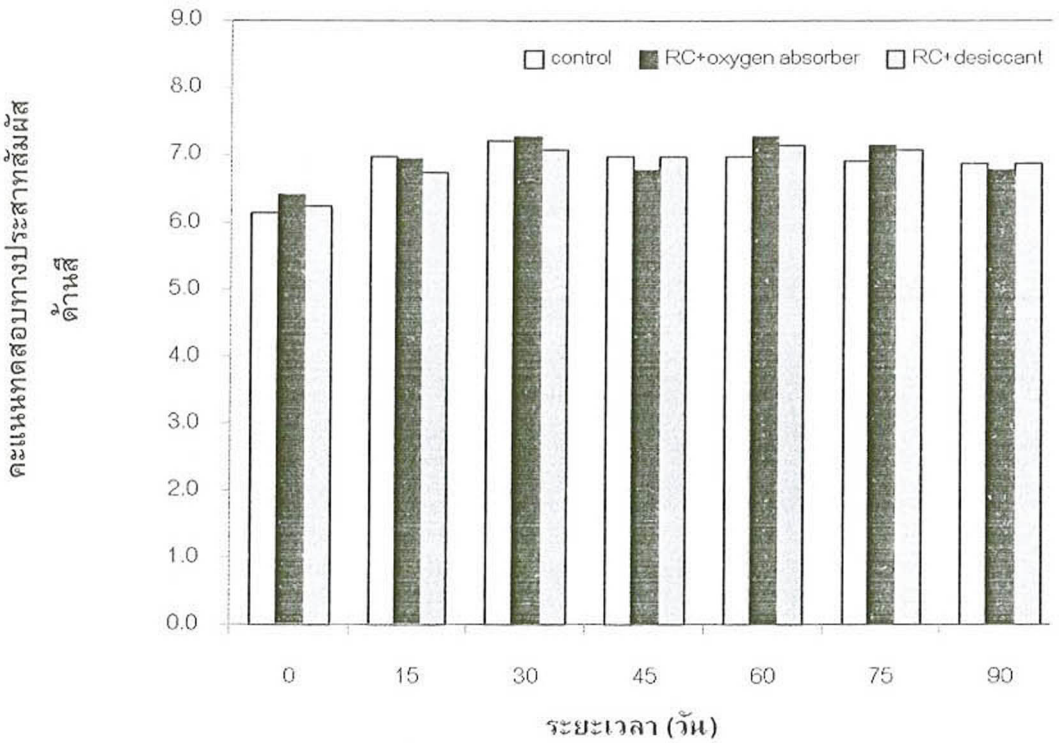


ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน, RC+desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น

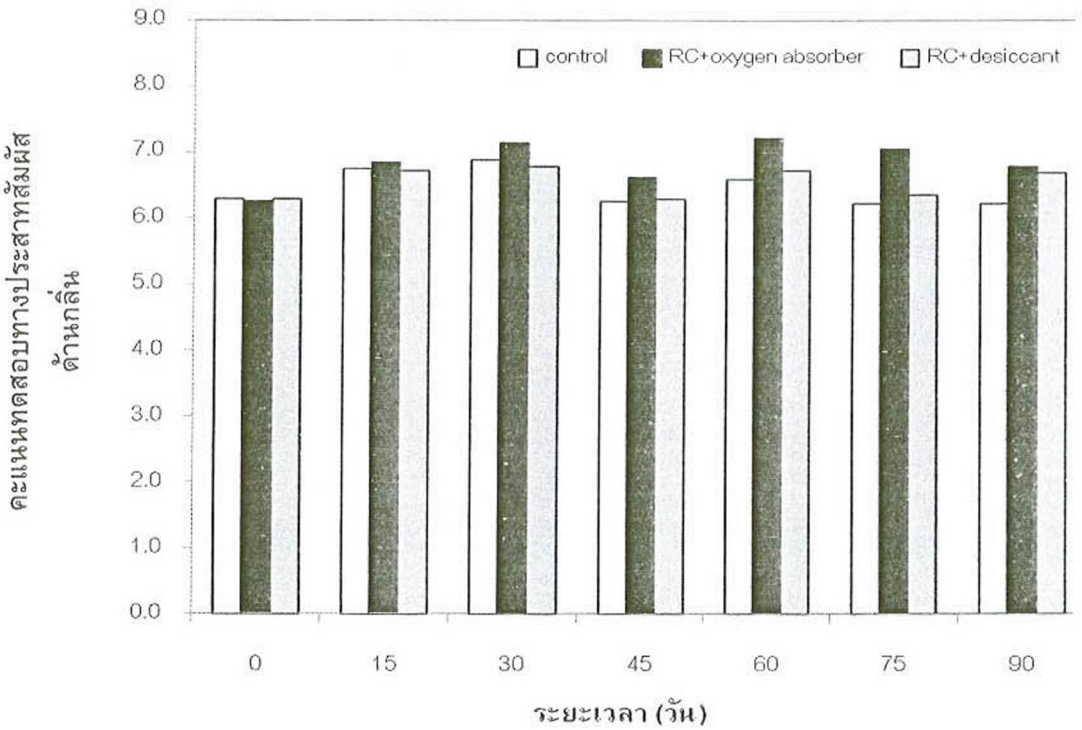


ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณยีสต์และรา ของข้าวอบกรอบจากข้าวหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีนที่มีสารดูดซับออกซิเจน, RC+desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น

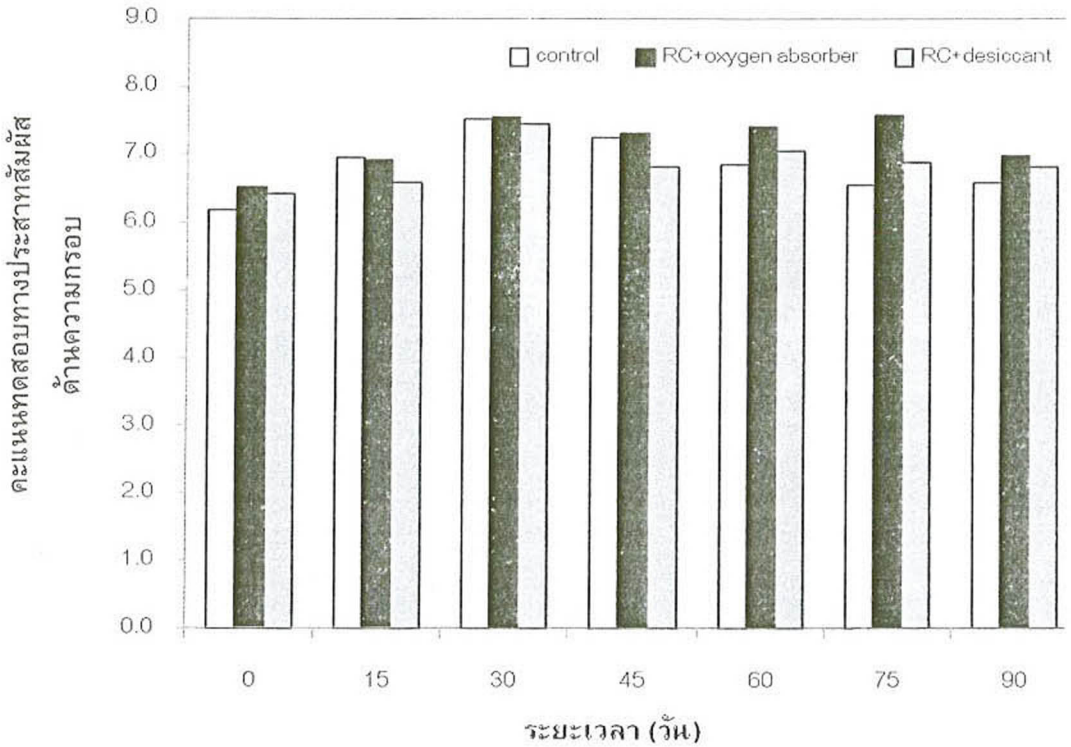
ผลการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น ความกรอบ รสชาติ และความชอบรวม ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำเป็นระยะเวลา 90 วัน ด้านสีคะแนนความชอบในวันที่ 0 สิ่งทดลองทั้ง 3 สิ่งทดลองได้รับคะแนนไม่แตกต่างกัน และในด้านกลิ่น ความกรอบ รสชาติ และความชอบรวม ได้รับคะแนนความชอบทั้งสามสิ่งทดลองไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ เช่นกัน ดังภาพที่ 23-27 เมื่อทำการเก็บในภาชนะบรรจุที่แตกต่างกันได้แก่ ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีโพไพรีน ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีนที่มีสารดูดซับออกซิเจน, และข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีนที่มีสารดูดซับความชื้น ในระยะเวลา 90 วัน พบว่าคะแนนทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ ความชอบรวม ไม่แตกต่างจากวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ ดังภาพที่ 23-27 เนื่องจากขนมอบกรอบจากข้าวเหนียวดำมีความชื้น และปริมาณน้ำอิสระต่ำจากภาพที่ 19 และ 20 ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบมีการเสื่อมเสียช้า ในระยะเวลา 90 วัน ข้าวอบกรอบไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส



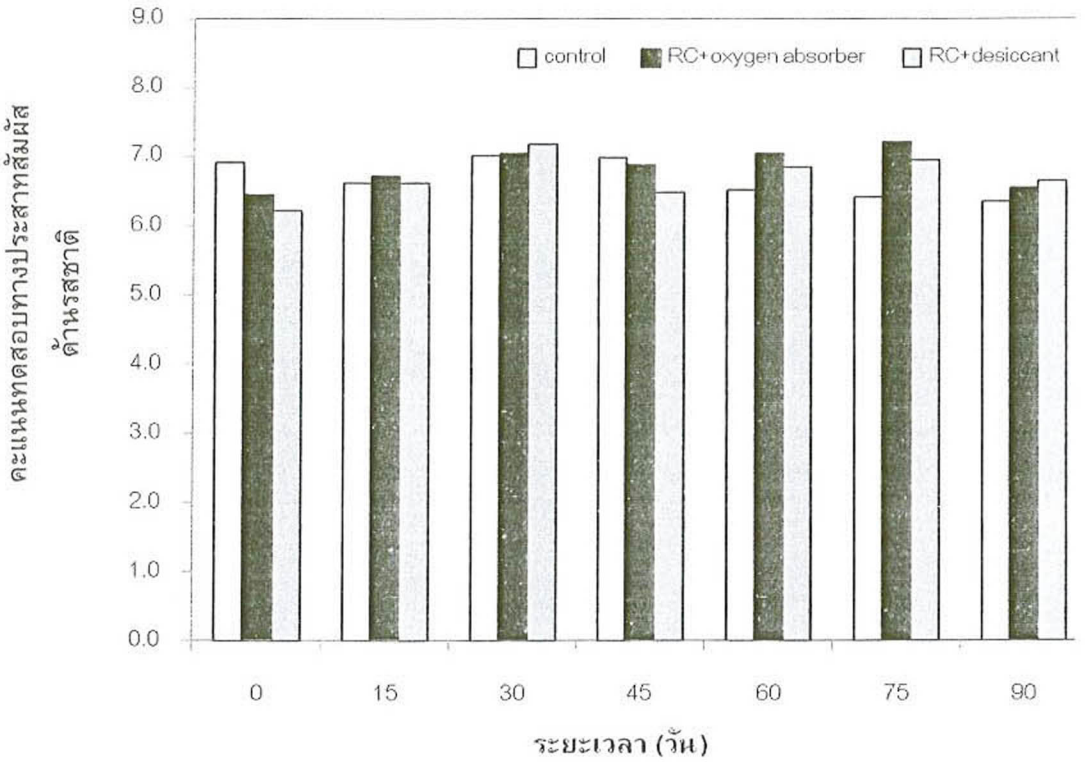
ภาพที่ 23 คะแนนประสาทสัมผัสด้านสี ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน, RC+desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น



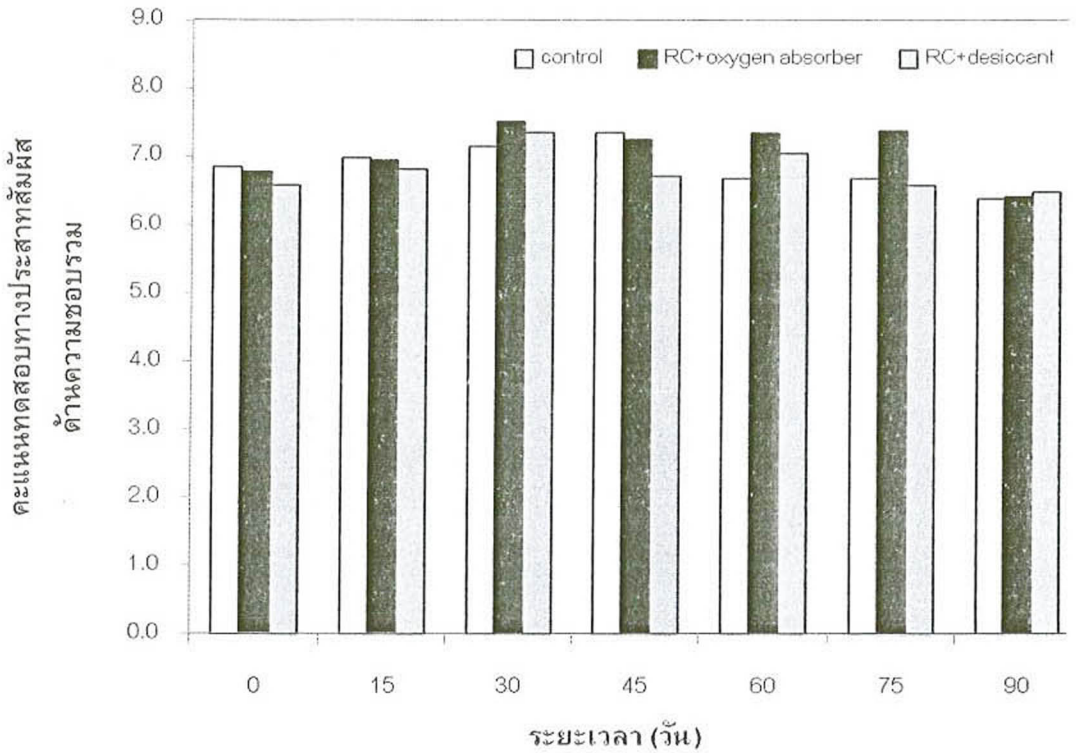
ภาพที่ 24 คะแนนประสาทสัมผัสด้านกลิ่น ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน, RC+desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น



ภาพที่ 25 คะแนนประสาทสัมผัสด้านความกรอบ ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน, RC+desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น



ภาพที่ 26 คะแนนประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน, RC+desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น



ภาพที่ 27 คะแนนประสาทสัมผัสด้านความชอบรวม ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำที่ระยะเวลาการเก็บ 0 ถึง 90 วัน (control หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน, RC+oxygen absorber หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับออกซิเจน, RC+desiccant หมายถึง ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน ที่มีสารดูดซับความชื้น

5. ฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ

ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำมาตรวจวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ. 2541 เรื่องฉลากโภชนาการ และ (ฉบับที่ 305) พ.ศ. 2550 เรื่องการแสดงฉลากอาหารสำเร็จรูปที่พร้อมบริโภคทันที่บางชนิด พบว่าใน 1 หน่วยบริโภค 25 กรัม ได้รับพลังงานทั้งหมด 100 กิโลแคลอรี ดังภาพที่ 28

ข้อมูลโภชนาการ		
หนึ่งหน่วยบริโภค : 1 กล่อง (25 กรัม)		
จำนวนหน่วยบริโภคต่อกล่อง : 1		
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค		
พลังงานทั้งหมด 100 กิโลแคลอรี		
		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน*
ไขมันทั้งหมด	1 ก.	2%
โปรตีน	1 ก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	21 ก.	7%
น้ำตาล	7 ก.	
โซเดียม	15 มก.	1%
* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี		

ภาพที่ 28 ข้อมูลโภชนาการ ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ บรรจุ 25 กรัม

สรุปผลการทดลอง

1. ข้าวเหนียวดำ 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ดอยสะเก็ด และ พันธุ์อมก๋อย จากอำเภอเขาปริมาณความชื้นในข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด และพันธุ์อมก๋อยมีค่าเท่ากับ 14.06 ± 0.16 และ 10.17 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 10
2. ปริมาณโปรตีนข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด และพันธุ์อมก๋อย มีค่าเท่ากับ 6.18 ± 0.07 และ 5.40 ± 0.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
3. ปริมาณอะไมโลสข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด และพันธุ์อมก๋อย มีค่าเท่ากับ 9.70 ± 0.01 และ 9.00 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
4. ค่าความคงตัวของเจล ข้าวเหนียวดำพันธุ์ดอยสะเก็ด และพันธุ์อมก๋อยมีระยะทางการไหลของเจล 46.65 ± 0.15 และ 51.55 ± 0.05 มิลลิเมตร ตามลำดับ
5. พันธุ์ข้าวเหนียวดำ พันธุ์อมก๋อย และพันธุ์ดอยสะเก็ดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความแข็ง ค่าสี L*, b* ของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
6. ปริมาณข้าวเหนียวดำที่แตกต่างกัน 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นปัจจัยต่อความแข็ง (hardness) การพองตัว ค่าสี L* a* และ b* ของข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
7. ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยร้อยละ 20 ได้รับคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมด้าน ความกรอบและความชอบรวม 6.90 และ 6.83 ตามลำดับ
8. การเปลี่ยนแปลงของข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีน 25 กรัม ในระยะเวลา 40 วัน ข้าวอบกรอบมีคุณภาพด้านความกรอบ (hardness) ค่าสี L* a* b* ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา คุณภาพทางประสาทสัมผัส ไม่มีการเลี่ยนแปลงจากวันที่ 0 และไม่มีความแตกต่างกับ ข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีนที่มีสารดูดซับออกซิเจน และข้าวอบกรอบในภาชนะบรรจุโพลีเอทีลีนที่มีสารดูดซับความชื้น
9. ข้าวอบกรอบจากข้าวเหนียวดำ 1 หน่วยบริโภค 25 กรัม ได้รับพลังงานทั้งหมด 100 กิโลแคลอรี