บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวหอมมะลิ

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (Gramineae) จัดอยู่ในสกุล (genus) *Oryza* สกุลนี้ประกอบด้วย ชนิด (species) ต่าง ๆ ถึง 25 ชนิด ชนิดที่เพาะปลูกเป็นอาหารมี 2 ชนิด คือ ชนิด *sativa* ซึ่งปลูกทั่วไปในเขตต่าง ๆ ของโลก และ ชนิด *glaberrima* ซึ่งปลูกอยู่บ้างในอัฟริกาตะวันตก *O. glaberrima* แตกต่างจาก *O. sativa* ตรงที่ไม่มีการแตก secondary branch ของ panicle และมีความแตกต่างเล็กน้อยในส่วนของขนบน lemma และความยาวของ ligule

การจำแนกทางอนุกรมวิธานของข้าวหอมมะลิ (Taxonomic classification) แสดงได้ดังนี้

Class : Angiospermae

Subclass : Monocotyledoneae

Order : Graminales

Family : Gramineae

Sub-family : Pooideae

Tribe : *Oryzeae*

Genus : *Oryza*

Species : *sativa*

Scientific name : *Oryza sativa* L.

Common name : Rice

2.1.1 ข้าวหอมมะลิไทย

ข้าวหอมมะลิไทย หมายถึง ข้าวที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. โดยรวมถึงข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาวที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือกเจ้าพันธุ์ข้าวหอมที่ไวต่อช่วงแสง ซึ่งผลิตในประเทศไทยในฤดูนาปีและกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ประกาศรับรองว่าเป็นพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข 15 ซึ่งมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ

ความหอมของข้าวหอมมะลิเกิดจากสารระเหยชื่อ 2-acetyl-1-pyrodene ซึ่งเป็นสารที่ระเหยหายได้ การรักษาความหอมของข้าวหอมมะลิให้คงอยู่ได้นานนั้นจึงควรเก็บข้าวไว้ในที่เย็น อุณหภูมิประมาณ 15 องศาเซลเซียส เก็บข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำ 14-15 % และยังขึ้นอยู่กับว่าเป็นข้าวใหม่หรือข้าวเก่า เมื่อหุงสุกเป็นข้าวสวยแล้วเมล็ดข้าวจะอ่อนนุ่ม

2.1.2 มาตรฐานข้าวหอมมะลิ

กระทรวงพาณิชย์ได้ออกประกาศให้กำหนดข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐาน เมื่อวันที่ 31 ตุลาคม 2544 โดยมีการปรับปรุงรายละเอียดมาตรฐานดังนี้

1) มีข้าวหอมมะลิไทยไม่น้อยกว่า 92 %

2) มีความชื้นไม่เกิน 14 %

3) มีลักษณะโดยทั่วไป เป็นข้าวเมล็ดยาว มีความยาวท้องไข่น้อย

4) ไม่มีแมลงที่ยังมีชีวิตอยู่

5) มีขนาดเล็ก ความยาวเฉลี่ยของเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหัก ต้องไม่ต่ำกว่า 7.0 มิลลิเมตร อัตราส่วนความยาวเฉลี่ยต่อความกว้างเฉลี่ย ของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหัก ต้องไม่ต่ำกว่า 3.2 มิลลิเมตร

6) มีคุณภาพทางเคมี มีปริมาณอะมิโลส ไม่ต่ำกว่า 13.0 % และ ไม่เกิน 18.0 % ที่ระดับความชื้น 14.0 % มีค่าการสลายเมล็ดข้าวในด่าง ระดับ 6-7

7) การแบ่งชนิดของข้าวขาวและข้าวกล้องยังคงเป็นไปตามมาตรฐานข้าวหอมมะลิไทย พ.ศ. 2541

2.1.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

1) เมล็ดข้าว (rice fruit, rice grain, rice seed) เป็นผลชนิด caryopsis เนื่องจากส่วนที่เป็นเมล็ดเดี่ยว (single seed) ติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่หรือเยื่อหุ้มผล (pericarp) เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ห่อหุ้ม เรียกว่าแกลบ (hull หรือ husk) และส่วนที่รับประทานได้ เรียกว่า ข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice)

2) แกลบ ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) หาง (awn) ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmas)

3) ข้าวกล้อง หรือเมล็ดข้าวที่เอาเปลือกออกแล้วประกอบด้วย (แผนภาพที่ 1)

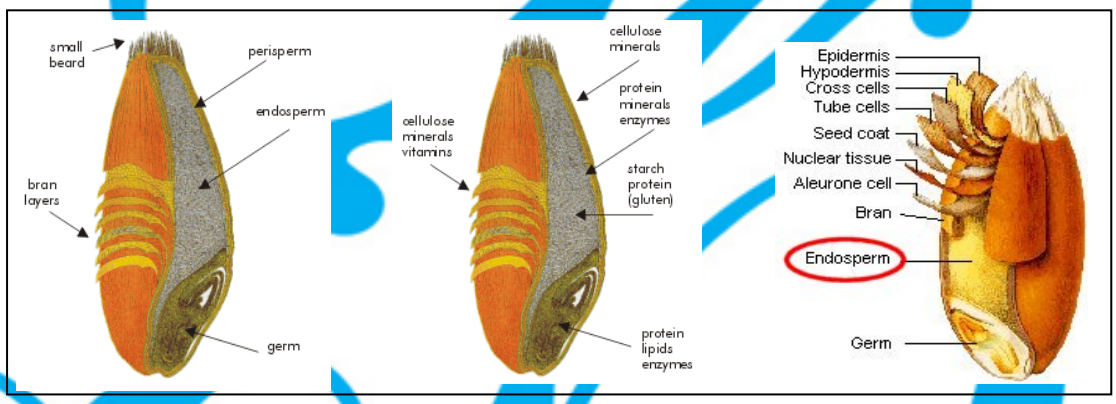
(1) เยื่อหุ้มผล (pericarp) หรือ fruit coat ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกัน คือ epicarp, mesocarp และ endocarp, pericarp มีลักษณะเป็น fibrous ผนังเซลล์ประกอบด้วย protein, cellulose และ hemicellulose

(2) เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) อยู่ถัดจาก pericarp เข้าไปประกอบด้วย เนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถวเป็นที่อยู่ของสารประเภทไขมัน (fatty material)

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

(4) ส่วนที่เป็นแป้ง (starch endosperm) หรือส่วนที่เป็นข้าวสาร อยู่ชั้นในสุดของเมล็ดประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่และมีโปรตีนอยู่บ้าง แป้งในเมล็ดข้าวมี 2 ชนิด คือ amylopectin ซึ่งเป็น polymer ของ D-glucose ที่ต่อกันเป็น branch chain และ amylose ซึ่งเป็น polymer ของ D-glucose ที่ต่อกันเป็น linear chain ส่วนประกอบของแป้งทั้ง 2 ชนิด มีสัดส่วนแตกต่างกันไปตามชนิดข้าว ในข้าวเหนียวจะมี amylose อยู่ประมาณ 0-2 % ส่วนที่เหลือเป็น amylopectin ข้าวเจ้ามี amylose มากกว่าคือ ประมาณ 7-33 % ของน้ำหนักข้าวสาร

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



แผนภาพที่ 1 องค์ประกอบของข้าว

ที่มา: http://www.professionalpasta.it/.../cariosside_1.gif

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบที่ทำการวิเคราะห์และปริมาณ (ร้อยละ) ของอินทรีย์สารที่ที่อยู่ในข้าวเปลือกและส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการขัดสีซึ่งมีความชื้นเท่ากับ 14 %

สารอาหาร (Nutrient)	ข้าวเปลือก (Rough)	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว (Milled)	รำหยาบ (Hull)	รำละเอียด (Bran)	รำข้าว (Polish)
โปรตีน (N x 5.95)	5.8-7.7	7.1-8.3	6.3-7.1	2.0-2.8	11.3-14.9	11.2-12.4
ไขมัน	1.5-2.3	1.6-2.8	0.3-0.5	0.3-0.8	15.0-19.7	10.1-12.4
เยื่อใย	7.2-10.4	0.6-1.0	0.2-0.5	34.5-45.9	7.0-11.4	2.3-3.2
เถ้า	2.9-5.2	1.0-1.5	0.3-0.8	13.2-21.0	6.6-9.9	5.2-7.3
คาร์โบไฮเดรต	63.6-73.2	72.9-	76.7-78.4	22.4-35.5	34.1-52.3	51.1-55.0
แป้ง	53.4	66.4	77.6	1.5	13.8	41.5-47.6
เพนโตซาน	3.7-5.3	1.2-2.1	0.5-1.4	17.7-18.4	7.0-8.3	3.6-4.7
เฮมิเซลลูโลส	-	-	0.1	2.9-11.8	9.5-16.9	-
เซลลูโลส	-	-	-	31.4-36.3	5.9-9.0	-
1,3:1,4เบตากลูแคน	-	0.11	0.11	-	-	-
กรดโพลียูโรนิค	0.6	-	-	-	1.2	-
น้ำตาลอิสระ	0.5-1.2	0.7-1.3	0.22-0.45	0.6	5.5-6.9	-
ลิกนิน	3.4	-	0.1	9.5-18.4	2.8-3.9	2.8
พลังงาน (kJ/g)	15.8	15.2-	14.6-15.6	11.1-13.9	16.7-19.9	17.9

ที่มา: Juliano, 1972

2.1.4 ปลายข้าว

ปลายข้าวเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ซึ่งจะได้ส่วนของปลายข้าว ประมาณ 15 % ปลายข้าวจัดได้ว่าเป็นวัตถุดิบให้พลังงานที่มีความสำคัญยิ่ง มีอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ปลายข้าวให้พลังงานสูงใช้ประโยชน์ได้ในสุกรและสัตว์ปีก เท่ากับ 3,596 และ 3,500 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม มีโปรตีน ประมาณ 8 % มีไขมันและเยื่อใยต่ำ (ตารางที่ 2) และประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด (ตารางที่ 3) เก็บไว้ใช้ได้นานโดยไม่เกิดกลิ่นหืน

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีของปลายข้าว

ส่วนประกอบ	(%)
ความชื้น	12
โปรตีน	8
ไขมัน	0.9
เยื่อใย	1
เถ้า	0.7
แคลเซียม	0.03
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.04

ที่มา: http://www.roiet.go.th/webboardold/view.php?279

ตารางที่ 3 กรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบของปลายข้าว

กรดอะมิโน	(%)
ไลซีน	0.27
เมทไธโอนีน	0.27
เมทไธโอนีน + ซีสตีน	0.32
ทริปโตเฟน	0.1
ทรีโอนีน	0.36
ไอโซลูซีน	0.45
อาร์จินีน	0.36
ลูซีน	0.71
เฟนิลอะลานีน+ไทโรซีน	1.15
อิสติดีน	0.18
เวลีน	0.53
ไกลซีน	0.71

ที่มา: www.roiet.go.th/webboardold/view.php?279

2.1.5 รำข้าว

รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากผิวนอกของข้าวกล้องหรือเปลือกของเมล็ดข้าว ที่ได้จากกระบวนการขัดสีข้าวให้ได้ข้าวขาวหรือข้าวสาร โดย FAO ได้ให้คำจำกัดความของรำหยาบ (Hull) หมายถึง ผลพลอยได้จากกระบวนการขัดสีข้าว ประกอบด้วยผิวนอกของเมล็ดข้าวและส่วนของจมูกข้าว ส่วนรำละเอียด (Bran) หมายถึง ผลพลอยได้จากกระบวนการขัดสีข้าว ประกอบด้วยผิวในของเมล็ดข้าว บางส่วนของจมูกข้าวและส่วนที่เป็นแป้งเล็กน้อย

รำละเอียดมีลักษณะเป็นฝุ่นหรือผงละเอียดสีขาว เป็นส่วนที่ขัดออกจากผิวนอกของเมล็ดข้าว อุดมด้วยโปรตีนและวิตามินต่าง ๆ ได้แก่ วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง วิตามินบีสาม วิตามินบีห้า วิตามินบีหก กรดโฟลิก ไบโอติน วิตามินอี และเกลือแร่ต่าง ๆ ได้แก่ โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง สังกะสี กำมะถัน คลอไรด์ เป็นต้น

รำข้าวเป็นส่วนที่เหลือทิ้งปริมาณ 5-9 % จากปริมาณข้าวเปลือกที่ผ่านการขัดสี โดยปกติรำหยาบที่ได้จะมีปริมาณสูงถึง 8-9 % สำหรับรำละเอียดมีปริมาณ 2-3 % จากปริมาณข้าวเปลือกทั้งหมด ดังนั้นรำหยาบและรำละเอียดมีปริมาณรวม 10 % ถือเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากการขัดสีข้าว ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยผลิตรำข้าวได้ประมาณ ไม่น้อยกว่า 1 ล้านตัน โดย 10 % นำไปใช้ผลิตเป็นน้ำมันรำข้าว (Rice bran oil) น้ำมันรำข้าวจัดว่ามีคุณภาพดี น้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถึง 77 % โดยจำนวนนี้เป็นกรดไขมันที่จำเป็น (Essential fatty acid) ถึง 31.7 % ทั้งยังเป็นแหล่งวิตามินอีและบี สารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะ Oryzinol ที่พบมากในน้ำมันรำข้าวมีผลดีต่อสุขภาพ ช่วยลดคอเรสเตอรอลที่ไม่ดีลง ดังนั้นน้ำมันรำข้าวจึงจัดว่าเป็นน้ำมันเพื่อสุขภาพ

สำหรับส่วนประกอบทางเคมีของรำข้าวและชนิดของกรดอะมิโนแสดงดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบทางเคมีของรำข้าว

ส่วนประกอบ	(%)
ความชื้น	12
โปรตีน	12
ไขมัน	12
เยื่อใย	11
เถ้า	10.9
แคลเซียม	0.06
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.47

ที่มา: www.dld.go.th/.../ image004_009/tech10.1.jpg

ตารางที่ 5 กรดอะมิโนที่พบในรำข้าว

กรดอะมิโน	(%)
ไลซีน	0.55
เมทไธโอนีน	0.25
เมทไธโอนีน + ซีสตีน	0.50
ทริปโตเฟน	0.10
ทรีโอนีน	0.40
ไอโซลูซีน	0.45
อาร์จินีน	0.95
ลูซีน	0.81
เฟนิลอะลานีน+ไทโรซีน	0.92
อิสติดีน	0.32
เวลีน	0.69
ไกลซีน	0.61

ที่มา: www.dld.go.th/.../ image004_009/tech10.1.jpg

2.2 สารให้ความหวาน

สารให้ความหวานในปัจจุบันมีมากมาย ซึ่งแต่ละชนิดนั้นก็นำไปใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกันตามความเหมาะสมซึ่งสารให้ความหวานเป็นสารที่ให้ความหวานแก่รสชาติของอาหารรวมทั้งทำให้อาหารมีกลิ่นรสที่ดีมากขึ้นอีกด้วย (www.spu.ac.th/~kanidta/right_13.htm)

2.2.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้สารให้ความหวานมากในอาหารต่าง ๆ นั้นมี 3 ประการด้วยกันคือ

1) ใช้ใส่ในอาหารสำหรับคนเป็นโรคเบาหวาน
2) ใส่ในยาเพื่อให้มีรสชาติดีขึ้น
3) ใส่ในอาหารสำหรับคนที่ต้องการลดน้ำหนัก

2.2.2 ชนิดของสารให้ความหวาน

สารให้ความหวานมีมากมายหลายชนิดแต่ส่วนใหญ่จะแบ่งเป็น 3 ชนิดดังนี้คือ

1) น้ำตาล

เป็นสารให้ความหวานที่รู้จักกันมานานและนิยมใส่ในอาหารกันทั่วโลก คือน้ำตาลทรายหรือซูโครส ซึ่งซูโครสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ ที่สามารถละลายได้อย่างรวดเร็วในสารละลายรวมทั้งในอาหารด้วยจึงมีผู้คนนิยมนำน้ำตาลมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย

2) สารให้ความหวานแทนน้ำตาล

เป็นสารเคมีที่ใช้กันมากอีกอย่างหนึ่งซึ่งให้รสหวาน แต่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการและไม่ให้พลังงาน ใช้แทนน้ำตาลซึ่งผู้ป่วยใช้แทนไม่ได้ จึงเป็นสารที่มีคุณค่าทางการแพทย์ นอกจากนั้นยังใช้เป็นเครื่องปรุงรสอาหารสำหรับผู้เป็นโรคอ้วนและใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหารเพื่อลดต้นทุนการผลิตที่นิยมใช้กันมาก

(1) สารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่ใช้ในปัจจุบัน แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ

- สารให้ความหวานที่ให้พลังงาน เช่น ฟรุคโตส ซอร์บิทอล
- สารให้ความหวานที่ ไม่ให้พลังงาน เช่น ซูคราโลส

(2) ชนิดของสารให้ความหวานแทนน้ำตาล

- แอสปาร์แตม (aspatame) ผลิตจากกรดอะมิโน ได้แก่ กรดแอสบาร์ติก และทีนิว อะลาบีน สารชนิดนี้มีความหวานเป็นสองร้อยเท่าของซูโครส มีการใช้แอสปาร์แตมในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เช่น เครื่องดื่ม โยเกิร์ต ฯลฯ
- อะซีซัลเฟม-เค (acesulfam - k) มีชื่อทางการค้า คือ ซันเนต ลูเคเสด สปอร์ต และไรบีนาไลต์ สารชนิดนี้มีความหวานเป็น 100 เท่า ของสารซูโครสมีความเข้มข้น 4 % สารชนิดนี้จะคงตัวที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ระหว่าง 3.5 - 8.0 เป็นเวลานาน 4 เดือน ที่อุณหภูมิต่ำ ถึง 40 องศาเซลเซียส

- นีโอเธสเพอริดีน ดีซี (neothesperidine DC) ผลิตจากเปลือกขม ๆ ของส้มพันธุ์สเปนิชโดยนำนีโอเธสเพอริดีนธรรมชาติ ซึ่งอยู่ในส้มบางชนิดมาผ่านขบวนการเติมไฮโดรเจน นิโอเธสเพอริดีน ดีซี มีความหวานเป็น 2,000 เท่าของความหวานของซูโครส

- ไซคลาเมต(cyclamate) มีความหวานเป็นสามสิบเท่าของน้ำตาลเป็นสารให้ความหวานสังเคราะห์ที่ไม่มีแคลอรี

- ซัคคาริน(saccharin) เรียกว่าน้ำตาลเทียม เป็นสารให้ความหวานมากแต่ไม่มีแคลอรี

- โทมาฟิน (thaumafin) เป็นโปรตีน ที่สกัดได้จากเมล็ดพืชโทมาโทดอกดัสเดนิลลี มีความหวานเป็น 3,000 เท่าของซูโครส

- ซูคราโลส เป็นสารให้ความหวานมากชนิดใหม่ เป็นอนุพันธ์ที่มีคลอรีนอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาล

- อะลิเทน (alitane) เป็นอนุพันธ์ไดเปปไทด์ ของกรดอะมิโน คืออะนามีน และกรดแอสบาร์ทิน มีความหวานเป็น 2,000 เท่า ของซูโครส

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบความหวานและพลังงานของสารให้ความหวานต่าง ๆ

สารให้ความหวาน	ความหวานเมื่อเทียบกับน้ำตาลทรายให้พลังงาน (กิโลแคลอรี/กรัม)
กลูโคส	ครึ่งเท่า ของน้ำตาลทราย 20
แอสปาแทม	200 เท่า ของน้ำตาลทราย 20
ฟรักโทส	หนึ่งเท่าครึ่ง ของน้ำตาลทราย 20
ซัคคาริน	500 เท่า ของน้ำตาลทราย 0
ไซคลาเมต	30 เท่า ของน้ำตาลทราย 0
อะเซซัลเฟม-โพแทสเซียม	200 เท่า ของน้ำตาลทราย 0

หมายเหตุ : เทียบกับน้ำตาลทราย 1 ช้อนชา = 5 กรัม (20 กิโลแคลอรี)

ที่มา : Anonymous (2006)

3) ไซรัป

ไซรัปเป็นผลิตภัณฑ์ของสารให้ความหวานอีกตัวหนึ่งโดยการนำน้ำเชื่อมที่ผลิตได้จากวัตถุดิบต่าง ๆ เช่น ผลไม้ ข้าว เป็นต้น มาทำให้เข้มข้นโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การ

ระเหยโดยใช้หลักการให้ความร้อน โดยต้องมีการใช้สารเคมีในการเก็บรักษา หากต้องการดื่มเป็นเครื่องดื่มต้องทำให้เจือจางก่อนดื่ม ซึ่งควรเป็นสารที่ละลายน้ำ (ทะนง ภัครัชพันธ์, 2546)

ไซรัปอาจมีลักษณะข้นหรือใสก็ได้แต่ต้องมีส่วนของน้ำผลไม้ไม่น้อยกว่า 25 % และมีปริมาณสารที่ละลายน้ำได้อย่างน้อย 65 % แต่ต้องมีความเป็นกรดต่ำ ถ้ามีน้ำตาลน้อยกว่า 68 % ต้องใช้สารเคมีในการช่วยเก็บรักษา (เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545)

ในเอเชียจะได้น้ำตาลกลูโคสจาก buri plam (*Corypha elata* ในฟิลิปปินส์) nipaplam (*Nipafructicans* ในมาเลเซีย) ในแอฟริกา sap จะได้จาก oil plam (*Elaeis guineensis*) และปาล์มจีนัส Raphia ซึ่งใช้น้ำตาลซูโครส 10 %

ผลิตภัณฑ์ซูโครสจะพบมากในเมืองร้อน เช่น แอฟริกาและเอเชีย โดยการระเหยน้ำออกจาก sap ในอเมริกาเหนือจะได้จากต้นเมเปิล จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 1-3 °Brix พบทางตะวันออกเฉียงใต้ของอเมริกา จะนำ sap มาระเหยน้ำออกเป็นเมเปิลไซรัป(maple syrup) และน้ำตาลเมเปิล (maple sugar) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 องค์ประกอบของเมเปิลไซรัป

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
น้ำตาลซูโครส	65-66
น้ำตาลเฮกโซส	0-7.9
กรดซิตริก	0.010
กรดซักซินิก	0.008
กรดฟูมาลิก	0.004
แคลเซียม	0.07
ซิลิกา	0.02
แมงกานีส	0.005
โซเดียม	0.003
น้ำ	32-33

ที่มา : Marie,Piggott (1991)

เนื่องจากในประเทศไทยไม่มีการผลิตสารให้ความหวานประเภทไซรัปเช่น เมเปิลไซรัปได้เอง ซึ่งต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ดังนั้นข้อมูลทางด้านงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต

ไซรัปจึงมีน้อย ส่วนใหญ่วิธีการผลิตไซรัปจะเป็นข้อมูลของต่างประเทศ ซึ่งได้จากบริษัทต่าง ๆ ที่ผลิตไซรัปดังนี้

บริษัท Backyard ได้ผลิตเมเปิลไซรัปโดยนำ sap จากต้นเมเปิล มาให้ความร้อนโดยใช้เครื่องระเหย ซึ่ง sap จะเริ่มข้นหนืดขึ้นเมื่อเข้าสู่อุณหภูมิ 219 องศาฟาเรนไฮต์ จะใช้ sap 4 แกลลอนได้ไซรัป 1 แกลลอน

บริษัท Lovely acres ผลิตเมเปิลไซรัปโดยนำ sap จากต้นเมเปิลมาให้ความร้อนโดยใช้กระทะเปิดต้มระเหย ซึ่งใช้ไม้และน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงใช้ sap 40 แกลลอนได้ไซรัป 1 แกลลอนจากนั้นทำการลดอุณหภูมิและทำการปิดผนึก

บริษัท Homamade Maple Syrup ผลิตเมเปิลไซรัปโดยนำ sap จากต้นเมเปิลมาให้ความร้อนโดยใช้กะทะเปิดต้มระเหย ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส จนข้นหนืดเป็นไซรัป จากนั้นนำมากรองและบรรจุปิดผนึกขณะร้อน และนำไปเก็บรักษาเพื่อรอการจำหน่าย

บริษัท Massachusetts Maple Production Association ผลิตเมเปิลไซรัปโดยนำ sap จากต้นเมเปิลมาให้ความร้อนโดยใช้กระทะเปิดต้มระเหย sap ที่ 107.5 องศาเซลเวียส ใช้ sap 40 แกลลอนได้ไซรัป 1 แกลลอน จากนั้นนำไปกรองและบรรจุขวด ซึ่งได้ไซรัปที่มีปริมาณน้ำตาล 67 % และมีน้ำ 33 %

บริษัท Ontario Maple Syrup Producers Association (OMSPA) ได้แบ่งเมเปิลไซรัปเป็น 2 เกรด และ 4 ระดับสี คือ เกรด 1 มี 3 ระดับสี ดังนี้ Extra Light จะมีกลิ่นรสเมเปิลที่ดีมาก ใช้กับแพนเค้น วาฟเฟิล Light จะมีกลิ่นเมเปิลที่นุ่มนวลดี และ Medium จะมีกลิ่นรสเมเปิลที่รุนแรง จะนำไปเป็นแผ่นเพื่อใช้เป็นสารให้ความหวาน ส่วนเกรด 2 มี 1 ระดับสี คือ Ontario Amber จะมีกลิ่นรสที่รุนแรงมาก

น้ำเชื่อมที่ทำจากอ้อย(Cane Syrup) มีการผลิตน้ำเชื่อมที่ทำจากอ้อย ซึ่งจะมีสีน้ำตาลและทองซึ่งจัดเป็นไซรัปมีกลิ่นปานกลาง ซึ่งมีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 85 °Brix น้ำตาลซูโครส 25-30 % น้ำตาลอินเวอร์ท 50-52 % และเถ้าเล็กน้อย

Golden Syrup มีการผลิตที่อังกฤษ แคนนาดา ออสเตรีย และ อเมริกาใต้นิยมใช้กับอาหารเช้า ขนมปัง พุดดิ้ง ขนมปังที่มีไส้ เป็นต้น มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 77-82 °Brix น้ำตาลซูโครส 66.5-68.0 % มีกลิ่นที่นุ่มนวลและมีการแบ่งเกรด 2-3 เกรด ตามสีของน้ำเชื่อมและนำไปใช้งานในทางการค้าจะพบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 73 % หรือ 76 % และน้ำตาลอินเวอร์ท 30 % หรือ 60 % มีการกรองโดยใช้ผงถ่านและเกิดการตกผลึกเมื่อเก็บเป็นเวลา ดังนั้นจึงบรรจุกระป๋องขาย

(1) การใช้ประโยชน์ของไซรัปในอุตสาหกรรมอาหาร

ไซรัปสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายชนิดโดยใช้เป็นสารให้ความหวาน สารให้กลิ่นรส ใช้ตกแต่งหน้าผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อดึงดูดใจผู้บริโภค เช่น ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม เป็นต้น (Jackson, E.B., 1995) และยังสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องดื่มได้ โดยการนำมาเจือจางก่อนดื่ม ดังนั้นผลิตภัณฑ์ขนมหวานใช้เป็นสารให้ความหวานและกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ขนม ไอศกรีมใช้เป็นสารให้ความหวานและกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น (ทะนง ภัครัชพันธ์, 2546)

(2) มาตรฐานของไซรัป

SLS 730 (1985) ได้กล่าวไว้ว่าคุณภาพของไซรัปเป็นดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 8)

- คุณภาพทั่วไป ผลิตภัณฑ์ต้องเป็นเนื้อเดียวกัน มีความข้นหนืดและมีสีสม่ำเสมอ รวมทั้งสารต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์
- กลิ่นและกลิ่นรส ผลิตภัณฑ์ต้องมีกลิ่นรส และกลิ่นที่ดี ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม ต้องไม่มีกลิ่นไหม้หรือกลิ่นน้ำตาลไหม้
- น้ำตาลที่สามารถเป็นส่วนประกอบ เช่น น้ำตาลทรายลักษณะบริสุทธิ์(ซูโครส) กลูโคส ฟรักโตส กลูโคสไซรัป น้ำตาลอินเวิร์ท
- น้ำที่เป็นส่วนประกอบ ต้องเป็นไปตามมาตรฐานน้ำบริโภค
- กรดที่สามารถใช้เป็นส่วนประกอบ เช่น กรดแอสคอบิก กรดซิตริก กรดทาร์ทาริก กรดมาลิก กรดแลคติค กรดฟูมาลิก
- สารป้องกันการเสื่อมเสีย เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ตารางที่ 8 ข้อกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไซรัป

รายการ	ปริมาณที่กำหนด
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด(เช่น ซูโครส) ต่ำสุด %โดยน้ำหนัก	5.00
ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน มิลลิกรัม/กิโลกรัม	70.00
ปริมาณกรดเบนโซอิก ไม่เกิน มิลลิกรัม/กิโลกรัม	120.00
ปริมาณกรด (เช่น กรดซิตริก) ไม่เกิน %โดยน้ำหนัก	1.00

ที่มา : SLS 730 (1985)

- สารปนเปื้อน สารปนเปื้อนที่ยอมรับได้ต้องมีปริมาณสูงสุดไม่เกินที่กำหนด ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ข้อกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไซรัปด้านสารปนเปื้อน

สารปนเปื้อน	ปริมาณสูงสุดที่ยอมรับได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
อาร์เซนิก (As)	1.00
ทองแดง (Cu)	20.00
ตะกั่ว (Pb)	2.00
ดีบุก (Sn)	250.00

ที่มา: SLS 730 (1985)

- การปนเปื้อน อาจมีได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดต่อไปนี้
  - สารหนู 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
  - ทองแดง 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
  - ตะกั่ว 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
  - เชื้อราและยีสต์ ต้องไม่เกิน 30 CFU/g ในตัวอย่าง 1 กรัม

- การบรรจุ

ให้บรรจุไซรัปในภาชนะที่สะอาด ปิดสนิท ไม่เป็นสนิม ที่ผิวด้านในของภาชนะบรรจุสามารถทนต่อสภาพความเป็นกรด หากมิได้ตกลงกันเป็นอย่างอื่น ปริมาตรสุทธิในแต่ละภาชนะบรรจุต้องเป็น 200 ลูกบาศก์เดซิเมตร 20 กิโลกรัม และต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

- เครื่องหมายและฉลาก

ที่ภาชนะบรรจุของทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้ง รายละเอียดดังต่อไปนี้ให้เห็นได้อย่างชัดเจน น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม หรือปริมาตรสุทธิเป็นลูกบาศก์เดซิเมตร วัน เดือน ปี ที่ผลิต ชื่อผู้ผลิตหรือโรงงานที่ผลิต พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนในกรณีที่ใช้ในภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น ในกรณีที่เป็นถังบรรจุบนรถต้องมีเอกสารกำกับ ซึ่งอย่างน้อยต้องแจ้งรายละเอียดตามข้อก่อนหน้านี้ ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะ

แสดงเครื่องหมายมาตรฐาน กับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารนั้นได้ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

2.3 รา *Amylomyces rouxii*

2.3. 1 การจำแนกทางอนุกรมวิธาน(Toxanomic) ของรา *Amylomyces*

Domain: *Eukaryota* - eukaryotes

Kingdom: *Fungi* (Linnaeus, 1753) Nees, 1817 - fungi

Phylum: *Zygomycota*

Class: *Zygomycetes* Cavalier-Smith, 1998

Order: *Mucorales*

Family: *Mucoraceae*™

Genus group: *Rhizopus*

Genus: *Amylomyces*

2.3.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา *Amylomyces rouxii*

Amylomyces rouxii เป็นเชื้อราที่พบมากในลูกแป้งข้าวหมากและข้าวหมาก มีความสำคัญในการสร้างเอนไซม์ที่มีแอคทิวิตี้สูง เนื่องจากมีการผลิตเอนไซม์ glucoamylase และ alpha-amylase ดังนั้นในกระบวนการหมักจึงมีบทบาทในการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ *A. rouxii* เป็นราเส้นใยที่ไม่มีผนังกั้นเส้นใย (แผนภาพที่ 2) สืบพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ สปอร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ อยู่ภายในอับสปอร์(Sporangium) ซึ่งอยู่บนก้านชูสปอร์(Sporangiophore) สำหรับสปอร์ที่เกิดจากการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเรียกว่า ไซโกสปอร์(Zygospore) (Deacon, 1997) ผนังเซลล์ประกอบด้วยสารไคโตซานและไคตินทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับเซลล์

แผนภาพที่ 2 สัณฐานวิทยาของรา *Amylomyces* spp. เมื่อเจริญบนอาหาร PDA (ซ้าย) และโครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์เมื่อย้อมด้วยสี methylene blue (ขวา)
ที่มา: มณชัย เดชสังกรานนท์ (2546)

2.3.3 สรีรวิทยาของรา *Amylomyces rouxii*

1) อาหาร

Amylomyces rouxii สามารถใช้อาหารได้อย่างกว้างขวางตั้งแต่อาหารง่าย ๆ ถ้าอาหารเป็นพวกที่มีโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน ซึ่งละลายอยู่รอบ ๆ ไฮฟาสามารถดูดซับเข้าไปได้โดยตรง แต่ถ้าเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น แป้ง เซลลูโลสหรือโปรตีน จะส่งเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารเหล่านี้ให้มีโมเลกุลเล็กลง

ลักษณะการเจริญของเชื้อราบนอาหาร potato dextrose agar มีสีเทาน้ำตาลอ่อนจนถึงสีขาว สร้าง sporangium ซึ่งไม่มี sporangiospore หรือมี sporangiospore บ้าง(แผนภาพที่ 3) เชื้อราจะสร้างเส้นใยจำนวนมากแผ่กระจายปกคลุมบนผิวเมล็ดข้าว และแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าว บางส่วนแทงทะลุเข้าไปในเมล็ดข้าว ราจะสร้างเอนไซม์จำนวนมากออกมาย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลเฟอร์เมนต์ ได้แก่ มอลโตไตรโอส (maltotriose) มอลโตส(maltose) กลูโคส (glucose) และน้ำตาลนอนเฟอร์เมนต์ได้แก่ ลิมิตเดกซ์ตริน (limit dextrins) และสร้างกรดอินทรีย์

2) อุณหภูมิ เป็นพวกมีโซไฟล์อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 องศาเซลเซียส

3) ออกซิเจน เป็นพวกต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต (aerobe)

4) พีเอช พีเอชที่เหมาะสมของราส่วนใหญ่มักต่ำกว่า 7

5) ความชื้น *A. rouxii* สามารถเจริญเติบโตในสภาพที่มีความชื้นต่ำได้ดีกว่ายีสต์และแบคทีเรีย ความชื้นต่ำสุดที่สามารถเจริญได้คือ 80 % และเป็นเชื้อที่ผลิตเอนไซม์ย่อยแป้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในการผลิตกล้าเชื้อ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ Chlamydospore จึงต้องควบคุมความชื้นไม่ให้สูงเกินไป เมื่อความชื้นสูงเกิน 25 % (ตารางที่ 10) จะได้เชื้อลดลงตามลำดับ (นภา โล่ห์ทอง, 2535)

ตารางที่ 10 ผลของความชื้นต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสปอร์ของ *Amylomyces rouxii*

อัตราส่วน ข้าว : น้ำ (กรัม/มิลลิลิตร)	ความชื้นเริ่มต้น (%)	ความชื้นหลังบ่ม (%)	CFU/กรัม ($\times 10^5$)
10:2	24.90	28.89	3.07
10:3	30.10	42.60	2.30
10:4	35.25	47.70	2.00

ที่มา: นภา โล่ห์ทอง (2535)

นอกจากนี้ *A. rouxii* ยังเป็นเชื้อราที่เก็บรักษาค่อนข้างยาก กล่าวคือเมื่อเก็บในสภาพเชื้อสดในตู้เย็นบนอาหารเลี้ยงเชื้อเช่น Potatodextrose และ Sabouraud agar คุณสมบัติของเชื้อเปลี่ยนไปค่อนข้างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับราชนิดอื่น ๆ (นภา โล่ห์ทอง, 2535)

A. rouxii จะสร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศชนิด Chlamydospore ซึ่งมีลักษณะผนังหนาหรือบาง ภายในมีไซโตพาสซึม(Cytoplasm) หนาแน่นเกิดอยู่ใน vegetative mycelium และอาจเกิดเป็นประจำใน Sporangiophore ของราบางสปีส์ของจีนัส *Mucor* Chlamydospore อาจเกิดอยู่ที่ปลายหรือระหว่างเส้นเส้นใยอาจเกิดเดี่ยว ๆ หรือเป็นลูกโซ่ติดต่อกัน 2-3 หรือหลาย ๆ สปอร์ สปอร์เหล่านี้อาจมีโครงสร้างต่างกันได้มาก แต่ส่วนใหญ่แล้วมักมีรูปร่างกลม รูปไข่ หรือยาวรี และอาจมีเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงหรือเท่ากับเส้นใยที่ให้กำเนิดหรืออาจมีขนาดใหญ่กว่ามาก

A. rouxii มีความสามารถในการสร้างน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดในกลุ่ม เนื่องจากมีเอนไซม์กลูโค อมัยเลสและไม่ทำให้เกิดรสเปรี้ยวในสาโท กรดที่เกิดขึ้นจะช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่เป็นสาเหตุของการปนเปื้อนเรียกว่า Protected fermentation ในการหมักข้าวเชื้อราจะสร้างเส้นใยจำนวนมากและแผ่กระจายปกคลุมบนผิวเมล็ดข้าวและแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าว บางส่วนแทงทะลุเข้าไปในเมล็ดข้าว ราจะสร้างเอนไซม์จำนวนมากออกมาย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล

เฟอร์เม้นต์ได้แก่ ลิมิตเดกซ์ตริน(limit dextrins) และสร้างกรดอินทรีย์ และยังได้สารอาหารและวิตามินที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของยีสต์ (นภา โล่ห์ทอง, 2535)

2.4 เอนไซม์อมัยเลส

เอนไซม์มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายชนิด และมีปริมาณความต้องการในท้องตลาดสูง มูลค่าของเอนไซม์ในตลาดโลกปี 1995 มีมูลค่า หนึ่งพันล้านเหรียญสหรัฐ เพิ่มขึ้นจากปี 1983 ซึ่งมีมูลค่าเพียง 400 ล้านเหรียญสหรัฐ และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.7-2 พันล้านเหรียญสหรัฐ ในปี 2005 ในบรรดาเอนไซม์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เอนไซม์อมัยเลสแบ่งออกได้ 4 กลุ่ม ดังนี้

2.4.1 Endoamylase

เป็นเอนไซม์ที่ทำงานภายในโมเลกุลของแป้ง จะตัดพันธะ α-1,4 กลูโคซิดิก ระหว่างโมเลกุลกลูโคสภายในส่วนของอมัยโลสและอมัยโลเพคติน เอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ แอลฟาอมัยเลส และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำงานของแอลฟาอมัยเลสคือ oligosaccharide และ α-limit-dextrins

2.4.2 Exoamylase

เป็นเอนไซม์ที่ตัดพันธะที่จับกันของกลูโคสทั้งพันธะ α-1,4 และ α-1,6 กลูโคซิดิก เอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ กลูโคอมัยเลส เบต้าอมัยเลส และแอลฟากลูโคซิเดส ซึ่งการทำงานจะตัดโมเลกุลกลูโคสที่ตำแหน่งปลายของอมัยโลสและอมัยโลเพคติน ดังนั้นผลผลิตที่ได้จะเป็นกลูโคสเพียงอย่างเดียวเมื่อใช้ กลูโคอมัยเลส และแอลฟากลูโคซิเดส หรือได้มอลโตส และ β- limit-dextrin เมื่อใช้ เบต้าอมัยเลส

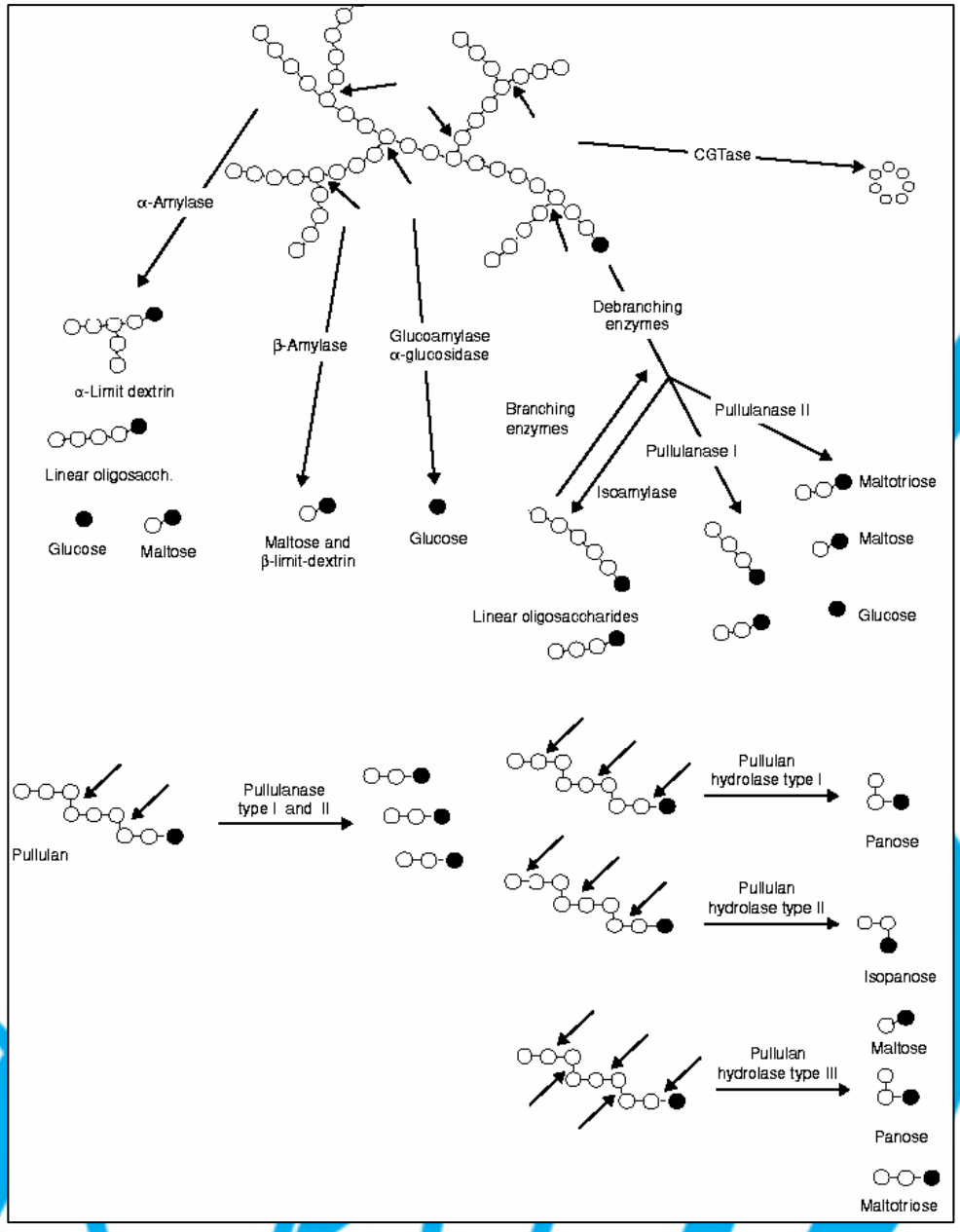
2.4.3 Debranching enzyme

เป็นเอนไซม์ที่ตัดพันธะ α-1,6 กลูโคซิดิก เอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ ไอโซอมัยเลส และ พูลูแลนเนส

2.4.4 Transferase

เอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ amylomaltase และ cyclodextrin glucosyltransferase (CGTase) ซึ่งจะใช้ในการผลิตไซโคลเดกทริน

เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยแป้งและผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์แต่ละชนิด แสดงได้ในแผนภาพที่ 3



แผนภาพที่ 3 แสดงการทำงานและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ
ที่มา : Bertold, Antranikian (2002)

ปกติในเมล็ดธัญพืชจะมีเอนไซม์อมัยเลสอยู่อาจเรียกว่าเป็นเอนไซม์ภายในเมล็ดธัญพืช (endogenous enzymes) ในบางครั้งกระบวนการผลิตมีการเติมเอนไซม์เพิ่มลงไป (added enzymes) ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เอนไซม์ที่ค่ากิจกรรมสูงย่อมให้ผลิตผลออกมาตามที่ต้องการ ดังนั้นในบางครั้งต้องเติมเอนไซม์เพิ่มลงไปในเมล็ดธัญพืชเพื่อให้ได้ปริมาณของเอนไซม์เพียงพอในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ในข้าว β- amylase ถูกสังเคราะห์ขึ้นในส่วนของ aleurone

ในขณะที่ข้าวงอก และแทบไม่พบในเมล็ดแห้ง (Guglielminetti *et al*., 1995 and Wang *et al*., 1996) ซึ่งต่างจากข้าวบาร์เลย์ที่ β- amylase จะพบในเมล็ดแห้งซึ่งสะสมตลอดช่วงการเจริญเติบโต โดยส่วนใหญ่จะอยู่รวมกับเม็ดแป้ง (Loreti *et al*., 1998) และจากการศึกษาพบว่าข้าวบางสายพันธุ์จะขาดการสร้างกิจกรรมของเอนไซม์ β- amylase (Yamaguchi *et al*., 1999)

ปัจจุบันมีการนำเอาเทคโนโลยีเอนไซม์ไปใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางในระดับอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะเอนไซม์อะมัยเลสซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยแป้งที่มีปริมาณการใช้สูงถึง 30 % ของปริมาณเอนไซม์ในตลาดโลก เอนไซม์ย่อยแป้งเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมผงซักฟอก และอุตสาหกรรมน้ำยาทำความ ในอุตสาหกรรมอาหารใช้เอนไซม์ย่อยแป้งได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของสารให้ความหวาน และน้ำเชื่อม นอกจากนั้นการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ได้ starch hydrolysates แล้วนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปใช้ในกระบวนการหมักของจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล อะซีโตน บิวทานอล และกรดแลคติก ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มจะเติมเอนไซม์ลงในธัญพืชที่ในกรณีที่เครื่องดื่มนั้นไม่ใช้มอลท์เป็นวัตถุดิบ ในอุตสาหกรรมสิ่งทอจะใช้เอนไซม์ย่อยแป้งเพื่อลดขนาดของแป้งด้วย (Anonymous, 1998 ; Maarel, 2002 ; Ozbek, 2001 and Suresh *et al*., 1999) Singh *et al*.(2001) สำหรับเอนไซม์อะมัยเลสทางการค้าจะได้จากพืชและจุลินทรีย์ ซึ่งเอนไซม์จากจุลินทรีย์มีข้อดีคือมีระยะเวลาการผลิตสั้น (Kwan and *et al*., 1993) เช่นผลิตจาก *Aspergillus oryzae*, *Bacillus amyhloliquefaceins* หรือ *Bacillus licheniformis* (Khire and Pant, 1992)

กลูโคอมัยเลสเป็นเอนไซม์ที่พบในจุลินทรีย์พวก เชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย แต่จะพบมากในเชื้อรา เช่น *Aspergillus oryzae*, *A. awarmori*, *A. phoenices*, *A. niger*, *Rhizopus delemar*, *R.. javanicus*, *Mucor* และ *Amylomyces* ส่วนยีสต์พบในพวก *Saccharomycopsis* spp. และ Oospora spp. (ชิดชม วิทวัสวงศ์, 2528) มีรายงานว่า *Aspergillus oryzae* HS-3 ผลิต amyloglucosidase ในสภาวะการหมักแบบ solid state ได้ปริมาณเอนไซม์สูงสุด คือ 5,773 U/g (น้ำหนักแห้ง) โดยหมักบนรำข้าวสาลี นาน 96 ชั่วโมง พีเอช 6.0 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

Suresh (1999) พบว่า *A. niger* (CPTRI-1105U9) ผลิตเอนไซม์ย่อยแป้งโดยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เอนไซม์ย่อยแป้งให้เป็น น้ำตาลกลูโคส มอลโทส และมอลโทเดกทรินซ์ และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เอนไซม์ย่อยมอลโทสให้เป็นกลูโคส

Ozbek (2001) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการย่อยสลายแป้ง (degree of hydrolysis) และค่ากิจกรรมของเอนไซม์ย่อยแป้ง ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ความข้นหนืด ความเข้มข้นของเอนไซม์ การคน ปริมาณ hydrolysate และระยะเวลาในการย่อยสลาย

Tominaga and Sato (1996) ได้พัฒนาเครื่องดื่มจากข้าวที่เตรียมจากการย่อยด้วยเอนไซม์แล้วหมักด้วยจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลกติก

Wongkhalaung and Boonyaratanakornkit (2000) ได้ศึกษาการทำโยเกิร์ตจากข้าวหอมมะลิที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลคือ 55 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

Cheowtirakul and *et al*. (2000) รายงานว่าการผลิตน้ำนมข้าวโดยการเติมเอนไซม์ในข้าวเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลให้น้ำนมข้าวที่มีรสชาติดี ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงกว่าการใช้เอนไซม์จากข้าวงอก

2.5 การระเหยน้ำ

ในการผลิตน้ำเชื่อมข้าวจำเป็นจะต้องนำไปทำให้เข้มข้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และประหยัดเนื้อที่ในการเก็บ ซึ่งวิธีการทำน้ำเชื่อมข้าวเข้มข้นสามารถทำได้โดยหลักการระเหยน้ำ (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535)

2.5.1 ความหมายของการระเหยน้ำ (Definition of Evaporation)

การระเหยน้ำ หมายถึง การทำให้น้ำในอาหารเหลวใด ๆ หรือสารละลายใด ๆ ร้อนขึ้นและระเหยกลายเป็นไอแยกออกไปจากอาหารเหลวหรือสารละลาย ดังนั้นกระบวนการระเหยน้ำถ้าไม่คำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้แล้ว สามารถกระทำได้โดยง่าย โดยการนำสารละลายหรืออาหารเหลวนั้นไปอุ่นหรือต้มให้ร้อน จนถึงจุดเดือดของน้ำจะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอลอยแยกออกไปทำให้ได้สารละลายเข้มข้น แต่ในทางปฏิบัติแล้วการทำงานในระบบการระเหยน้ำนั้นจะต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ มากมายไม่ว่าจะเป็นความร้อน หรือระดับอุณหภูมิอัตราการระเหยของน้ำและอื่นๆ อีกมากมาย ทั้งนี้เนื่องจากในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นนั้นจะต้องรักษากลิ่นรส และองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหารเหลวไว้ไม่ให้สูญเสียไประหว่างกระบวนการระเหยน้ำ ความร้อนสูงๆจะทำลายกลิ่นรส วิตามิน และสารระเหย (Volatile substances)

จุดประสงค์หลัก ของระบบการระเหยน้ำ คือการเพิ่มความเข้มข้นให้สารละลาย หรือกล่าวได้ว่า การระเหยน้ำเป็นกระบวนการเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นนั่นเอง ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นนั้นนอกจากจะช่วยลดปริมาตรของอาหารเหลว และน้ำหนักแล้วยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบรรจุทำให้สะดวกในการขนส่งและการเก็บรักษาด้วย

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ ประเภทอาหารเหลวเข้มข้น โดยเฉพาะพวกน้ำผลไม้เข้มข้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจ และศึกษาเพื่อผลิตเป็นอุตสาหกรรม เนื่องจากประเทศไทยนั้นมีผลไม้

มากมายตลอดปีตามฤดูกาล การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นต้องใช้ระบบการระเหยน้ำที่เหมาะสมต้องระเหยน้ำออกไปที่อุณหภูมิต่ำๆ หรือระเหยภายใต้สุญญากาศ เพื่อรักษากลิ่นรสเฉพาะของผลไม้นั้นไว้อย่างครบถ้วนให้เหมือนธรรมชาติมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นที่ผลิตโดยระบบการระเหยน้ำที่ใช้ความร้อนนั้น แม้ว่าจะควบคุมให้เกิดการระเหยน้ำที่อุณหภูมิต่ำก็ตามยังพบว่ามีการสูญเสียกลิ่นรสไปบ้าง (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535)

2.5.2 ชนิดของอาหารเหลว (Types of Liquid food)

ในธรรมชาติมีสารละลายหรืออาหารเหลวอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งจะมีองค์ประกอบและคุณภาพต่าง ๆ กัน แต่เราสามารถแบ่งอาหารเหลวออกได้เป็น 3 พวกใหญ่ ๆ ดังนี้ (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535)

1) Moderated heat sensitive Products: เป็นกลุ่มอาหารเหลว ที่สามารถทนต่อความร้อนได้ปานกลาง คือสามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในระหว่างการระเหยน้ำจะควบคุมอุณหภูมิของอาหารเหลวไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของไอน้ำที่ใช้ 110 องศาเซลเซียส ในกรณีที่อาหารเหลวเริ่มต้นมีปริมาณเนื้อสารหรือของแข็งต่ำ ๆ ควรจะผ่านระบบการระเหยน้ำแบบผ่าน 2 ครั้ง (Two stages evaporation)

2) Very heat sensitive Products: เป็นกลุ่มอาหารเหลวที่ไว ต่อความร้อนมาก การระเหยน้ำจะต้องกระทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส ถ้าอาหารเหลวในกลุ่มนี้ได้รับความร้อนสูง อาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นมากถ้าอาหารเหลวสัมผัสกับความร้อนนาน ๆ แต่ถ้าใช้ความร้อนหรืออุณหภูมิสูงในระยะเวลาสั้นๆ พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

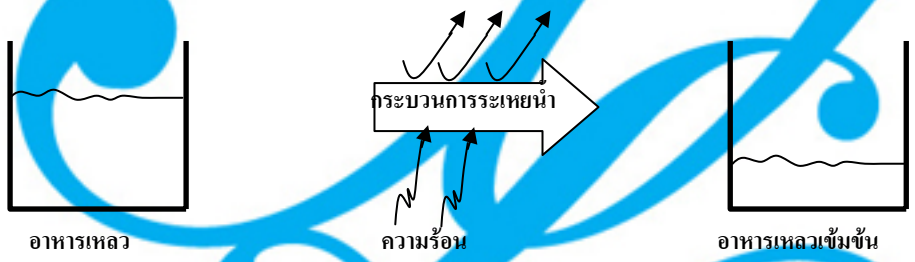
3) Viscous products: เป็นกลุ่มของอาหารเหลว ที่มีความหนืดสูง ๆ อาหารเหลวในกลุ่มนี้จะควบคุมอุณหภูมิในการระเหยน้ำไว้ที่ประมาณ 70 – 90 องศาเซลเซียส ตัวอย่างอาหารเหลวกลุ่มนี้ได้แก่ วุ้น (Agar) เจลาติน (Gelatin) เป็นต้น

2.5.3 หลักการระเหยน้ำ (Principle of evaporation)

การทำให้ความเข้มข้นของอาหารเหลวเพิ่มขึ้นโดยการระเหยน้ำนั้น ต้องคำนึงเสมอว่าต้องมีเฉพาะส่วนน้ำหรือน้ำอิสระ(Free water) ที่มีอยู่ในอาหารเหลวเท่านั้นที่ถูกแยกออกไป สารอาหารหรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่ละลายน้ำได้ (Soluble solids)จะต้องยังคงอยู่อย่างครบถ้วนในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นในปริมาณที่มากขึ้น โดยมีหลักการทำงานคือทำให้อุณหภูมิของอาหารเหลวสูงขึ้นจนถึงจุดเดือด จากนั้นรักษาอุณหภูมินั้นไว้ในช่วงเวลา ที่จะทำให้น้ำระเหยออกไปจนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ แต่ดังที่กล่าวแล้วว่าถ้าเราพิจารณา จุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ซึ่งจะเดือด 100 องศาเซลเซียส ถ้าให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิขนาดนั้นผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้น

ที่ได้คงสูญเสียคุณภาพ และกลิ่นรสไปหมด แต่เนื่องจากน้ำที่มีอยู่ในอาหารเหลว นั้นจะมีองค์ประกอบต่าง ๆ ละลายอยู่ และน้ำก็อยู่ในสภาพแวดล้อมแตกต่างกันทำให้จุดเดือดของ น้ำเปลี่ยนไป โดยทั่วไปจุดเดือดของน้ำจะสูงขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยจึงต่างจากจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ นอกจากนี้ในทางปฏิบัติหรือการทำงานจริงๆ แล้วมักจะทำการระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศ (Under vacuum) ซึ่งจะทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลงมา

หลักการและขั้นตอนการระเหยน้ำสรุปแสดงไว้ในแผนภาพที่ 4 โดยการให้ความร้อนแก่อาหารเหลวจนถึงอุณหภูมิของการระเหย จากนั้นรักษาอุณหภูมินั้นไว้ตลอดระยะเวลาที่น้ำระเหยออกไปในปริมาณที่กำหนด เพื่อให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ



แผนภาพที่ 4 หลักการระเหยน้ำ
ที่มา : สมบัติ ขอทวีวัฒนา (2535)

2.5.4 เวลาที่ใช้ในการระเหย (Retention time)

ในกระบวนการระเหยน้ำนั้น จะต้องควบคุมอัตราการให้ความร้อน แก่อาหารเหลวอย่างคงที่ เพื่อทำให้การระเหยน้ำเกิดอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้การระเหยน้ำจะเกิดขึ้นที่จุดอุณหภูมิหนึ่งที่คงที่ คือ จุดระเหยน้ำ (Evaporating point) โดยปกติก็คือจุดเดือดนั่นเองสำหรับสารอื่น ๆ ก็จะมีจุดระเหยน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันไป ในการระเหยน้ำโดยปกตินั้นเมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิของการระเหยน้ำแล้วจะต้องควบคุมให้อัตราการระเหยน้ำ (Rate of evaporation) คงที่นั่นคือ การควบคุมให้ปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปต่อหน่วยเวลาและหรือพื้นที่คงที่เสมอ และทำให้เวลาที่ใช้ในการระเหยน้ำต่ำที่สุด

2.6 ปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction)

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหารมี 2 แบบคือ (เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545)

2.6.1 ปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Enzymatic browning reaction)

กลุ่มของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องมีชื่อว่าฟีนอลเลส(phenolase)

2.6.2 ปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Nonenzymatic browning reaction)

การเกิดสีน้ำตาลในอาหาร มีปฏิกิริยาหลายปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งจะมี 2 ปฏิกิริยาที่มีน้ำตาลมาเกี่ยวข้องด้วย

1) คาราเมลไลเซชั่น

เป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้น้ำตาล เมื่อเผาไหม้น้ำตาลภายใต้สภาวะแอนไฮดรัสหรือให้น้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางจะเกิดคาราเมลไลเซชั่นเกิดน้ำตาลแอนไฮโดร เช่น กลูโคสให้กลูโคซาน และ เลโวกลูโคซาน ส่วนฟรุกโตสทำปฏิกิริยาในสภาวะเดียวกันให้เลวูโลซาน

2) ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Millard reaction)

ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวส์และ 1,2 เอมีนหรือกรดอะมิโนปฏิกิริยานี้ค้นพบโดย Millard ในปี 1912 ภายใต้สภาวะที่มีความร้อน ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคอนเดนเซชั่นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์และเอมีนยังสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปอีก จนในที่สุดจะได้เป็นผลิตภัณฑ์สีน้ำตาลคล้ำชื่อว่า เมลานอยดิน ซึ่งเป็นโคโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยไนโตรเจน

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง

(1) อุณหภูมิ ความชื้นและออกซิเจนในระหว่างกระบวนการผลิตและในช่วงเก็บรักษาล้วนมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร เช่น ผลอะพริคอทแห้งซึ่งผ่านการลมควันซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้วบรรจุกระป๋อง เก็บที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 46.1 องศาเซลเซียส มีสีคล้ำใน 3 สัปดาห์ เก็บที่อุณหภูมิห้องไม่มีสีคล้ำใน 3 เดือน และเก็บที่ 0 องศาเซลเซียส ไม่เปลี่ยนแปลงหลัง 6 เดือน

การศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล โดยการเกิดสีน้ำตาลในผลอะพริคอทแห้งพบว่า นอกจากความชื้นแล้วออกซิเจนมักมีส่วนอยู่ด้วยในการเร่งปฏิกิริยาผลอะพริคอทที่มีความชื้น 25 % จะดูดออกซิเจนได้เร็วกว่าผลอะพริคอทที่มีความชื้นเพียง 10 % แสดงว่าความชื้นสูงจะทำให้เกิดสีน้ำตาลเร็วขึ้น การเก็บผลไม้ในที่มีออกซิเจนมากเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าผลไม้นั้นจะมีความชื้นอยู่ในระดับใด

การบรรจุน้ำผลไม้ลงกระป๋องหรือขวด อัตราการเกิดสีน้ำตาลขึ้นกับช่องว่างภายในกระป๋อง ถ้ามีช่องว่างเหนือน้ำผลไม้นี้จะทำให้น้ำผลไม้ในกระป๋องมากจะเป็นที่ให้อากาศอยู่ได้ และออกซิเจนในอากาศเหนือน้ำผลไม้นี้เกิดสีน้ำตาลเร็วขึ้น

(2) กรดแอสคอร์บิก การสลายตัวแอสคอร์บิกในสภาวะมีอากาศหรือไม่มีอากาศก็ตาม มีผลทำให้เกิดรงควัตถุสีน้ำตาลได้ กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิเดชั่นของแอสคอร์บิกสามารถแตกตัวไปเป็นเอริโธรเพนโตซูโลส ในสารละลายเจือจางของ SO_2 ในน้ำ สารประกอบนี้พบในแอปเปิลไซเดอร์ที่เติม SO_2 กรดแอสคอร์บิกมีผลทำให้เกิดสีน้ำตาลในระบบที่มีน้ำตาล กรดอะมิโนและแอสคอร์บิกอยู่

(3) น้ำตาลรีดิวส์ อาจเกิดการแตกหักไปเป็นเฟอฟิวรัล ถ้ามีแร่ธาตุหรือกรดอินทรีย์อยู่ น้ำตาลเพนโตสจะให้ 2-furfuraldehyde ส่วนน้ำตาลเฮกโซสจะให้ 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde เฟอฟิวรัลสามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนหรือสารประกอบเอมีนซึ่งนำไปสู่การเกิดรงควัตถุสีน้ำตาล

(4) ลิปิด อาจมีส่วนในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล พวกไลโปโปรตีนมีหมู่อะมิโนซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวส์และสารประกอบแอลดีไฮด์ได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสารให้ความหวานจากวัสดุทางการเกษตร

ทัศนัย อรรถพรพิทักษ์ และ ธาริน นาคศรีอาภรณ์ (2542) ศึกษาความสามารถของเชื้อรา *Rhizopus* และ *Aspergillus* ในการย่อยแป้งจากข้าวโพดสำหรับการผลิตไวน์ข้าวโพด พบว่า *R.* spp. TISTR 3155 เมื่อนำมาหมักกับข้าวโพด waxy corn จะให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงกว่าข้าวโพดพันธุ์อื่น ๆ คือ 19 องศาบริกซ์ ซึ่งมากที่สุดและกลิ่นดีที่สุด ส่วน *A. oryzae* TISTR 3232 ให้กลิ่นไม่ดีนัก

สุภาวดี ดิสโร (2543) ศึกษาการผลิตน้ำตาลกลูโคสจากกากมันสำปะหลัง 8 กรัม โดยใช้เอนไซม์อมัยโลกลูโคซิเดส 48.6 AGU (Novo Amyloglucosidase Unit) แอลฟาอมัยเลส 0.6 KNU (Kilo Novo-α-amylase Unit) เซลลูเลส 75 NCU (Novo Cellulase Unit) และเพคติเนส 130 PG ที่พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้กลูโคส 64.37 % เมื่อทำปฏิกิริยาในเครื่องอัลตร้าฟิลเตรชัน กวนด้วยความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ได้ปริมาณกลูโคสเพิ่มขึ้นเป็น 70.11 %

กล้าณรงค์ ศรีรอต และคณะ (2543) ศึกษาการผลิตกลูโคสซีรัปจากปลายข้าวหอม โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบสองขั้นตอน คือ Liquefaction โดยเอนไซม์แอลฟาอมัยเลส (Termamyl และ Tenase) หรือเบต้าอมัยเลส(Biozyme และ Mycolase) และขั้น Saccharification โดยเอนไซม์กลูโคอมัยเลส(AMG และ Speezyme) ในการย่อย Liquefied starch โดยศึกษาปัจจัย

ที่มีผลต่อการททั้งสองขั้นตอน ได้แก่ ความเข้มข้นสับสเตรท ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซิสเพื่อให้ได้น้ำตาลกลูโคสซีรัปที่มีค่า Dextrose Equivalent(DE) ที่แน่นอน พบว่าเอนไซม์เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดในการย่อยแป้ง

ไพลิน ตั้งไพโรจน์ (2545) รายงานว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ไซลาเนสและแอลฟาอมัยเลสในการผลิตไซรัปจากกระบวนการผลิตรำข้าวโปรตีนสูง คือ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พีเอช 6 และอุณหภูมิ 75 องสาเซลเซียส พีเอช 6 ตามลำดับ และพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นและเวลาในการย่อยทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ 5 %(น้ำหนักต่อน้ำหนักรำข้าวสกัดไขมันแล้ว) เวลาในการย่อย 2 และ 3 ชั่วโมง ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลไซโลสสูงสุด

เรณุกา แจ่มฟ้า (2545) ศึกษาการผลิตไซรัปจากน้ำตาลสด พบว่าการผลิตไซรัปจากน้ำตาลสดโดยใช้เบนโตไนท์และความร้อนโดยใช้เครื่องระเหย ที่อุณหภูมิ 80 ˚C ทำให้ใสโดยใช้ผงถ่านกัมมันตร์และให้ความร้อนโดยใช้กระทะเปิด ที่อุณหภูมิ 70 ˚C ทำให้ใสโดยใช้เบนโตไนท์และให้ความร้อนโดยใช้กระทะเปิด ที่อุณหภูมิ 80 ˚C ทั้ง 3 วิธีเป็นวิธีที่ได้ไซรัปเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด

มณชัย เดชสังกรานนท์ (2546) ทดลองนำเชื้อรา *Amylomyces* และ *Rhizopus* ที่แยกได้จากลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งเหล้าเลี้ยงในข้าวเหนียวนึ่ง พบว่าราทั้งสองสกุลมีบทบาทในการหมักข้าวต่างกันโดย *Amylomyces* spp. ผลิตกรดได้ต่ำประมาณ 0.88-1.29 % ส่วน *Rhizopus* spp. ผลิตกรดได้ประมาณ 3.7-4.3 % การทดสอบการสร้างเอนไซม์ย่อยแป้งบนอาหาร Rose Bengal dichloran chloramphenical agar (RBDC) ที่มี soluble starch 4 %(น้ำหนัก/น้ำหนัก) พบว่า ราทุกไอโซเลทย่อยแป้งได้น้อย โดยมีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณใสและเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีน้อยกว่า 1 แต่ไม่เท่ากับ 0 โดย *Rhizopus* spp. ย่อยแป้งเป็นน้ำตาลได้ต่ำกว่า *Amylomyces* spp.

กัลยา อยู่นาน (2546) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลจากเปลือกและกากมันสำปะหลัง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยเปลือกมันสำปะหลังคือ 1.5 %(น้ำหนักต่อปริมาตร) ย่อยด้วยกรดซัลฟูริก 0.1 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ส่วนการย่อยกากมันสำปะหลังคือ 1.5 %(น้ำหนักต่อปริมาตร) ด้วยกรดซัลฟูริก 0.1 และ 025 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที การย่อยเปลือกและกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์พบว่า การปรับสภาพวัตถุดิบก่อนการย่อยด้วยเอนไซม์ให้ปริมาณน้ำตาลริดิวซ์สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ปรับสภาพเปลือกและกากมันสำปะหลัง 0.15 %(น้ำหนักต่อปริมาตร) ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที แล้วย่อยด้วยเอนไซม์

แอลฟาอมัยเลสที่พีเอช 6.0 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นย่อยต่อด้วยอมัยโลกลูโคซิเดส เซลลูเลส ไซลาเนส และเพคติเนส ที่พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

พักตร์ประไพ (2546) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกลูโคสไซรัปจากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์แอลฟาอมัยเลส (Thermamyl 120L) ในขั้นตอนการเกิดแซคคาริฟิเคชัน พบว่าในระดับห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 150 กรัมต่อลิตร ปริมาตรการย่อย 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นเอนไซม์แอลฟาอมัยเลส 1000 หน่วย ความเป็นกรด-ด่าง 6.5-7.0 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที แล้วย่อยต่อด้วยเอนไซม์กลูโคอมัยเลส (OptimaxTM7525) 600 หน่วย ที่ความเป็นกรด-ด่าง 4.3-4.5 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ให้เกิดการเปลี่ยนกากมันสำปะหลังเป็นน้ำตาลกลูโคส 69.80 % ซึ่งเทียบเท่ากับประสิทธิภาพการย่อย 72.71 % จากนั้นขยายการผลิตสู่ระดับถังปฏิกรณ์ชีวภาพระดับโรงงานต้นแบบขนาด 50 ลิตร ที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 100 กรัมต่อลิตร ปริมาตรการย่อย 35 ลิตร เอนไซม์แอลฟาอมัยเลส 100 หน่วยต่อปริมาตรการย่อย 100 มิลลิลิตร นาน 40 นาที ความเป็นกรด-ด่าง 6.5-7.0 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แล้วย่อยต่อด้วยเอนไซม์กลูโคอมัยเลส 150 หน่วยต่อปริมาตรการย่อย 100 มิลลิลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่าง 4.3-4.5 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ด้วยใบกวนชนิด helical ribbon 100 รอบต่อนาที ให้ประสิทธิภาพการย่อยสูงถึง 106.35 % นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกลูโคส โดยการเติมกากมันสำปะหลังเพิ่มในขั้นตอนลิเคอแฟคชัน พบว่าการเติมกากมันสำปะหลัง 50 % ของกากมันสำปะหลังเริ่มต้น ให้ประสิทธิภาพการย่อย 89.90 % เมื่อนำน้ำเชื่อมที่ได้ไปผลิตเอทานอลด้วย *Saccharomyces cerevisiae* เปรียบเทียบกับการใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่า สามารถผลิตเอทานอลได้ 6.05 และ 4.59 % (โดยปริมาตร) ตามลำดับ และเมื่อนำน้ำเชื่อมที่ย่อยได้ไปผลิตกลูโคสไซรัปสามารถผลิตกลูโคสไซรัปได้ค่าสมมูลเดกโทรส (DE) เป็น 82 %

ชิดชัย ปัญญาสวรรค์ (2547) ทำการพัฒนาไซรัปเข้มข้นจากกล้วยหอมทองโดยการใช้เอนไซม์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำกล้วยหอมคือ การใช้เอนไซม์เพคติเนส เอนไซม์เซลลูเลส 0.06 และ 0.13 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ ย่อยเนื้อกล้วยบดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 นาที ไซรัปที่ได้จากการนำน้ำกล้วยหอมไประเหยแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นสีเหลืองใสมีค่า L a b เท่ากับ 78.10 6.44 และ 84.29 ตามลำดับ ความหนืด 6,367 cP ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.67 ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.05 ความชื้น 24.01 % เถ้า 5.29 % โปรตีน 1.99 % ปริมาณกรดทั้งหมด 0.69 % แทนนิน 87 มิลลิกรัม/100 กรัม กลูโคส 24.70 % ฟรุกโตส 20.06 % ซูโครส 12.60 %

ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ 2.25 % และพลังงาน 270 กิโลแครอลี/100 กรัม มีจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g เมื่อเก็บไว้ในขวดแก้วใสที่อุณหภูมิห้อง สามารถเก็บได้นาน 6 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับที่ผู้บริโภคชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

Urbaneja และคณะ (1996) ศึกษาการย่อยกากกาแฟด้วยวิธี diluted acid hydrolysis โดยใช้วิธีการ reflux พบว่าปริมาณน้ำตาลจะมากขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดและเวลานานขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสม คือการใช้ กรดซัลฟูริก 2 % นาน 240 นาที คิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ 67 %

Karel และ Rodney (1997) ศึกษาวิธีการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดด้วยกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิ 100-160 องศาเซลเซียส แล้วย่อยต่อด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และอมัยโลกลูโคซิเดส ที่พีเอช 4.5 อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่าเปลือกข้าวโพดสามารถเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลได้ประมาณ 85 %

Hang และ Woodams (1999) ทดสอบเอนไซม์ทางการค้า 3 ชนิดในการผลิตสารละลายน้ำตาลจากเปลือกข้าวโพดที่ปรับสภาพก่อนการใช้เอนไซม์ในการย่อยสลายโดยใช้ 1.25 โมลาร์ NaOH เป็นเวลา 30 ชั่วโมง อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า Rapidase Pomaliq (Gist-brocades) ให้ผลได้ของสารละลายน้ำตาลสูงกว่าการใช้ Celluclast 1.5 L (Novo Nordisk) และ Clarex ML (Genencor) Rapidase Pomaliq สามารถเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลได้ถึง 156-600 กรัมต่อกิโลกรัม สารละลายน้ำตาลที่ได้ประกอบด้วย กลูโคส ไซโลส เซลโลไบโอส ไซโลไบโอส และอราบิโนส ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า Rapidase Pomaliq ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เตรียมขึ้นจากเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Trichoderma reesei* เป็นแหล่งเอนไซม์ที่สำคัญในการผลิตสารละลายน้ำตาลจากเปลือกข้าวโพดและวัสดุทางการเกษตรที่มีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน

Suresh (1999) พบว่า *Aspergillus niger* (CPTRI-1105U9) สามารถผลิตเอนไซม์ย่อยแป้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ให้เป็นน้ำตาลกลูโคส มอลโทส และมอลโทเดกทรินซ์ และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เอนไซม์ย่อยมอลโทสให้เป็นกลูโคส

Sriroth และคณะ (2000) พัฒนาวิธีการใช้ประโยชน์กากมันสำปะหลังโดยการใช้เอนไซม์เซลลูเลส แอลฟาอมัยเลส และเพคติเนส ร่วมกันในการย่อยกากมันสำปะหลัง พบว่าได้ปริมาณ starch 40 % ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ โปรตีนเซลล์เดียว และ glucose derive fermentation ได้

Lorena และคณะ (2000) ปรับสภาพเปลือกมันฝรั่งหวานด้วยกรดซัลฟูริก 12 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเวียส นาน 30 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปโดยให้ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกเหลือ 1 โมลาร์ ให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จะได้น้ำตาล

กลูโคส 88.4 %

Kurakake และคณะ (2001) ศึกษาการปรับสภาพชานอ้อย และเปลือกข้าวโพด โดยใช้ ammonium water ก่อนทำการย่อยด้วยเอนไซม์ โดยนำตัวอย่าง 2 กรัม มาผสมกับ ammonium water ปริมาตร 1-6 มิลลิลิตร (25-28% ammonia) จากนั้นนำไปอบด้วยไอน้ำโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที นำวัสดุที่ได้ไปกำจัดแอมโมเนียโดยทำแห้งแบบสุญญากาศ จากนั้นนำไปย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์พบว่า ปริมาณน้ำแอมโมเนียที่เหมาะสมต่อการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและชานอ้อยคือมากกว่า 0.5 และ 1 มิลลิลิตรต่อกรัมของวัสดุตามลำดับ โดยพบว่าชานอ้อย จะให้กลูโคส ไซโลส และไซโลไบโอสเป็นผลิตภัณฑ์หลัก

Singh และ Soni (2001) รายงานว่า *Aspergillus oryzae* HS-3 สามารถผลิต amyloglucosidase ในสภาวะการหมักแบบอาหารแข็งได้ปริมาณเอนไซม์สูงสุด คือ 5,773 U/g (น้ำหนักแห้ง) โดยหมักบนรำข้าวสาลี นาน 96 ชั่วโมง พีเอช 6.0 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

Ozbek (2001) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการย่อยสลายแป้ง (degree of hydrolysis) และค่ากิจกรรมของเอนไซม์ย่อยแป้ง ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ความข้นหนืด ความเข้มข้นของเอนไซม์ การคน ปริมาณ hydrolysate และระยะเวลาในการย่อยสลาย

Yang และคณะ (2004) รายงานว่า *Trichoderma reesei* เป็นเชื้อราที่แสดงกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสได้สูง ส่วน *Aspergillus niger* แสดงกิจกรรมของเอนไซม์กลูโคซิเดส (glucosidase) เอนโดกลูคาเนส (endoglucanase) และเซลโลไบโอไฮโดรเลส (cellobiohydrolase) ได้มากว่า *T. reesei* และพบว่าจากการใช้เชื้อรา *T.reesei* AS3.3711, *A. niger* 3.316 และยีสต์ *Saccharomyces cerevisiaes* AS2.399 เป็นแหล่งของเอนไซม์เซลลูเลสในการย่อยสลายแกลบที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่าง NaOH ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส pH 4.5 จะให้ filter paper enzyme activity (FPA) สูงสุด เท่ากับ 5.64 ยูนิตต่อกรัม(U/g) และอัตราส่วนของการย่อยเซลลูโลส (ratio ofcellulose degradation ;RCD) เท่ากับ 28.05 %