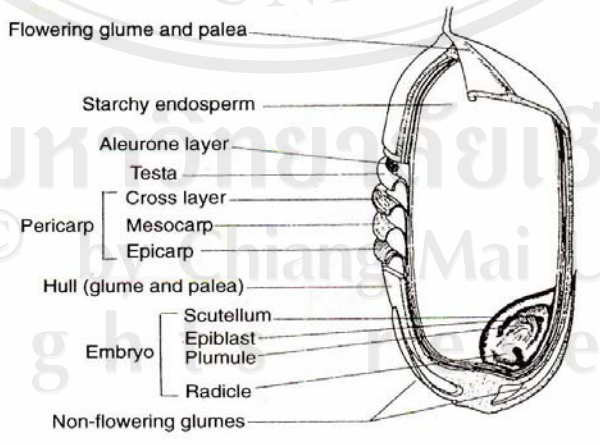
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวเป็นพืชอยู่ในตระกูล Gramineae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. เป็นอาหารหลักที่สำคัญของชาวเอเชีย เมล็ดข้าวหรือข้าวเปลือก (rough rice or paddy) เป็นส่วนผลของต้นข้าวซึ่งสามารถจำแนกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้ (งามชื่น, 2545)

1. เปลือกนอก หรือ แกลบ (hull) เป็นส่วนที่หุ้มอยู่ภายนอก ช่วยป้องกันเมล็ดจากการทำลายภายนอก เนื่องจากมีการอัดตัวระหว่างเปลือกกับส่วนที่อยู่ภายใน

2. ส่วนที่บริโภคได้ หรือ ข้าวกล้อง (caryopsis, brown rice, dehulled rice, husked rice, or cargo rice) เนื่องด้วยข้าวกล้องเป็นข้าวที่ผ่านการกะเทาะเอาเปลือก (แกลบ) ออกเท่านั้น ไม่ได้มีการขัดสีใดๆต่อไป จึงยังคงมีจมูกข้าวหรือเอมบริโอ (embryo) และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวหรือที่เรียกว่ารำข้าวอยู่ ซึ่งในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยวิตามิน ไขมัน โปรตีนรวมทั้งแร่ธาตุต่างๆ (กสิกร, 2536; สุภาณี, 2551) สำหรับในส่วนนี้แบ่งออกเป็นชั้นต่างๆดังนี้ (งามชื่น, 2545; น้ำฝน, 2541; Juliano, 1985)

โครงสร้างของเมล็ดข้าว



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (Henry and Rttlewell, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. เยื่อหุ้มผล (pericarp) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้องที่พัฒนามาจากรังไข่ของดอกข้าว มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ ชั้นนอก (epicarp) ชั้นกลาง (mesocarp) และชั้นใน (endocarp) ชั้นเหล่านี้มีลักษณะเป็นเส้นใยผนังเซลล์ประกอบไปด้วย โปรตีน เซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) นอกจากนี้ยังมีไขมันรวมทั้งแร่ธาตุต่างๆ

2. เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ tegmen) ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 0.5 ไมครอน อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อาจมีแถวเดียว สองแถวหรือมากกว่านั้น เป็นส่วนที่ห่อหุ้มส่วนที่เป็นแป้ง (starch endosperm) และต้นอ่อน (embryo) เซลล์ชั้นในมีสารที่ให้สีอยู่ด้วยทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่างๆ นอกจากนี้ยังเป็นชั้นที่อุดมไปด้วยไขมัน จึงมีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำไม่ให้เข้าสู่เนื้อเมล็ด

3. ชั้นอลูโรน (aleurone layer) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด เป็นชั้นที่ห่อหุ้มส่วนที่เป็นแป้ง (starch endosperm) และต้นอ่อน (embryo) มีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง ผนังเซลล์หนา ประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส โดยในข้าวประกอบด้วยเซลล์ในชั้นนี้ 1-7 ชั้น ดังนั้นเมื่อบริโภคข้าวกล้องซึ่งไม่ได้ขัดสีเอาชั้นอลูโรนออกไป จึงรู้สึกสากกระด้างกว่าข้าวสาร ชั้นอลูโรนเป็นชั้นที่สำคัญเพราะอุดมด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด โดยภายในเซลล์จะมีเมล็ดอรูโลน (aleurone grain) อยู่มากมายซึ่งภายในเมล็ดเป็นกรดไฟติก (สารประกอบของธาตุฟอสฟอรัส) มีเกลือโพแทสเซียมและแมกนีเซียมรวมทั้งยังอุดมด้วยโปรตีนและไขมันสะสมอยู่โดยจะห่อหุ้มเมล็ดอรูโรนเอาไว้ ทั้งยังอุดมไปด้วยวิตามินต่างๆ เช่น วิตามินบี 1 (thiamine) วิตามินบี 2 (riboflavin) และวิตามินบี 3 (niacin) ซึ่งพบในชั้นนี้มากกว่าในส่วนอื่น

4. เอนโดสเปิร์ม (endosperm) เป็นส่วนเนื้อของเมล็ดข้าวหรือข้าวสาร มีอยู่ประมาณร้อยละ 82 ของเมล็ด ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ และมีโปรตีนอยู่เล็กน้อย แป้งในเมล็ดข้าวมี 2 ชนิด คือ แป้งอมิโลส และแป้งอมิโลเพคติน

5. จมูกข้าวหรือคัพพะ (embryo) ส่วนนี้จะเจริญเป็นต้นอ่อนของเมล็ดหรือจุดกำเนิดของต้นต่อไป เป็นส่วนที่มีขนาดเล็กอยู่ตรงปลายของเมล็ดด้านท้องใกล้กับรอยต่อของเมล็ด มีชั้นอลูโรนล้อมรอบอยู่ภายใต้คัพภะ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนสกูเทลลัม (scutellum) เป็นเกราะป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับคัพภะ และส่วนของคัพภะ (embryonic axis) ซึ่งพร้อมจะเจริญเป็นยอดอ่อน ต้นและรากต่อไป ในส่วนนี้จะอุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามินเพื่อการเจริญเติบโต สารอาหารที่มีมากคือโปรตีน (อยู่ในรูป protein bodies) และไขมัน (อยู่ในรูป lipid bodies) ส่วนวิตามินที่มีมาก คือ วิตามินบี และวิตามินอี (tocopheral)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพของเมล็ดข้าว

1. คุณภาพทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติภายนอกของเมล็ดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือชั่ง ตวง วัด ได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด สีข้าวเปลือก สีข้าวกล้อง ขนาดและรูปร่างเมล็ด ลักษณะท้องไข่ ความใสขุ่นของข้าวสาร คุณภาพการสี เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงความชื้นของเมล็ดข้าว ดั้งนั้นคุณภาพทางกายภาพส่วนใหญ่จึงนำมาใช้ประเมินราคาข้าวที่ซื้อขายกันในท้องตลาด เนื่องจากมีความชัดเจนและสามารถตรวจสอบได้รวดเร็ว

ในข้าวสีข้าวกล้องแสดงออกที่เนื้อเยื่อชั้น pericarp ส่วน endosperm ของข้าวทุกชนิดมีสีขาวทั้งนั้น ถึงแม้ว่าข้าวกล้องจะเป็นสีอื่นๆ ก็ตาม สีข้าวกล้องมีสีต่างๆ กัน ตั้งแต่ ขาวแดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงถึงเกือบดำ สีข้าวกล้องถูกควบคุมโดยยีนหลายคู่ ซึ่งแสดงออกในลักษณะต่างๆ ทั้ง complementary duplicate และอื่นๆ ข้าวกล้องที่มีสีแดง และม่วงจะมีสารพวก anthocyanins pigments อยู่ (อรอนงค์, 2547) สีข้าวกล้องมีความสำคัญมากทางเศรษฐกิจ ข้าวกล้องที่พบในพันธุ์ไทยส่วนใหญ่เป็นสีขาว แต่มีข้าวบางพันธุ์ที่ข้าวกล้องมีสีแดง น้ำตาล หรือสีม่วงจนเกือบดำ ซึ่งถือเป็นข้าวคุณภาพเฉพาะ และมักนิยมบริโภคเพื่อวัตถุประสงค์ทางด้านโภชนาการหรือเป็นขนมหวาน ข้าวกล้องที่มีสีนี้ หากเป็นสีล้วนๆจะมีราคาสูง แต่ถ้าปนในสีขาวจะทำให้คุณภาพหรือราคาด้อยลง ในส่วนของข้าวท้องไข่นั้นตามมาตรฐานของไทยถือว่าข้าวที่มีขนาดจุดขุ่นขาวตั้งแต่ครึ่งเมล็ดขึ้นไปเป็นข้าวท้องไข่ ซึ่งข้าวท้องไข่นี้ไม่เป็นที่นิยมเพราะทำให้ข้าวดูไม่งามและคุณภาพการสีไม่ดี สำหรับขนาดของเมล็ดอาจวัดจากความยาว กว้าง และหนาของเมล็ด แต่ในการพิจารณาคุณภาพเมล็ดทั่วไปจะหมายถึงความยาวของเมล็ด ในบางประเทศนิยมกำหนดรูปร่างเมล็ดโดยประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (งามชื่น, 2545)

2. คุณภาพทางเคมี หมายถึง คุณสมบัติและส่วนประกอบต่าง ๆ ของเมล็ดที่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มโดยมีผลทำให้ข้าวสุกนั้น นุ่ม เหนียวหรือร่วนขึ้นหม้อ และมีผลต่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งคุณภาพของเมล็ดทางเคมี ได้แก่ ชนิดและปริมาณของแป้ง โปรตีน ไขมันและกลิ่นหอม เป็นต้น (ละมุล, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเปลือกและส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 14

ส่วนต่างๆ ของข้าว	โปรตีน (N×5.95 กรัม)	ไขมัน (กรัม)	เถ้า (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิเมตร)
ข้าวเปลือก	5.8-7.7	1.5-2.3	2.9-5.2	64-73	378
ข้าวกล้อง	7.1-8.3	1.6-2.8	1.0-1.5	73-87	363-385
ข้าวสาร	6.3-7.1	0.3-0.5	0.3-0.8	77-89	349-373
รำข้าว	11.3-14.9	15.0-19.7	6.6-9.9	34-62	399-476
เปลือกข้าว	2.0-2.8	0.3-0.8	13.2-21.0	22-34	265-332

ที่มา : Juliano (1985)

แป้ง (starch)

องค์ประกอบของแป้งในเมล็ดข้าวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อมิโลเปคติน (amylopectin) และ อมิโลส (amylose) อมิโลเปคตินเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวสุกเหนียวและนุ่ม ในขณะที่อมิโลสช่วยลดความเหนียวและความนุ่มของข้าว ทำให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น ดังนั้นอัตราส่วนของอมิโลสและอมิโลเปคตินจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน แม้ว่าแป้งข้าวจะมีปริมาณของอมิโลเปคตินมากกว่าอิโลส แต่โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยถือปริมาณอมิโลสเป็นหลัก (งามชื่น, 2551) ดังจะแสดงในตารางที่ 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทของข้าวตามปริมาณอมิโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณอมิโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก	ชนิดข้าวที่รู้จักทั่วไป
ข้าวเหนียว	0 - 2	เหนียวมาก	ข้าวเหนียว
ข้าวอมิโลสต่ำ	10 - 20	เหนียวนุ่ม	ข้าวหอมมะลิ
ข้าวอมิโลสปานกลาง	20 - 25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง	ข้าวขาวตาแห้ง
ข้าวอมิโลสสูง	25 - 34	ร่วนแข็ง	ข้าวเสาไห้

ที่มา : งามชื่น (2551)

โปรตีน (protein)

โปรตีนมีผลต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานคือ ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดช้าลง ความนุ่ม ความเหนียว และความเลื่อมมันลดลง (ละมุล, 2541) แม้ว่าโปรตีนจะไม่ค่อยถูกอ้างถึงเมื่อกล่าวถึงคุณภาพข้าวสุก แต่มีบางรายงานพบว่า โปรตีนโดยเฉพาะที่อยู่ส่วนนอกของเมล็ดมีส่วนทำให้ระยะเวลาหุงต้มเมล็ดข้าวให้สุกนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนจะเป็นตัวขัดขวางการซึมเข้าออกของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ข้าวที่มีโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้นทำให้ขัดสีออกได้ยาก จึงอาจมีระดับการสีต่ำ มีรำเหลืออยู่มาก และทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวน้อยลงและมีสีคล้ำอีกด้วย (งามชื่น, 2545)

ในข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีนอยู่ร้อยละ 7.1 - 8.3 (ตารางที่ 2.1)

ไขมัน (lipid)

ไขมันเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่เล็กน้อยคือ มีประมาณร้อยละ 1.6 - 2.8 และ 0.3 - 0.5 ในข้าวกล้องและข้าวสารตามลำดับ (ตารางที่ 2.1) ไขมันภายในเมล็ดข้าวอยู่ในลักษณะเป็นหยดกลม (lipid droplets) พบอยู่ใน 2 ลักษณะ คือ อยู่ร่วมกับโปรตีนโดยแทรกอยู่ในชั้นอลูโรนหรืออยู่บริเวณผิวเม็ดแป้งหรือขอบของเม็ดแป้ง ซึ่งเรียกไขมันพวกนี้ว่า “non-starch lipid หรือ surface lipid” นอกจากนี้ยังพบไขมันภายในเม็ดแป้งโดยจะเชื่อมพันธะอยู่กับโมเลกุลของอมิโลสและพบไขมันอยู่อย่างอิสระภายในโมเลกุลแป้งซึ่งไขมันพวกนี้ถูกเรียกว่า “starch lipid หรือ internal lipid” (Chrastil, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารระเหยในเมล็ดข้าว (aroma)

ข้าวทั่วไปอาจมีสารระเหยหลายชนิด เคยมีผู้ทำการวิเคราะห์ไอที่ได้จากการหุงข้าว Koshihikari ของญี่ปุ่น พบว่า มีสารอยู่ร้อยกว่าชนิด ซึ่งประกอบด้วยสาร hydrocarbon 13 ชนิด alcohol 13 ชนิด aldehyde 16 ชนิด ketone 14 ชนิด กรด 14 ชนิด ester 8 ชนิด phenol 5 ชนิด pyridine 3 ชนิด pyrazine 6 ชนิด สารแต่ละชนิดจะมีกลิ่นแตกต่างกัน เช่น 2-acetylthiazole และ benzothiasole จะมีกลิ่นรำ สำหรับข้าวหอมมีสาร 2-accetyl-1-pyrolline มากกว่าข้าวทั่วไป ในข้าวสารหอมหนึ่งกรัมอาจมีสารนี้ 0.04-0.09 ไมโครกรัม และในข้าวกล้องอาจมีปริมาณ 0.1-0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม สารหอมชนิดนี้ยังพบในปริมาณสูงมากในพืชตระกูลใบเตย (Pandonus amaryllifolius Roxb. Fragrant screwpine) ซึ่งมีอยู่ปริมาณสูงถึง 1 ไมโครกรัม/กรัม (งามชื่น, 2545)

3. คุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าว เป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อทั้งนี้เพราะความชอบของแต่ละคนแตกต่างกัน โดยข้าวแต่ละพันธุ์จะมีคุณภาพหุงต้มและรับประทานต่างกัน เนื่องจากส่วนของเอนโดเสปิร์ม (endosperm) มีแป้งอยู่เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ประมาณ 90 % โดยน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ปัจจัยที่ทำให้เมล็ดข้าวมีคุณสมบัติการหุงต้มและรับประทานต่างกัน ได้แก่ ความคงตัวของแป้งสุก อุณหภูมิในการเกิดเจล การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก คุณสมบัติทางด้านความหนืด เป็นต้น (Henry and Rettlewell, 1996)

ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency)

แม้ปริมาณอมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพข้าวสุก แต่ในระหว่างข้าวที่มีปริมาณอมิโลสเท่ากัน อาจมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน การทดสอบความแข็งของแป้งสุกสามารถทดสอบได้โดยการหาความคงตัวของแป้งสุก และสามารถจัดแบ่งข้าวตามระยะทางที่แป้งไหลไปออกเป็น 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.3 แป้งที่มีค่าความคงตัวอ่อน เมื่อสุกแล้วจะนุ่มกว่าข้าวที่มีค่าความคงตัวแข็ง หากข้าวทั้งสองมีปริมาณอมิโลสอยู่ในระดับเดียวกัน ดังนั้น การพิจารณาค่าความคงตัวแป้งสุกจะต้องคำนึงถึงปริมาณอมิโลสด้วย (งามชื่น, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทข้าวเจ้าตามความคงตัวแป้งสุก

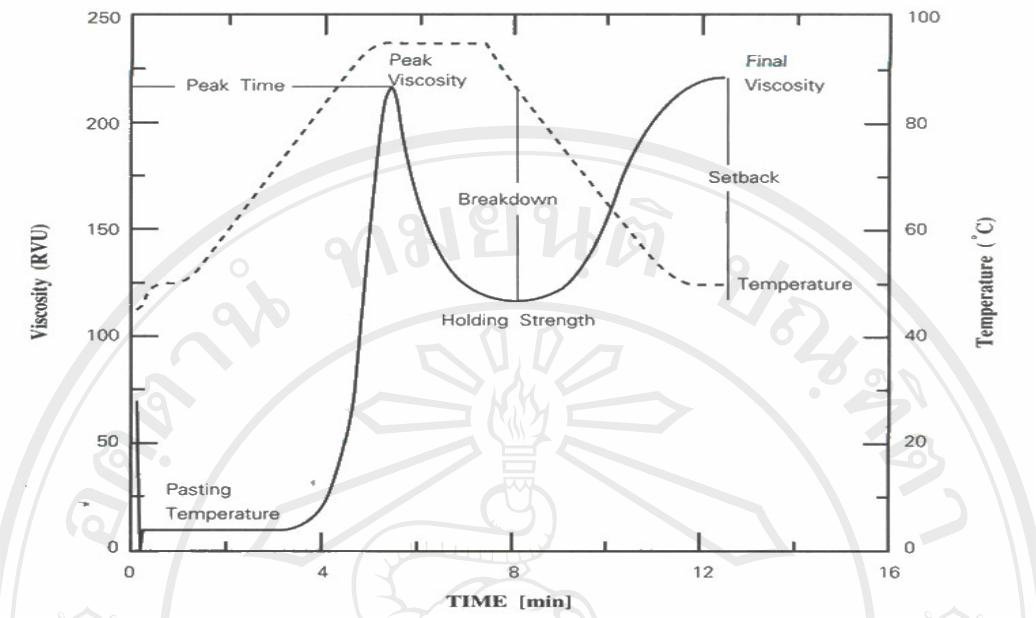
ความคงตัวของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)
แป้งสุกแข็ง	26 - 40
แป้งสุกปานกลาง	41 - 60
แป้งสุกอ่อน	61 - 100

ที่มา : งามชื่น (2545)

ความหนืดของแป้ง (viscosity)

คุณสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งสุกเป็นคุณสมบัติสำคัญของแป้ง เมื่อได้รับความร้อนและมีการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอจากอุณหภูมิ 50 °C ไปถึง 95 °C และคงที่ที่ 95 °C เป็นเวลา 2.5 นาที จึงลดอุณหภูมิลงเป็น 50 °C อีกครั้ง โดยทั่วไปโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ในขณะอยู่ในน้ำเย็นแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach *et al*., 1959) แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลงทำให้เม็ดแป้งสามารถดูดซึมน้ำและพองตัวได้มากขึ้น น้ำที่อยู่รอบๆเม็ดแป้งจะเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดเจลาทิไนเซชัน (gelatinization) และอุณหภูมิที่ทำให้สารเริ่มเกิดเจลลาทิไนซ์เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature) จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเม็ดแป้งจะพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่ ซึ่งจะเป็นจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ณ จุดนี้อัตราการพองตัวจะสมดุลกับอัตราการแตกตัว และเมื่อเพิ่มความร้อนต่อไปและมีการกวนอย่างต่อเนื่อง เม็ดแป้งจะยิ่งพองมากขึ้นจนทำให้โครงสร้างภายในแตกออก โมเลกุลของอมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง และเมื่ออุณหภูมิลดลงโมเลกุลอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ซึ่งโครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำแต่จะไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีกทำให้มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) (Smith, 1979) โดยการวัดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (Newport Scientific Pty, Ltd., 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ค่าต่างๆ ที่สามารถอธิบายได้จากกราฟมีดังนี้

Pasting temperature	: อุณหภูมิที่ค่าความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้น 2 Rapid Visco Unit (RVU) ภายในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (^{o}C)
Peak viscosity	: ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งสุกเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้งจนถึงอุณหภูมิ 95 ^{o}C มีหน่วยเป็น centipoises (cP)
Final viscosity	: ค่าความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น centipoises (cP)
Breakdown	: ความแตกต่างระหว่างค่า Peak viscosity กับค่า Holding strength
Setback	: ความแตกต่างระหว่างค่า Final viscosity กับค่า Peak viscosity มีหน่วยเป็น centipoises (cP)
Setback from trough	: ความแตกต่างระหว่างค่า Final viscosity กับค่า Holding strength มีหน่วยเป็น centipoises (cP)

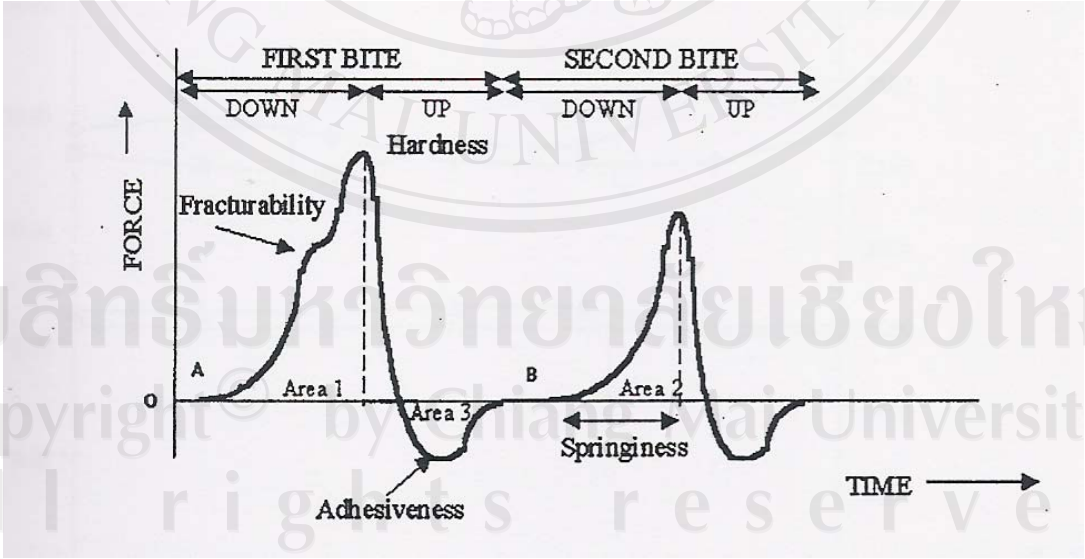
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยค่าสำคัญที่จะนำมาพิจารณา ได้แก่ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนความหนืด (pasting temperature), ความหนืดสูงสุด (peak viscosity), ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 ^{o}C (Holding strength), ความแตกต่างของ peak viscosity และ Holding strength (Breakdown), ความหนืดสุดท้าย

(final viscosity), ผลต่างของ peak viscosity และ final viscosity (setback) และผลต่างของ final viscosity และ holding strength (Setback from trough) ทั้งนี้ค่า breakdown จะอธิบายถึงความทนทานของเมล็ดแป้งต่อการกวน และค่า setback จะอธิบายการคืนตัวของแป้งสุกที่เย็นลงและทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนืดสูงสุด ได้แก่ การเก็บรักษาข้าว ปริมาณโปรตีนและอมิโลส ซึ่งปริมาณ อมิโลสก็มีส่วนสำคัญต่อความหนืด กล่าวคือ ขนาดเมล็ดแป้งที่ใหญ่มีกำลังพองตัวสูงและให้ค่า peak viscosity สูง ปริมาณอมิโลสจะมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชั่น (retrogradation) ถ้าแป้งชนิดใดมีปริมาณอมิโลสสูงย่อมแสดงค่า final viscosity สูงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณอมิโลสจึงมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้งสุก โดยแป้งที่มีปริมาณอมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอมิโลสต่ำซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างแป้งข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูงด้วยกัน แป้งข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกเป็นชนิดอ่อนจะมีค่า peak viscosity และค่า setback ต่ำกว่าแป้งที่มีความคงตัวของแป้งสุกเป็นชนิดแข็ง

ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (texture of cooked rice)

ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกสามารถวัดโดยเครื่อง Texture analyzer ทำการวัดแบบ Texture Profile Analysis (TPA) จะได้ค่าตัวแปรทางเนื้อสัมผัสโดยจะแสดงผลออกมาดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างกราฟจากการวัด Texture Profile Analysis (TPA)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพมีนิยามเกี่ยวกับ Texture Profile Analysis (TAP) ต่างๆ ดังต่อไปนี้

Hardness : แรงสูงสุดของการกดครั้งแรก มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

Adhesiveness : งานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่าง (Area3) มีหน่วยเป็นนิวตันต่อวินาที (N/s)

Stickiness : แรงที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากตัวอย่าง มีหน่วยเป็นนิวตันต่อวินาที (N/s)

Cohesiveness : แรงยึดเกาะกันภายในเนื้อของอาหาร (Area2 / Area3)

ประโยชน์ของข้าวกล้อง

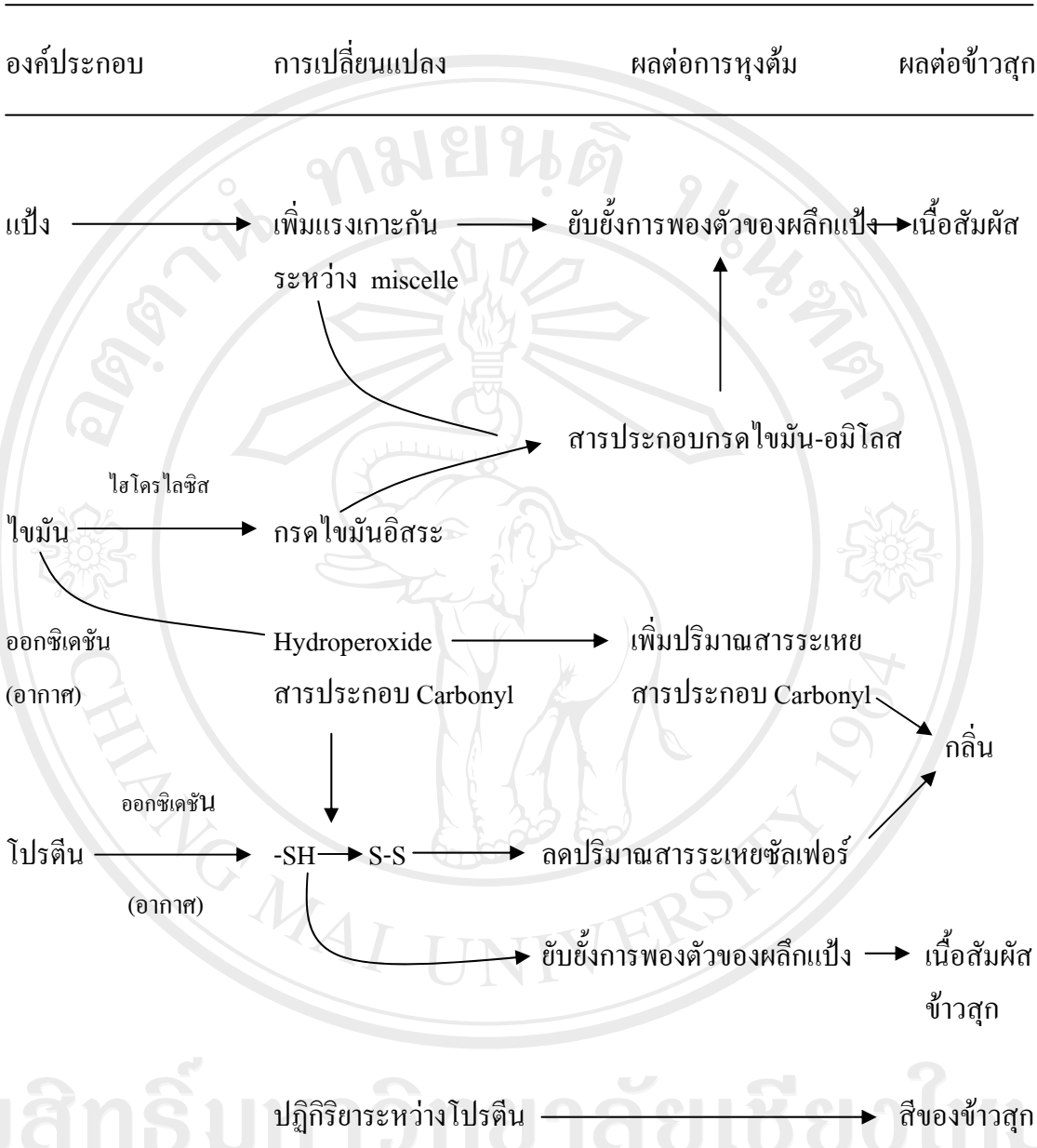
การบริโภคข้าวกล้องจะได้คุณค่าทางอาหารหลายอย่าง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ให้พลังงานแก่ร่างกาย โปรตีนช่วยเสริมสร้าง ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอได้ ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย นอกจากนี้ยังได้รับประโยชน์จากสารอาหารอื่น ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีอยู่มากเป็นส่วนใหญ่ในข้าวกล้อง คือ วิตามินต่างๆ ได้แก่ วิตามินบี 1 (thiamin) ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา ช่วยในขบวนการเปลี่ยนแป้งในร่างกายให้เป็นพลังงาน และช่วยในการทำงานของระบบประสาทในการบังคับกล้ามเนื้อ วิตามินบี 2 (riboflavin) ช่วยป้องกันโรคปากนกกระจอกและช่วยในการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน ไนอาซิน (niacin) ช่วยในการทำงานของระบบผิวหนังและระบบประสาท นอกจากได้วิตามินแล้วข้าวกล้องยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกาย คือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ส่วนในจมูกข้าวยังมีวิตามินอี เซเลเนียม และแมกนีเซียมประกอบอยู่ด้วย แร่ธาตุต่างๆเหล่านี้ช่วยเสริมสร้างการทำงานในระบบต่างๆของร่างกาย ส่วนเส้นใยอาหารซึ่งเป็นสารประกอบน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เชิงซ้อน (polysaccharides) ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของพืชและมีอยู่มากในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวของข้าวกล้อง เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วจะผ่านกระเพาะและลำไส้เล็กได้ง่าย เนื่องจากน้ำย่อยไม่สามารถย่อยเส้นใยอาหารได้ทั้งหมดจึงถูกขับออกมา และช่วยพาสิ่งที่ตกค้างอยู่ในลำไส้ออกไปเป็นกากอาหาร ทำให้ขับถ่ายสะดวก ป้องกันอาการท้องผูกและช่วยป้องกันการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ด้วย นอกจากนี้ข้าวกล้องยังมีบทบาทในการป้องกันไม่ให้เกิดโรคเบาหวาน และโรคไขมันในเส้นเลือดอีกด้วย (จุดรวมแหล่งข้อมูลทางการแพทย์และยา, ไม่ระบุปีที่ตีพิมพ์; ชมรมอยู่ร้อยปี ชีวีเป็นสุข, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมล็ดในระหว่างการเก็บรักษา

ภายหลังการเก็บเกี่ยวภายในเมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น โดยเฉพาะในระยะเวลา 3 - 4 เดือน หลังการเก็บเกี่ยว เอนโดสเปิร์มจะแกร่งขึ้นทำให้คุณภาพการสีดีขึ้น เมื่อเก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 15 องศาเซลเซียส หากเมล็ดไม่ถูกทำลายโดยแมลงหรือเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวจะเกิดขึ้นจากขบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 องค์ประกอบ คือ แป้ง ไขมัน และโปรตีน ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ผลการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มีส่วนกระทบกระเทือนต่อคุณสมบัติการหุงต้มและข้าวสุกของเมล็ด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพอาจเนื่องมาจากแป้งและโปรตีนในเมล็ดข้าวมีการปรับสภาพการละลายและการเกิดเจลให้มีความคงตัวและละลายน้ำได้น้อยลง เมล็ดข้าวจะดูดน้ำได้มากขึ้นโดยไม่แตกตัว มีผลให้ข้าวเก่าต้องการน้ำในการหุงต้มมากกว่าข้าวใหม่ ลักษณะข้าวสุกจะแข็งและร่วนมากขึ้นหรือเหนียวเกาะติดกันน้อยลง ข้าวสุกขยายปริมาตร (bulk volume) ได้มากขึ้นหรือขึ้นหม้อดีขึ้น ความหนืดและความคงตัวของแป้งจะเพิ่มขึ้น (งามชื่น, 2545; Indudhara *et al*., 1978) ในระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยเม็ดแป้งจะเกิดการจับกันแข็งแรงขึ้น จากการศึกษาของ Kondo and Okamura (1937) พบว่าความแข็งของข้าวกล้องต่อการแตกหักและแรงบดจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยความแข็งนี้จะช่วยเพิ่มความทนทานต่อแรงต่างๆ ในกระบวนการสีซึ่งจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเพิ่มขึ้น และกรดไขมันอิสระที่เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิสของไขมันจะจับกับอมิโลส มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนไป นอกจากนี้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันของไขมันไปมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารระเหยพวกสารประกอบคาร์บอนิล และสามารถเร่งการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของโปรตีนได้ ซึ่งมีผลต่อกลิ่นของข้าวที่อยู่ในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้กระบวนการออกซิเดชันของโปรตีนยังมีผลทำให้โครงสร้างภายในเกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้เกิดการพองตัวของเม็ดแป้งลดลง ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน (พัสกร, 2546) ในระหว่างการเก็บรักษาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน และปริมาณอมิโลสของแป้งมีค่าใกล้เคียงกับข้าวใหม่ แต่ปริมาณน้ำตาลที่ไม่สามารถถูกรีดิวซ์และกรดอะมิโนอิสระจะลดลง นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บรักษาแป้งจะเปลี่ยนเป็น dextrin และมอลโทสโดยเอนไซม์อมัยเลส ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นของข้าวและอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น ซึ่งกรดไขมันอิสระนี้จะใช้เป็นตัววัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา (Ohtsubo, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

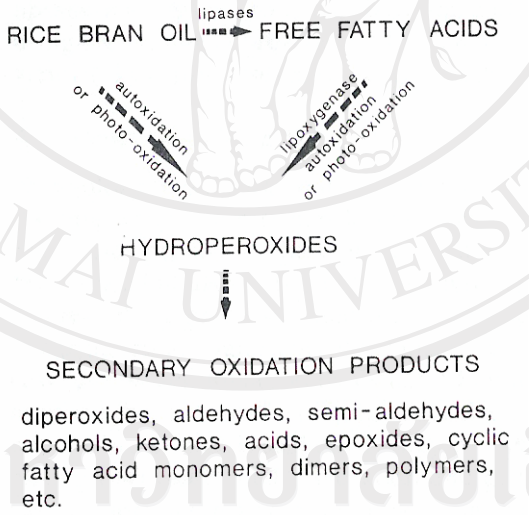


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา (Pomeranz , 1992)

การเกิดกลิ่นหืนของข้าวกล้อง

การเกิดกลิ่นเหม็นหืนนั้นเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันโดยกระบวนการ lipolytic hydrolysis และ กระบวนการออกซิเดชัน เนื่องจากเมล็ดข้าวกล้องมีปริมาณไขมันสูง ในระหว่างการเก็บรักษาไขมันในข้าวกล้องจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไลเปส เพื่อเปลี่ยนไขมันเป็นกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีจำนวนคาร์บอน 4-12 อะตอม จะมีกลิ่นเหม็นหืนมาก จากนั้นกรดไขมันอิสระจะถูกออกซิไดส์โดยมีเอนไซม์ lipoxygenase ความร้อน แสงและโลหะ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เป็นสารประเภทไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ (peroxide free radical) และเป็นสารที่ไม่เสถียรจึงเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง เกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ และสลายตัวให้สารประกอบที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยลงรวมไปถึงสารจำพวกกรด อัลดีไฮด์และคีโตน สารเหล่านี้ระเหยได้และทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ศศิเกษม และ พรรณี, 2530; Champagne, 1994)

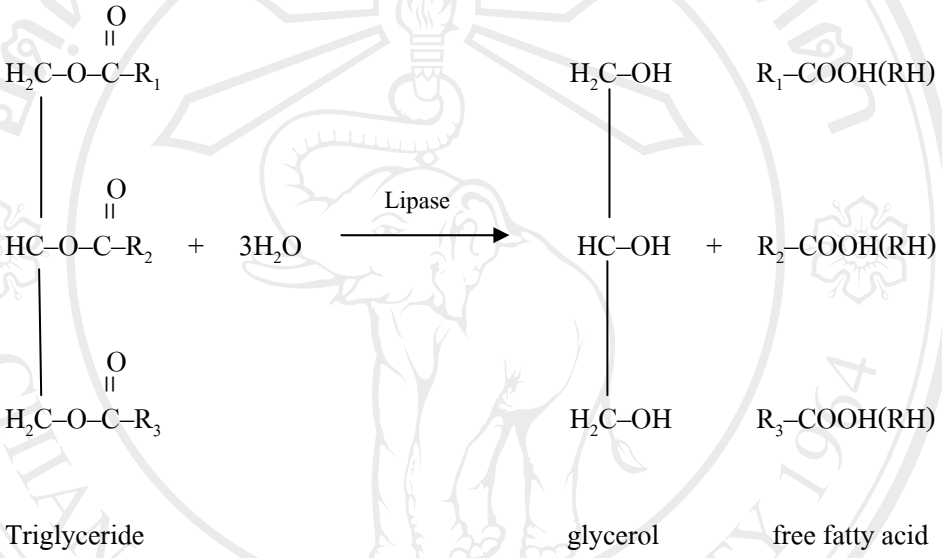


ภาพที่ 2.5 กลไกการเกิดกระบวนการ Lipolytic Hydrolysis และ Oxidation ของน้ำมันในข้าว (Champagne, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลไกการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน (Lipolytic Hydrolysis)

Lipolytic hydrolysis เป็นปฏิกิริยาการไฮโดรไลสิสไขมันและน้ำมันด้วยเอนไซม์ไลเปส และความชื้น ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ในไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัว ได้เป็นไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ (นิธิยา, 2541) เอนไซม์ไลเปสจะมีอยู่ในบริเวณเทสตาของเมล็ดข้าว หรือได้จากจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ชนิดนี้ซึ่งปนเปื้อนอยู่ที่บริเวณผิวของเมล็ดข้าว (Champagne, 1994)



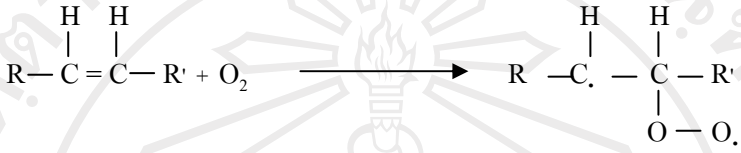
กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา, 2541)

การเกิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของลิปิดหรืออาหารที่มีลิปิด ทำให้อาหารเสียคุณภาพ (deterioration) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อลิปิดหรืออาหารสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเกิด free-radical chain reaction ซึ่งมีกลไกการเกิดได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

- initiation เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical)
- propagation เป็นปฏิกิริยาของ free-radical chain reaction
- termination เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้เกิด non-radical products

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปฏิกิริยาเริ่มต้นของออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว จะทำให้เกิด hydroperoxide โดย unsaturated hydrocarbon จะสูญเสียไฮโดรเจนอะตอม ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) และออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่เกิดเป็น diradical ดังนี้



หลังจากนั้นก็จะเกิดปฏิกิริยาของ free radical กับออกซิเจนต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ได้เป็น peroxy radical (ROO.), hydroperoxide (ROOH) และ hydrocarbon radical (R.) radical ที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนต่อไป และเมื่อใดที่ free radical มาทำปฏิกิริยากันเองเกิดและเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่ใช่ free radical ปฏิกิริยาต่อเนื่องก็จะยุติลง เมื่อไม่มี free radical เหลือสำหรับทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนแล้ว หากยังมีออกซิเจนเหลืออยู่มากพอก็จะเริ่มต้นปฏิกิริยาขั้นที่ 1 (intiation reaction) เกิดเป็น free radical ใหม่

สำหรับ ketonic rancidity เป็นการเกิดปฏิกิริยา enzymatic oxidation ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ได้สารประกอบจำพวกคีโตน ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของข้าวกล้อง

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของข้าวกล้อง ได้แก่ ตัวผลิตภัณฑ์ซึ่งในที่นี้คือข้าวกล้อง เอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในข้าวกล้อง ความชื้นของข้าวกล้อง ภาชนะบรรจุ แสง ออกซิเจน อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา จุลินทรีย์และไข่แมลงที่ปนเปื้อนอยู่ที่ผิวของเมล็ด (Hunter *et al*., 1951)

1. ตัวผลิตภัณฑ์ (ข้าวกล้อง) เป็นปัจจัยขั้นแรกที่มีผลอย่างมากต่ออายุการเก็บรักษา ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพวัตถุดิบ องค์ประกอบ และลักษณะเฉพาะตัวตามธรรมชาติ

2. เอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในข้าวกล้อง ข้าวกล้องมีอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปสซึ่งจะเป็นตัวเร่งให้เกินปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันในเมล็ดข้าว ข้าวเมื่อยังไม่ได้กะเทาะเปลือกเอนไซม์ไลเปสและไขมันจะอยู่คนละส่วนกันจึงไม่ทำปฏิกิริยากัน โดยเอนไซม์ไลเปสจะอยู่ในชั้นเทสตา ส่วนไขมันจะอยู่ในเยื่ออลูโรนและจมูกข้าว แต่เมื่อข้าวถูกกะเทาะเปลือกแล้วผิวชั้นนอกจะถูกรบกวนทำให้ไขมันกับเอนไซม์มาเจอกัน เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันโดยมีเอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไขมันซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์เกิดการสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีจำนวนคาร์บอน 4 - 12 อะตอม จะมีกลิ่นเหม็นหืนมาก เอนไซม์ไลเปสนอกจากจะมีอยู่ในข้าวแล้วยังได้มาจากจุลินทรีย์พวกที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสที่ปนเปื้อนมาบนผิวของเมล็ดข้าวอีกด้วย จากนั้นกรดไขมันอิสระจะถูกออกซิไดส์โดยมีเอนไซม์ lipoxygenase ความร้อน แสงและโลหะ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เป็นสารประเภทไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ (peroxide free radical) และเป็นสารที่ไม่เสถียรจึงเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง เกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ และสลายตัวให้สารประกอบที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยลงรวมไปถึงสารจำพวกกรด อัลดีไฮด์และคีโตน สารเหล่านี้ระเหยได้และทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน

3. ภาชนะบรรจุ เป็นปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา เนื่องจากภาชนะบรรจุทำหน้าที่เสมือนเกราะคุ้มกันให้อาหาร สามารถลดหรือป้องกันก๊าซออกซิเจน แสงสว่างและความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้

คุณสมบัติที่สำคัญในการเลือกใช้ภาชนะบรรจุ

- อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR) เนื่องจากความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่างๆในอาหารให้เกิดเร็วขึ้น หรือทำให้เกิดการเจริญของเชื้อราได้ ดังนั้นฟิล์มพลาสติกที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุจึงต้องมีคุณสมบัติป้องกันความชื้นได้ดี ซึ่งจะดูได้จากอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำหมายถึงปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวหน้าหนึ่งไปยังอีกผิวหน้าหนึ่งของหน่วยพื้นที่ผิวของฟิล์มหรือพลาสติกในระยะเวลาที่กำหนดภายใต้สภาวะที่คงที่ มีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ ค่า WVTR จะถูกนำมาประกอบการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุเพื่อคุ้มครองผลิตภัณฑ์ไม่ให้เสื่อมคุณภาพในระยะเวลาที่กำหนด และสามารถที่จะคาดคะเนอายุการเก็บรักษาได้ โดยค่านี้มีความสัมพันธ์กับความหนาของฟิล์ม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อม (อมรรัตน์ และ วิวัธน์, 2522) ตัวอย่างของพลาสติกที่มีคุณสมบัติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ป้องกันความชื้นได้ดีควรมีค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำประมาณ 0.4 กรัม/1.6 ตร.ซม./24 ชั่วโมง ที่ 37.7 องศาเซลเซียส ณ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อยละ 95 (ปุ่นและสมพร, 2541) เช่น ฟิล์มพลาสติก PE (Polyethylene), PP (Polypropylene), PET (Polyethylene Terephthalate), Saran เป็นต้น

- อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (Gas Transmission Rate, GTR) หมายถึงปริมาณของก๊าซที่ซึมผ่านจากผิวหน้าหนึ่งไปยังอีกผิวหน้าหนึ่งของหน่วยพื้นที่ผิวของฟิล์มหรือพลาสติกในระยะเวลาที่กำหนดภายใต้ผลต่างของความดันหนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวันต่อบรรยากาศที่อุณหภูมิในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงเป็นคุณสมบัติที่บอกถึงความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซในบรรยากาศรอบๆระหว่างบรรจุภัณฑ์ ก๊าซที่นิยมวัด ได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ค่านี้มีความสำคัญเนื่องจากก๊าซออกซิเจนในอากาศสามารถทำปฏิกิริยากับไขมันทำให้เกิดกลิ่นหืน ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเองตลอดเวลาและจะเกิดเร็วขึ้นถ้าอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ความชื้นสูง กระทบแสง หรือมีโลหะ (นิธิยา, 2541) นอกจากนี้ยังทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมันลดลง เนื่องจากเป็นการสูญเสียกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย รวมถึงวิตามินต่างๆที่ละลายในไขมันและน้ำมันอีกด้วย (Hartman *et al*., 1994)

ในปัจจุบันมีการนำฟิล์มพลาสติกหลายชนิดมาใช้ทำภาชนะบรรจุซึ่งก็ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ จากการทดลองของภัทราพร (2540) พบว่าข้าวสารที่เก็บในถุงพลาสติกสาน ถุงโพลีเอทิลีน ถุงไนลอน และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ในสภาพออกซิเจนต่ำ อุณหภูมิ 15 ˚C เป็นเวลานาน 6 เดือนนั้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความขาวของข้าวสาร อุณหภูมิแป้งสุก ปริมาณโปรตีน ไขมันเถ้า สตาร์ช และอมิโลสในทุกสภาพการเก็บ แต่พบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณกรดไขมันอิสระมากที่สุดในถุงพลาสติกสาน เมื่อระยะเวลาการเก็บนานเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงอัตราการขยายปริมาตรข้าวสุก ความหนืดสูงสุดของแป้งสุก ความคงตัวแป้งสุก ความแข็งของข้าวสุก และปริมาณเมล็ดเหลืองเพิ่มมากขึ้นทุกสภาพการเก็บรักษา จากการทดลองของงามชื่นและคณะ (2542) พบว่า ข้าวสารที่บรรจุในถุงกระสอบพลาสติกจะเกิดการพัฒนากรดไขมันอิสระอย่างรวดเร็ว สำหรับถุงโพลีเอทธิลีน ถุงไนลอน และถุงอลูมิเนียมฟอยส์ไม่ว่าปิดผนึกวิธีใดจะมีการเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระในอัตราที่ช้ากว่าและต่อเนื่องคล้ายคลึงกัน และหากเปรียบเทียบข้าวที่บรรจุในถุงไนลอนและถุงอลูมิเนียมฟอยส์ในแต่ละสภาพการปิดผนึก น้ำมันสกัดจากข้าวสารที่บรรจุในถุงไนลอนมีแนวโน้มที่จะมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าข้าวที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยส์เล็กน้อย ในปี 2543 สุจินดาและคณะทดลองหาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมสำหรับบรรจุข้าวเกรียบฟักทอง พบว่าภาชนะบรรจุ CPP หนา 2 มม. มีคุณภาพดีเทียบเท่า OPP/VMCPP (Oriented Polypropylene หนา 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไมครอน ประกบกับ Cast Polypropylene หนา 25 ไมครอนพ่นเคลือบด้วยไออลูมิเนียม) สามารถเก็บรักษาข้าวเกรียบได้นาน 9 สัปดาห์ ที่ 32-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ และราคาถูกกว่า แต่หากต้องการยืดอายุการเก็บรักษาให้นานกว่า 9 สัปดาห์ควรใช้ภาชนะบรรจุ OPP/VMCPP ต่อมาในปี 2546 ประไพพักตร์และคณะได้ทดลองบรรจุข้าวเม่าอ่อนที่มีความชื้น 24 เปอร์เซ็นต์ในถุงอลูมิเนียม (ประกอบด้วย PET/PE/AL/LLDPE) ทดแทนถุงร้อนใสธรรมดา พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส จากเดิม 7 วัน เป็น 75 วัน โดยสภาพของความชื้นภายในถุงค่อนข้างคงที่

4. ความชื้นของข้าวกล้อง ความชื้นที่มีในข้าวกล้องขึ้นอยู่กับความชื้นที่มีในเมล็ดข้าวกล้องและความชื้นในอากาศ ซึ่งปริมาณความชื้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้และมีผลต่อการเก็บรักษาของข้าว โดยความชื้นจะช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่างๆให้เกิดเร็วขึ้น และยังเป็นปัจจัยที่ช่วยทำให้จุลินทรีย์เจริญอีกด้วย ความชื้นจะไปช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันให้เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ ส่งผลให้เกิดการเหม็นหืน โดยพบว่าอัตราการเกิดกรดไขมันอิสระของข้าวจะสูงขึ้นเมื่อความชื้นในเมล็ดมีมากขึ้นหรือที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง (Hunter *et al*., 1951)

5. อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมี โดยจะไปมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ และอุณหภูมิยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อีกด้วย การเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำข้าวกล้องจะมีการเปลี่ยนแปลงกลิ่น ปริมาณกรดไขมันอิสระและ Conjugated diene hydroperoxides น้อย และจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาสูงขึ้น แต่ถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงมากจะมีผลทำให้เอนไซม์เสื่อมสภาพไม่สามารถทำงานได้ ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นน้อยลง Yasumatsu *et al.* (1964) พบว่าคุณสมบัติความหนืดของแป้งจากข้าวใหม่มีความหนืดน้อยกว่าแป้งจากข้าวเก่า และการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส ความหนืดของแป้งจะต่ำกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษามีผลทำให้ความหนืดของแป้งสูงขึ้น

ละมุล (2541) รายงานว่า ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่บรรจุในถุงพลาสติก polyethylene แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 เดือน พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สูงกว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ค่าความคงตัวของเจลของข้าวกล้องมีค่าลดลงทั้งอุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส

6. จุลินทรีย์และไข่แมลงที่มีอยู่ในข้าวกล้อง จุลินทรีย์ที่อยู่บนเมล็ดข้าวมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีขึ้นภายในเมล็ด เช่น แป้งหรือคาร์โบไฮเดรทเปลี่ยนเป็นกรดหรือก๊าซ โปรตีนถูกทำลาย ปริมาณน้ำตาลลดลง รวมทั้งเกิดกลิ่นเหม็นหืน จุลินทรีย์ที่อยู่บนเมล็ดข้าวสามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส เอนไซม์นี้ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมัน ทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไขมันสลายตัวเป็นกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน นอกจากนี้ยังมีเชื้อรา ในโรงเก็บบางชนิดที่สร้างสารพิษอีกด้วย (สมบัติ, 2535)

วิธีการรักษาคุณภาพของข้าวกล้องต่อความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน (Lipolytic Hydrolysis)

วิธีการรักษาคุณภาพของข้าวกล้องต่อความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมันนั้น ทำได้โดยการยับยั้งไม่ให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว โดยการกำจัดไขมันและน้ำมันซึ่งเป็นสารตั้งต้น หรือ การทำให้เอนไซม์ไลเปสเสื่อมสภาพ ไม่สามารถทำงานได้ สามารถแบ่งออกเป็นวิธีต่างๆ 3 วิธี ดังนี้ (Champagne, 1994)

1. การใช้ความร้อน

ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการหุงต้มแบบเร็วมาประยุกต์ใช้กับข้าวกล้อง เพื่อทำให้ข้าวกล้องเกิดความคงตัวต่อปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน (lipolytic hydrolysis) เนื่องจากความร้อนจะทำให้เอนไซม์ไลเปสเสื่อมสภาพไม่สามารถทำงานได้ การใช้ความร้อนแบ่งออกเป็นวิธีการใช้ความร้อนแบบแห้งหรือแบบไอร้อน และการแช่หรือการต้ม ซึ่งการแช่และใช้ความร้อนด้วยไอน้ำหรือการต้ม จะทำให้เอนไซม์ไลเปสที่อยู่ในเมล็ดเสื่อมสภาพ เม็ดแป้งเกิดการเจลลาติไนส์อย่างเต็มที่ โครงสร้างเมล็ดยอมให้น้ำผ่านอย่างรวดเร็ว แต่มีการสูญเสียวิตามินและแร่ธาตุในระหว่างขั้นตอนการแช่และการหุงต้มและยังทำให้ผิวของเมล็ดข้าวกล้องเกิดรอยแตกรอยแยก เป็นรูพรุน Roberts *et* al. (1980) พบว่าการนำข้ากล้องมาทำแช่การต้มแล้วทำให้แห้งจะทำให้เกิดการสูญเสีย thiamin, riboflavin, potassium และ iron 31, 67, 22 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการใช้ความร้อนแบบแห้งโดยให้ไอร้อนอุณหภูมิ 90-315 องศาเซลเซียสแก่ข้าวกล้องแล้วตามด้วยไอเย็นทำให้เอนไซม์ไลเปสที่อยู่ในเมล็ดเสื่อมสภาพ เม็ดแป้งไม่เกิดการเจลลาติไนส์แต่มีการสูญเสียวิตามินและแร่ธาตุ บริเวณผิวของเมล็ดข้าวกล้องเกิดรอยแตกรอยแยก endosperm มีสีขุ่นขาว เมล็ดเกิดลักษณะท้องไข่ หากใช้อุณหภูมิที่สูงมากเมื่อนำมาหุงต้มข้าวกล้องจะมีลักษณะพองและมีกลิ่นไหม้

2. การใช้สารอินทรีย์

วิธีนี้เป็นการสกัดไขมันซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน (lipolytic hydrolysis) ออกไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Kester (1951) ได้ทำการทดลองใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์สกัดไขมันในข้าว พบว่า สามารถสกัดไขมันออกมาได้ 40 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลาการเก็บรักษา 180 วัน มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการสกัดซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากเดิม 22.3 เปอร์เซ็นต์ แต่จะทำให้เกิดการสูญเสียวิตามิน

Champagne *et al*. (1991) ได้ทดลองสกัดไขมันในข้าวโดยใช้สารละลายเฮกเซนที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า สามารถสกัดไขมันออกจากข้าวได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของไขมันทั้งหมดที่บริเวณผิว โดยที่เม็ดแป้งไม่เกิดการเจลลาติไนส์ ไม่มีการสูญเสียโปรตีน กากใย แป้งรวมทั้งแร่ธาตุ แต่จะมีการสูญเสียวิตามินบีหนึ่งถึง 21 เปอร์เซ็นต์

3. การใช้เอทานอล

การใช้เอทานอลนั้นสามารถใช้ได้ทั้งสารละลายเอทานอลและไอเอทานอล โดยเอทานอลจะไปมีผลทำให้เอนไซม์ไลเปสเสื่อมสภาพ ไม่สามารถทำงานได้ และยังมีฤทธิ์ในการกำจัดแบคทีเรียและเชื้อราที่สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสที่อยู่บริเวณผิวของข้าวกล้องได้ อีกทั้งการใช้เอทานอลยังไม่ทำให้เม็ดแป้งเกิดการเจลลาติไนส์และไม่มีการสูญเสียแร่ธาตุ แต่ถ้าใช้ในรูปของสารละลายเอทานอลจะทำให้เกิดการสูญเสียวิตามิน และถ้าใช้สารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิสูงก็จะทำให้เกิดการสูญเสียไขมันด้วย นอกจากนี้การใช้เอทานอลยังทำให้เกิดรอยแตก รอยแยกที่บริเวณผิวของเมล็ดยิ่งถ้าใช้ร่วมกับอุณหภูมิสูงความกว้างของรอยแยกก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการใช้สารละลายเอทานอลจะช่วยคงคุณภาพข้าวต่อความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยา lipolytic hydrolysis ได้ แต่การใช้สารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากความร้อนจะทำลาย tocopherols ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในพวก antioxidant ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว และทำยังทำให้ hemoprotiens เกิดการเสื่อมสภาพ อีกทั้งยังทำให้ไขมันเกิดการกระจายตัวและเคลื่อนย้ายมาสู่บริเวณผิวของเมล็ดทำให้ไขมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น นอกจากนี้ผิวของเมล็ดที่เกิดรอยแตก รอยแยกก็จะมีผลให้ไขมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้นเช่นกัน (Champagne, 1994)

Champagne *et al*. (1991) พบว่า ข้าวกล้องที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ ส่วนข้าวกล้องที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิห้องและข้าวกล้องที่ไม่ได้สกัดด้วยสารละลายเอทานอลจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลานาน 6 เดือน ปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมถ้าเก็บรักษาข้าวกล้องไว้ที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส เมล็ดข้าวกล้องที่ทำการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลจะมีรอยแตก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านกรรมวิธีนี้ สำหรับความกว้างของรอยแตกนั้นก็จะเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ กล่าวคือ เมล็ดข้าวกล้องที่ทำการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะเกิดรอยแตกกว้างกว่าเมล็ดข้าวกล้องที่ทำการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้การสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิห้องจะทำให้ปริมาณไขมันในเมล็ดข้าวลดลงไปประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณวิตามินบีหนึ่งเหลืออยู่ 91 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การสกัดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณไขมันลดลงไปประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณวิตามินบีหนึ่งเหลืออยู่ 91 เปอร์เซ็นต์ การสกัดข้าวกล้องด้วยสารละลายเอทานอลไม่ทำให้เกิดการสูญเสียโปรตีน คาร์โบไฮเดรต การใย และแร่ธาตุ แต่จะมีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราลดต่ำลงมาก นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณ Conjugated diene hydroperoxides เพิ่มขึ้นสูงมากในระหว่างการเก็บรักษา นั่นแสดงให้เห็นว่าข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงมาก

Champagne and Hron (1992a) ได้ทำการทดลองสกัดข้าวกล้องด้วยสารละลายเอทานอลที่ที่อุณหภูมิ 24, 46, 54 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาในการสกัดนาน 10, 20 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน พบว่า ข้าวกล้องที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด โดยเพิ่มเพียง 0.4 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระนั้นแปรผกผันกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้สกัด กล่าวคือ หากใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือใช้เวลาในการสกัดนานขึ้นก็จะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยลง แต่การเพิ่มขึ้นของสาร Conjugated diene hydroperoxides จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของสารละลายเอทานอลที่ใช้ในการสกัด ไม่ขึ้นกับเวลา กล่าวคือ หากใช้สารละลายเอทานอลที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณ Conjugated diene hydroperoxides ก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

Champagne and Hron (1992b) ทำการทดลองโดยใช้ไอเอทานอลรมข้าวกล้องนาน 3, 5 และ 10 นาที แล้วนำมาเก็บรักษานาน 6 เดือน พบว่า ข้าวกล้องที่ใช้เวลารมนาน 3 และ 5 นาที มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจาก 3.0 เปอร์เซ็นต์ มาเป็น 3.9 และ 3.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนข้าวกล้องที่รมนาน 10 นาที ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระ แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระนั้นแปรผกผันกับเวลาที่ใช้รม กล่าวคือ หากใช้เวลาในการรมนานขึ้นก็จะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยลง นอกจากนี้ข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอเอทานอลจะมีปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราลดลงอย่างมาก บริเวณผิวของเมล็ดข้าวเกิดรอยแตก รอยแยกขึ้น และจะมีการเพิ่มขึ้นของสาร Conjugated diene hydroperoxides อย่างรวดเร็ว แต่วิตามินบีจะไม่เกิดการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูญเสีย ในปี 2541 น้ำฝน ได้ทำการศึกษากระบวนการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องด้วยเทคนิคไอแอลกอฮอลล์ร่วมกับการบรรจุเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษา พบว่า ในข้าวที่ไม่ผ่านการรมไอเอทานอลกับข้าวที่ผ่านการรมไอเอทานอลที่ 5, 10, 15 นาที เมื่อพิจารณาที่สภาวะการเก็บในถุงชนิดเดียวกันและอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเดียวกัน ปริมาณของกรดไขมันอิสระของข้าวที่ไม่ผ่านการรมไอเอทานอลจะมีค่าสูงกว่าข้าวที่ผ่านการรมไอเอทานอล นอกจากนั้นยังพบว่าข้าวที่ผ่านการรมไอเอทานอลและไม่ผ่านการรมไอเอทานอลนั้นมีปริมาณความชื้น คุณภาพการหุงต้มไม่แตกต่างกัน และผลของการรมไอเอทานอลยังทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในข้าวกล้องลดลงมาก โดยไม่ทำให้การสูญเสียวิตามินบีหนึ่งแตกต่างกัน

วิธีการรักษาคุณภาพของข้าวกล้องต่อความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

วิธีการรักษาคุณภาพของข้าวกล้องต่อความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น

1. เก็บในภาชนะที่ปิดสนิท ทึบแสง มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนต่ำ และเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ

เนื่องจากไขมันจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน โดยมีความร้อนและแสงเป็นแหล่งพลังงาน ช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้น จึงต้องทำการเก็บรักษาข้าวกล้องในอุณหภูมิต่ำ เก็บในภาชนะที่ปิดสนิท ไม่ให้แสงผ่านได้ และที่สำคัญต้องมีปริมาณของก๊าซออกซิเจนต่ำ เช่น ใช้ภาชนะบรรจุที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซต่ำ เก็บรักษาไว้ในสภาพบรรยากาศดัดแปลง หรือสภาพสูญญากาศ หรืออาจใช้สารดูดก๊าซออกซิเจน ภัทรพร (2540) รายงานว่า การเก็บรักษาข้าวสารในถุง 4 ชนิด คือ ถุงพลาสติกสาน, ถุงโพลิเอทิลีน, ถุงไนลอน และถุงอะลูมิเนียมฟอล์ย และเก็บในสภาพออกซิเจนต่ำ โดยการเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยที่เป็นสุญญากาศ เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า การเก็บในสภาพออกซิเจนต่ำ และที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีผลทำให้การเจริญของแมลง มีซากลอกคราบของแมลงเกิดขึ้นน้อย ปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าเพอร์ออกไซด์น้อยกว่าการบรรจุภัณฑ์แบบอื่นๆ ส่วนค่าความแข็งของข้าวสุก และปริมาณเมล็ดเหลืองเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บนานขึ้น Sharp and Timme (1986) ได้ศึกษาการเก็บข้าวกล้องในถุง PE ถุง PE ในกระป๋อง และถุง PE เจาะรูในกระป๋องสภาพสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิห้อง และ 38 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิต่ำมีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นน้อยกว่าการเก็บที่อุณหภูมิสูง การเก็บ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในถุง PE พบปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่าการเก็บในกระป๋องและสุญญากาศ ปริมาณความชื้นมีค่าใกล้เคียงกันในทุกภาชนะในระหว่างการเก็บรักษา

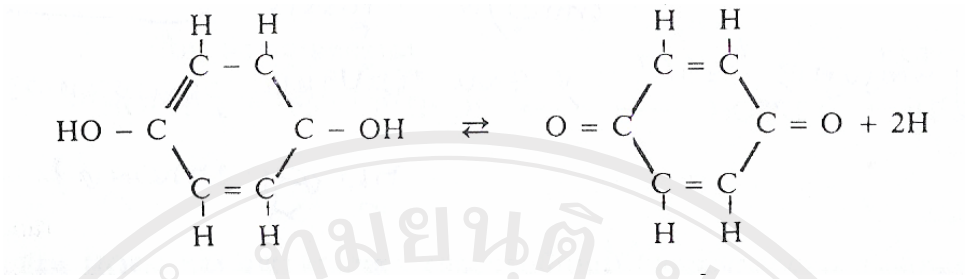
งามชื่น (2539) รายงานว่า การบรรจุข้าวในลักษณะต่างๆ ดังนี้ 1) ถุงกระสอบพลาสติก 2) ถุง polyethylene 3) ถุง nylon laminate 4) ถุงไนลอนปิดผนึกสุญญากาศ 5) ถุงไนลอนพร้อมสารดูดออกซิเจน 6) ถุงอลูมินัมฟอล์ยชนิดประกบหลายชั้น 7) ถุงอลูมินัมฟอล์ยพร้อมสารดูดออกซิเจน 8) ถุงอลูมินัมฟอล์ยปิดผนึกสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน พบว่า การบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศหรือการบรรจุพร้อมสารดูดออกซิเจนสามารถยับยั้งการพัฒนาของแมลงได้ ข้าวทุกภาชนะบรรจุมีปริมาณเมล็ดเหลืองเพิ่มขึ้น ข้าวที่บรรจุในถุงไนลอนธรรมดามีเมล็ดเหลืองสูงกว่าข้าวที่บรรจุในถุงกระสอบพลาสติก และยังพบว่าการบรรจุภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับการเกิดกลิ่นเหม็นสาบ เมื่อเก็บไว้นาน 6 เดือน กล่าวคือ ถุงกระสอบพลาสติกมีกลิ่นเหม็นสาบมากที่สุด ถุง polyethylene มีกลิ่นเหม็นสาบน้อยที่สุด ถุงไนลอนและถุงอลูมินัมฟอล์ยที่ปิดผนึกสุญญากาศไม่เกิดกลิ่นเหม็นสาบ ถุงที่บรรจุแบบสุญญากาศจะป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นสาบได้มากกว่าการบรรจุแบบอื่น ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระนั้นเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา แต่พบว่าการเก็บรักษาที่ห้องเย็นจะมีการพัฒนากรดไขมันอิสระช้ากว่าห้องปกติ การบรรจุภัณฑ์แบบถุงกระสอบพลาสติกเกิดการพัฒนากรดไขมันอิสระเร็วกว่าการบรรจุภัณฑ์แบบอื่น จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเก็บรักษาในสภาพห้องเย็นที่ 15 องศาเซลเซียส และบรรจุแบบสุญญากาศ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อคุณภาพทางด้านเคมีน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

2. ใช้สารกันหืน (Antioxidant) (ศศิเกษม และ พรรณี, 2530)

สารกันหืนที่ใช้กันในปัจจุบันเป็นสารประกอบฟีโนลิค สารที่นิยมใช้ในอาหารจำพวกไขมัน ได้แก่ Butylated hydroxyanisole (BHA), Butylated hydroxytoluene (BHT), Tert-butyl hydroxyquinone (TBHQ) และ Propyl gallate (PG) สารกันหืนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลในตำแหน่งออโธหรือพาราจะเป็นสารกันหืนที่ดี

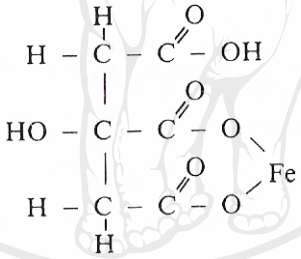
หน้าที่ของโมเลกุลของสารกันหืน คือ จะให้ไฮโดรเจนซึ่งจะไปรวมกับราดิคัลอิสระ (free radical) หรือรวมกับเปอร์ออกไซด์กัมมันต์ (activated peroxide) โมเลกุลของสารกันหืนจะถูกออกซิไดซ์แทนกรดไขมัน ตัวอย่างของสารกันหืน เช่น ไฮโดรควิโนน ซึ่งจะให้ไฮโดรเจนมีปฏิกิริยาดังสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) ควิโนน (quinone)

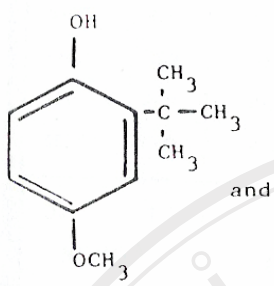
กรดซิตริคสามารถใช้ร่วมกับสารกันหืนประเภทฟีโนลิค เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น กรดชนิด di หรือ tricarboxylic จะมีประสิทธิภาพดีเนื่องจากสามารถรวมกับโลหะที่เป็นคะตะไลส์ เช่น กรดซิตริกจะรวมกับเหล็ด ดังนี้



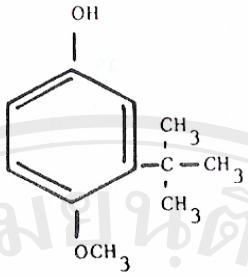
สารอื่นที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารกันหืนนอกเหนือจากกรดซิตริค ได้แก่ เอทิลีน ไดอามีน เตตระอะซิเตท (ethylene diamine tetra acetare : EDTA) ซึ่งใช้ในน้ำสลัด สำหรับครีมออฟทาร์ทาร์ (cream of tartar) ที่ใช้ในการทำขนมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโทโคเฟอรอล ซึ่งมีในน้ำมันพืชที่ใช้ทำไขมัน

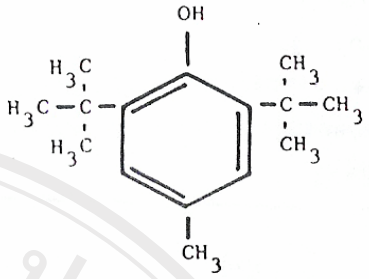
ประสิทธิภาพของสารกันหืนอาจทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยการใช้สารกันหืนหลายชนิดร่วมกัน เช่น ใช้ butylated hydroxyanisole ร่วมกับ propyl gallate เป็นต้น สูตรของสารกันหืนที่ควรรู้จักมีดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



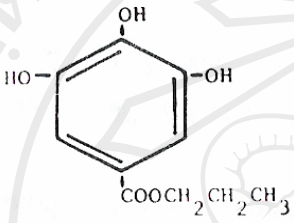
and

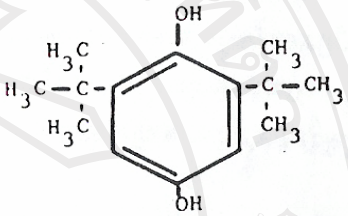




Butylated hydroxyanisole (BHA)

Butylated hydroxytoluene (BHT)





Propyl gallate (PG)

Tert-butyl hydroxyquinone (TBHQ)

Champagne and Hron (1993) ได้ทำการทดลองโดยการสกัดข้าวกล้องด้วยสารละลายเอทานอลและสารละลายเอทานอลที่ผสมกับ 0.19 % citric acid, 0.019-1.25 % propyl gallate, 0.013-0.08 % BHT และ 0.018-1.05 % tocopherols เก็บรักษานาน 6 เดือน พบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล มีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล แต่จะเพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่มีกรดซิตริคผสมอยู่ เนื่องจากกรดซิตริคจะไปมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเอนไซม์ไลเปสจะมีประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุดในช่วง pH 7.5-8.0 และจะลดต่ำลงมาเมื่อค่า pH ลดลง เมื่อมาดูปริมาณของ n-hexanal ซึ่งเป็นตัวแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล มีปริมาณ n-hexanal มากกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล และมากกว่าข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่มี propyl gallate, BHT หรือ tocopherols ผสมอยู่ ยิ่งถ้าใช้ propyl gallate หรือ BHT ในความเข้มข้นสูงจะไม่พบว่ามี n-hexanal อยู่เลย และหากเรียงประสิทธิภาพการทำงานของสารกันหืนทั้ง 3 พบว่า propyl gallate จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ BHT แต่ tocopherols จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่ากรดซิตริคมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ propyl gallate, BHT และ tocopherols โดยข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่มี propyl gallate, BHT หรือ tocopherols ผสมอยู่ จะมีปริมาณ n-hexanal มากกว่าข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่มีกรดซิตริคและ propyl gallate, BHT

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หรือ tocopherols ผสมอยู่ และในปี 1994 Champagne and Hron ได้ทำการศึกษาถึงผลของเอทานอล, citric acid, phosphoric acid, phytic acid และ hydrochloric acid ที่มีต่อการทำงานของเอนไซม์ไลเปสและปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยได้ทำการสกัดข้าวกล้องด้วยสารละลายเอทานอลที่ผสมกับ 0.019-1.90 % citric acid, 0.021-2.11 % phosphoric acid, 0.031-0.061 % phytic acid และ 0.003-0.45 % hydrochloric acid พบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่มี citric acid, phosphoric acid, phytic acid หรือ hydrochloric acid ผสมอยู่ เนื่องจาก citric acid, phosphoric acid, phytic acid หรือ hydrochloric acid มีผลการทำงานของเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเอนไซม์ไลเปสจะมีประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุดในช่วง pH 7.5-8.0 และจะลดต่ำลงมาเมื่อค่า pH ลดลง เมื่อมาดูปริมาณของ n-hexanal ซึ่งเป็นตัวแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลมีปริมาณ n-hexanal ไม่แตกต่างกับข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่มี phytic acid หรือ hydrochloric acid ผสมอยู่ แต่จะมีปริมาณ n-hexanal มากกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล และข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่มี citric acid หรือ phosphoric acid ผสมอยู่ แสดงให้เห็นว่ามีเพียง citric acid และ phosphoric acid เท่านั้นที่มีผลในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

Champagne and Grimm (1995) ได้ทำการทดลองศึกษาการใช้ไอเอทานอลในการนำพาสารกันหืนเพื่อรักษาคุณภาพของข้าวกล้อง ในการทดลองนี้ได้ใช้ไอของเอทานอลมาเป็นตัวนำส่งสาร butylated hydroxytoluene สู่เมล็ด พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระในข้าวกล้องที่รมด้วยไอของเอทานอลจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ได้รมด้วยไอของเอทานอล และยังพบว่าในข้าวกล้องที่มีการใช้สาร butylated hydroxytoluene มีปริมาณ n-hexanal ในระดับต่ำ แสดงให้เห็นว่าสาร butylated hydroxytoluene นี้มีผลในการช่วยยับยั้งกระบวนการออกซิเดชัน แต่การใช้สาร butylated hydroxytoluene ในการช่วยยับยั้งกระบวนการออกซิเดชันก็ยังขึ้นอยู่กับการผ่านเข้าออกของก๊าซในภาชนะบรรจุด้วย เนื่องจากภาชนะบรรจุที่มีการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซต่ำจะทำให้เกิดการสูญเสีย butylated hydroxytoluene ด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved