

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 มะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชในวงศ์ปาล์ม (Genus Palmaceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn. (เกสร, 2541) มะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับทำน้ำตาลและชาวสวนนิยมใช้คือมะพร้าวพันธุ์กลาง พันธุ์หมูสีหรือพันธุ์หมูสีกลาย ส่วนที่ใช้ทำน้ำตาลคือจั่นหรือช่อดอกมะพร้าว โดยจั่นที่ใช้ต้องโตเต็มที่ ไม่อ่อนหรือแก่จนเกินไป มีความยาวประมาณ 45-70 เซนติเมตร และกาบหุ้มจั่นยังไม่คลี่บานออก (หลวงสมานกิจ, 2458)

#### 2.2 น้ำตาลมะพร้าว

น้ำตาลมะพร้าวเป็นผลผลิตที่ได้จากจั่นมะพร้าว ซึ่งจะให้น้ำตาลสดเมื่อต้นมะพร้าวมีอายุได้ 3-4 ปี เมื่อมะพร้าวมีช่อดอกชาวสวนจะเริ่มทำการเก็บน้ำตาล ขั้นตอนในการปฏิบัติมีดังนี้ (กล้าณรงค์, 2523)

(1) การโน้มจั่น มะพร้าวเริ่มมีจั่นแทงออกมาระหว่างโคนทางมะพร้าว เลือกจั่นที่มีความยาว 40 เซนติเมตร จากนั้นโน้มจั่นให้อยู่ในแนวระนาบ ควรจะเริ่มทำในตอนบ่ายเพราะจั่นจะโน้มทำให้โน้มได้ง่าย

(2) การปาดจั่นหรือการปาดตาล เมื่อโน้มจั่นได้ที่แล้วให้ทำการปาดจั่นมะพร้าวออกโดยตัดจากปลายจั่นเข้ามาประมาณ 6 เซนติเมตร แล้วปอกเปลือกจั่นออกใช้เชือกมัดจั่นไว้เป็นเปลาะ ๆ ห่างกันประมาณ 1.5 ถึง 2 นิ้ว เพื่อป้องกันการแตกของจั่น ในช่วง 2 ถึง 3 วันแรก ให้ปล่อยให้ทิ้งไว้โดยไม่รองรับน้ำตาล แต่ต้องปาดจั่นทุกเช้าเย็น หลังจากนั้นเริ่มทำการรองรับน้ำตาลสด

(3) การรองรับน้ำตาลสด เมื่อจั่นมีน้ำตาลที่ไหลออกมาดี ให้นำกระบอกลงไปรอง โดยใส่เปลือกไม้พะยอมหรือไม้เคี่ยมลงไปประมาณ 2 ถึง 3 กรัม ลงไปในกระบอคน้ำตาล แล้วจึงนำไปแขวนไว้ที่ปลายจั่นใช้เชือกที่ร้อยติดกับกระบอกลงมาผูกติดจั่นไว้

ฤดูทำน้ำตาลทำได้ทั้ง 3 ฤดู แต่น้ำตาลที่เก็บได้ในฤดูหนาวเป็นน้ำตาลเนื้อดีมีน้ำตาลมาก ส่วนในฤดูร้อน น้ำตาลที่ได้ไม่ดี เนื้อใสมีรสเปรี้ยว น้ำตาลที่เก็บได้ในฤดูฝนมีคุณภาพปานกลาง

## 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าว

การพิจารณาองค์ประกอบของน้ำตาลสดจากมะพร้าว ต้องมีการแยกความแตกต่างระหว่าง sweet toddy และ toddy ออกจากกัน โดย sweet toddy หมายถึง น้ำตาลสดที่สดจริง ๆ ยังไม่มีการ budding ขึ้น ส่วน toddy หมายถึง น้ำตาลสดที่มีการ budding ขึ้นไปแล้วในสภาพต่าง ๆ กัน (ศิริพร, 2519) องค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวสด sweet toddy ที่มีผู้วิเคราะห์ไว้ ดังนี้

การวิเคราะห์ของฟิลิปปินส์ (ศิริพร, 2519)

น้ำตาลซูโครส	16.5	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
โปรตีน	0.60	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
เถ้า	0.40	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ของไทย (ประเทือง, 2503)

พีเอช	4.7 - 7.2	
ของแข็งทั้งหมด	16.10 - 18.99	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

เมื่อนำน้ำตาลมะพร้าวสดมาต้มระเหยน้ำออกจะได้น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว ซึ่งมีรายงานการวิเคราะห์ไว้ดังต่อไปนี้

คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว (กล้าณรงค์, 2532)

ความชื้น	11.40%
น้ำตาล	72.04%
น้ำตาลรีดิฟิซิง	7.79%
เถ้า	1.13%
โปรตีน	0.55%

เพกติน กัม	7.09%	
แคลอรีต่อ 100 กรัม	321.60	แคลอรี

คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว (Thampan, 1975)

ซูโครส	68.35	กรัมต่อ 100 กรัม
ความชื้น	10.92	กรัมต่อ 100 กรัม
เพกตินและกัม	8.72	กรัมต่อ 100 กรัม
น้ำตาลรีดิวิซิง	6.58	กรัมต่อ 100 กรัม.
เถ้า	2.19	กรัมต่อ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว (เกษตร, 2541)

พลังงาน	383	กิโลแคลอรี
โปรตีน	0.4	กรัมต่อ 100 กรัม
ไขมัน	0.1	กรัมต่อ 100 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	95	กรัมต่อ 100 กรัม
แคลเซียม	80	มก.ต่อ 100 กรัม
ฟอสฟอรัส	43	มก.ต่อ 100 กรัม
เหล็ก	11.4	มก.ต่อ 100 กรัม
วิตามิน เอ	280	IU ต่อ 100 กรัม
วิตามิน บี 3	1	มก.ต่อ 100 กรัม

## 2.4 กระบวนการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว

ก่อนเคี้ยวน้ำตาลต้องล้างภาชนะที่ใช้เคี้ยวให้สะอาด น้ำตาลสดที่จะนำมาเคี้ยวต้องผ่านการกรองเพื่อขจัดเศษผง แมลง และเปลือกไม้พยอม เทน้ำตาลสดลงไปในกระทะ เสร็จไฟให้แรงที่สุดเพื่อให้ น้ำตาลในกระทะเดือดโดยเร็ว เมื่อน้ำตาลเดือดฟองน้ำตาลจะล้นออกนอกกระทะ ผู้เคี้ยวมีวิธีป้องกัน

โดยใช้กึ่งมุมปากกระหะ (วรรณณา, 2536) กงนี้สานด้วยไม้ไผ่ความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร ความกว้างเล็กกว่าปากกระหะเล็กน้อย บางคนไม่ใช้กงแต่ใช้น้ำมันพืชแทน โดยหยดลงไป 2 ถึง 3 หยด เมื่อถูกน้ำมันฟองน้ำตาลก็จะยุบตัวทันที หรือเมื่อน้ำตาลเดือดและเกิดฟองขึ้น ผู้เคียวก็เอาใบมะพร้าวแห้งประมาณ 2 ถึง 3 ใบวางพาดปากกระหะ ในขณะที่เคียวเมื่อน้ำตาลเดือด ฟองถูกใบมะพร้าวเข้าก็จะยุบตัวลงทันที ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ผู้เคียวอาจจะใส่ผงซัดหรือผงฟอกสี (Hydrosulfite หรือ Dithionite) ในขณะที่ตีปั่น สำหรับฟอกสีน้ำตาลให้ขาว การเคียวน้ำตาลต้องเคียวประมาณ 1 ชั่วโมง น้ำตาลจะมีคุณภาพดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับวิธีการเคียว ต้องใช้ความชำนาญและการสังเกต ถ้าอ่อนไฟจะทำให้น้ำตาลไม่แข็ง ถ้าแก่ไฟจะทำให้น้ำตาลไหม้มีสีแดง น้ำตาลที่เคียวจนจะได้ที่มีอุณหภูมิประมาณ 115 ถึง 120 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำตาลเคียวงวดได้ที่แล้วซึ่งดูได้จากสีและความหนืดก็จะยกลงจากเตาใช้ไม้คนไปรอบ ๆ กระหะ เพื่อให้ทำให้น้ำตาลอุ้มฟองอากาศและเปลี่ยนจากลักษณะใสเป็นขุ่นขาวและจับตัวกันแข็ง จากนั้นเทใส่ลงในภาชนะ (ศิริพร, 2519)

## 2.5 การใช้สารเคมีในการฟอกสีน้ำตาล

# มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การใช้สารฟอกสี ผงฟอกสีหรือยาซัด ใส่ลงในน้ำตาลก็เพื่อให้สีของน้ำตาลขาว นำมารับประทานน้ำตาลที่ได้จากการฟอกสีด้วยโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์นั้น ถ้าใช้สารฟอกสีมากไปจะทำให้กลิ่นรสไม่ดีเท่าที่ควร เก็บไว้จะเยิ้มง่ายภายหลังเก็บไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่งสีจะเข้มขึ้น ส่วนที่สัมผัสกับอากาศสีจะเปลี่ยนไปก่อน (ศิริพร, 2519) กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม (2510) ได้ศึกษาผลของผงซัดที่มีต่อน้ำตาลมะพร้าว โดยทำการเก็บน้ำตาลที่ใส่ผงซัดและไม่ใส่ผงซัดไว้ในที่ ๆ มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 78% โดยเก็บไว้ใน desiccator และแช่ไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ โดยภายใน desiccator ตอนล่างมีสารละลายโซเดียมซัลเฟตอิ่มตัวเพื่อทำให้บรรยากาศภายในมีความชื้นสัมพัทธ์ 78% ซึ่งน้ำตาลที่เก็บเพื่อหาความชื้นเป็นระยะ สรุปผลได้ดังนี้

- (1) น้ำตาลที่ใส่ผงซัดประมาณ 1% เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 78% จะดูความชื้นไม่มากกว่าน้ำตาลที่ไม่ใส่ผงซัด
- (2) น้ำตาลที่ใส่ผงซัดเมื่อเก็บไว้นาน ๆ จะแยกตัวโดยมีส่วนที่เป็นของเหลวอยู่ตอนบนหรือตอนล่างของน้ำตาลในระยะเวลา 46 วัน แต่น้ำตาลที่ไม่ใส่ผงซัดเก็บไว้ 3 เดือนก็ยังไม่เกิดการแยกตัว
- (3) น้ำตาลที่ไม่ใส่ผงซัดเกิดราขึ้นเร็วกว่าน้ำตาลที่ใส่ผงซัด

(4) น้ำตาลที่ใส่ผงซัลไฟต์หรือไม่ใส่ผงซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นเท่า ๆ กันจะมีค่าความแข็งเท่า ๆ กัน

โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ที่นิยมเติมลงในน้ำตาลมะพร้าวมีชื่ออื่นอีก เช่น โซเดียมไดไฮโอไนต์ โซเดียมไฮโปซัลไฟต์ โซเดียมไพโรซัลไฟต์ หรือโซเดียมซัลฟอกไซด์ เป็นสารฟอกสีที่ใช้ในกิจการฟอกย้อมเส้นใยซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ดังนั้นประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 (พ.ศ. 2527) จึงกำหนดสารซัลไฟต์ที่อนุญาตให้ใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร มีดังนี้

(1) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) มีน้ำหนักโมเลกุล 64.07 เป็นก๊าซที่ไม่มีสี และไม่ติดไฟ มีกลิ่นฉุนแสบจมูก ทำให้หายใจลำบาก มีจุดหลอมเหลวที่  $-10$  องศาเซลเซียส ละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์

(2) โซเดียมไบซัลไฟต์ ( $\text{NaHSO}_2$ ) มีน้ำหนักโมเลกุล 104.07 เป็นผลึกสีขาวหรือสีขาวเหลือง มีกลิ่นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่คงตัวในอากาศ ละลายได้ดีในน้ำ ละลายได้เล็กน้อยในแอลกอฮอล์

(3) โซเดียมซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) ให้กลิ่นอ่อน ๆ ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ละลายได้ดีในน้ำ ละลายได้เล็กน้อยในแอลกอฮอล์

(4) โพแทสเซียมซัลไฟต์ ( $\text{K}_2\text{SO}_3$ ) เป็นผลึกหยาบสีขาว ไม่มีกลิ่น เมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศจะถูกออกซิไดซ์ ละลายได้ดีในน้ำ ละลายได้เล็กน้อยในแอลกอฮอล์

(5) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) เป็นผลึกร่วนหรือผง ผลึกหรือเม็ดเล็ก ๆ สีขาวหรือไม่มีสี มีกลิ่นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกซิไดซ์ในอากาศที่ละน้อยให้ซัลเฟต ละลายในน้ำแต่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์

(6) โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) เป็นผลึกร่วนหรือผงผลึก หรือเม็ดเล็ก ๆ สีขาวหรือไม่มีสี มีกลิ่นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกซิไดซ์ในอากาศได้ทีละน้อยให้ซัลเฟต ละลายในน้ำแต่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์

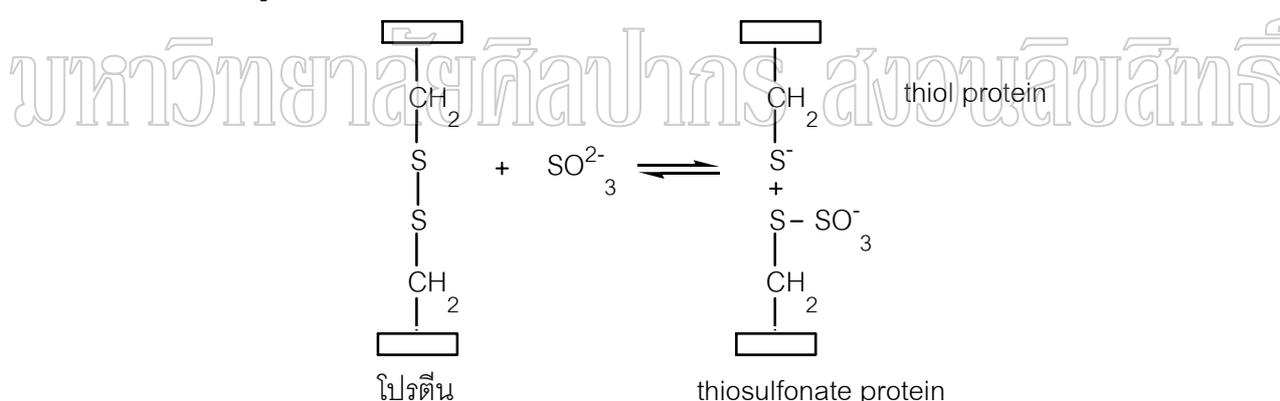
### ปฏิกิริยาของสารซัลไฟต์ในการฟอกสีน้ำตาลมะพร้าว

สารซัลไฟต์ที่เติมลงไปในการอาหารจะแตกตัวอยู่ในรูปของซัลไฟต์อิสระ (free sulfite) ได้แก่ กรดซัลฟูรัส ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) ไบซัลไฟต์ไอออน ( $\text{HSO}_3^-$ ) และซัลไฟต์ไอออน ( $\text{SO}_3^{2-}$ ) ซัลไฟต์อิสระสามารถทำ

ปฏิกิริยากับอาหารและสารอื่น ๆ ที่อยู่ในอาหาร เช่น โปรตีน น้ำตาล วิตามินบี 1 อัลดีไฮด์และคีโตน ได้ซัลไฟต์รวม (combined sulfite)

สีของน้ำตาลมะพร้าวที่เกิดขึ้น เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) โดยน้ำตาลทำปฏิกิริยากับโปรตีนหรือกรดอะมิโนทำให้ได้สารเมลานอยดิน (melanoidin) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีน้ำตาล (browning pigment) อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ถ้าสารที่ทำปฏิกิริยามีความเข้มข้นมากขึ้นหรืออุณหภูมิสูงขึ้น (อุดมเกียรติ, 2532)

ในการฟอกสีน้ำตาลมะพร้าว สารซัลไฟต์ที่เติมลงไปจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนและน้ำตาล เป็นผลทำให้โปรตีนกับน้ำตาลไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อกันได้ โดยซัลไฟต์ออกอนทำปฏิกิริยากับโปรตีนตรงพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) เป็นผลทำให้โปรตีนแตกออกได้ thiol และ thiosulfonate protein ดังแสดงในรูปที่ 2.1

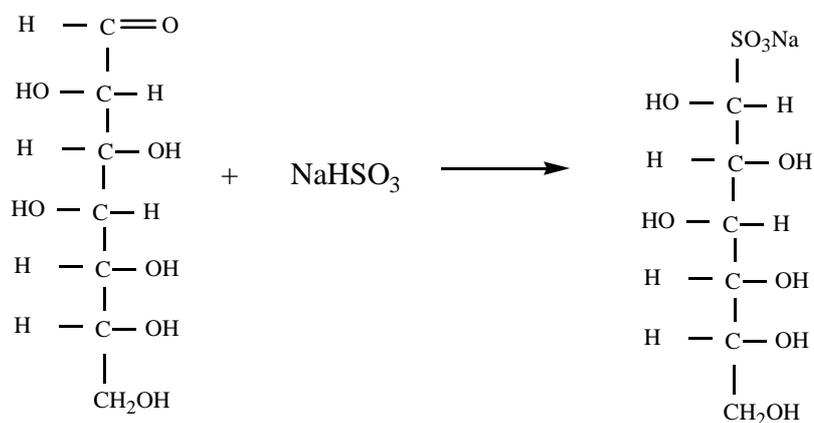


รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับซัลไฟต์ออกอน

ที่มา: อุดมเกียรติ (2532)

สารซัลไฟต์ยังทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) เช่น น้ำตาลกลูโคสตรง carbonyl group ได้สาร sugar hydroxysulfonate ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยเมื่อพีเอชเป็นกลาง ปฏิกิริยาระหว่างสารซัลไฟต์กับกลูโคสจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และแตกตัวออกมาอยู่ในรูปของซัลไฟต์อิสระ ที่พีเอช 4 ถึง 5 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นค่อนข้างเร็วและแตกตัวช้ากว่าจึงอยู่ในรูปของซัลไฟต์รวม ที่พี

เลข 2 ปฏิกริยาจะช้าแต่จะได้สารคงตัว sugar hydroxysulfonates จะคงตัวในกระเพาะอาหาร แต่จะแตกตัวในลำไส้เล็ก



### D-glucose

Pyranose form of D-glucose

โซเดียมไบซัลไฟต์

hydrosulfonate

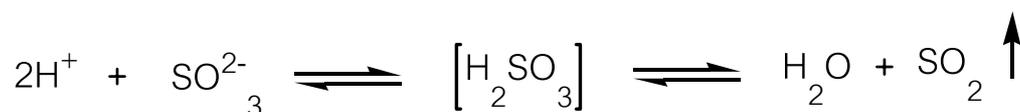
รูปที่ 2.2 ปฏิกริยาระหว่างน้ำตาลกลูโคสกับโซเดียมไบซัลไฟต์

ที่มา: อุดมเกียรติ (2532)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณสารซัลไฟต์ตกค้างในอาหาร

(1) ชนิดของอาหารและปริมาณของสารซัลไฟต์ที่เติมลงไป อาหารที่มีองค์ประกอบที่สามารถทำปฏิกริยากับสารซัลไฟต์ที่เติมลงไปได้มาก เช่น โปรตีน น้ำตาล จะมีผลทำให้สารซัลไฟต์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของซัลไฟต์รวม ปฏิกริยากับสารอาหารบางชนิดทำให้เกิด sulfonate ที่คงตัว เช่น 3-deoxy-4-sulphopenxosulose และ 3-deoxy-4-sulphohexosulose (อุดมเกียรติ, 2532) มีดังต่อไปนี้ อาหารที่มีก๊าซออกซิเจนแทรกอยู่หรือบรรจุในภาชนะที่อากาศผ่านเข้าออกได้ มีผลทำให้ซัลไฟต์ในอาหารถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ที่มีความคงตัว ถ้าเติมสารซัลไฟต์ในปริมาณมากทำให้ซัลไฟต์เหลือตกค้างอยู่ในอาหารในรูปของซัลไฟต์อิสระจำนวนมาก ซึ่งส่วนนี้จะเป็นตัวกำหนดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร นอกจากนี้อาหารที่พีเอชต่ำกว่า 4 จะทำให้ซัลไฟต์บางส่วนระเหยไปในรูปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามปฏิกริยาในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของซัลไฟต์

ที่มา: อุดมเกียรติ (2532)

(2) กรรมวิธีการผลิต อาหารที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่ต้องใช้ความร้อนจะทำให้ซัลไฟต์บางส่วนสลายตัวเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต ยิ่งขั้นตอนการผลิตมีมาก หรือมีอุณหภูมิสูงปริมาณตกค้างในอาหารจะยิ่งลดน้อยลง

(3) ระยะเวลาและอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงหรืออาหารมีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ จะทำให้สารซัลไฟต์สลายไปในรูปของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต ดังนั้นยิ่งเก็บไว้นานปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างอยู่ในอาหารยิ่งลดลง

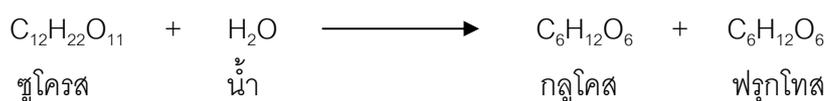
## 2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

น้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำตาลมะพร้าวอาจสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอื่นได้หลายวิธี ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อความคงตัวของน้ำตาลซูโครส มีดังนี้

### 2.6.1 ความเป็นกรด

เมื่อน้ำตาลซูโครสอยู่ในสารละลายที่ค่อนข้างเป็นกรดจะเกิดการสลายตัว กล่าวคือโมเลกุลของน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นไดแซคคาไรด์ (disaccharide) จะแตกตัวออกเป็นโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) 2 ชนิดคือ กลูโคสและฟรุกโทส ดังนี้



รูปที่ 2.4 การสลายตัวของน้ำตาลซูโครส

ที่มา: ศิริพร (2519)

แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้ต้องมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย และยังมีผลทำให้ optical rotation ของน้ำตาลเปลี่ยนจากบวกมาเป็นลบ ดังนั้นจึงเรียกปฏิกิริยานี้ว่าไฮโดรไลซิส (hydrolysis) หรือ อินเวอร์ชัน (inversion) (ศิริพร, 2519) ซึ่งจะได้น้ำตาลอินเวอร์ท เป็นส่วนผสมของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 (Andrews, 2002)

## 2.6.2 ความเป็นต่าง

ถ้าให้ความร้อนแก่สารละลายซูโครสที่ค่อนข้างเป็นด่างหรือมี  $[\text{OH}^-]$  น้ำตาลซูโครสจะสลายตัวให้ furfural, 5-hydroxy-methyl-2-furfural, methyl-glyoxyl, glyceraldehyde, dioxyacetone, acetone, lactic acid, trioxylglutaric acid, trioxybutyric acid, acetic acid formic acid, carbon dioxide ฯลฯ (Honig, 1953)

ถ้านำสารละลายซูโครสผสมด้วยปูนขาว (lime) ที่มีพีเอช 12 ไปเคี่ยวให้เดือดที่ความดันปกติ พบว่าซูโครสจะสลายตัวไปชั่วโมงละ 0.5% เนื่องจากการสลายตัวของซูโครสในด่างจะทำให้เกิดการกรดซึ่งจะทำปฏิกิริยากับด่าง ดังนั้นความเป็นด่างของสารละลายจะลดลง การที่พีเอชลดลงนี้ทำให้เกิดการกรดและการเกิดสีลดน้อยลงไปด้วย อย่างไรก็ตาม ถ้าสารละลายมีพีเอชต่ำกว่าความเป็นกลาง การสูญเสียเนื่องจากอินเวอร์ชันจะเริ่มขึ้น การสลายตัวของซูโครสจะน้อยที่สุดที่พีเอชซึ่งมีความเข้มข้นของ  $\text{H}^+$  และ  $\text{OH}^-$  อยู่น้อย น้ำตาลที่เคี่ยวที่พีเอชนี้ภายใต้ความดันปกติ จะสูญเสียซูโครสไปชั่วโมงละประมาณ 0.05% เท่านั้น (ศิริพร, 2519)

## 2.6.3 เอนไซม์

ปฏิกิริยาเนื่องจากเอนไซม์ซึ่งก่อให้เกิดอินเวอร์ชัน มีผลคล้ายกับกรดแต่ช้ากว่า เอนไซม์สำคัญที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลอินเวอร์ท ได้แก่ อินเวอร์เทส (invertase) ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานที่เหมาะสมที่สุดที่พีเอช 4.5 (Tauber, 1937) เป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในพืช จุลินทรีย์ทั่วไปในอากาศและมีมากในยีสต์

เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ประเภทนี้ทำให้เกิดกลูโคสและฟรุกโทส กลูโคสและฟรุกโทส จะขึ้นเหนียว ถ้ามี 1% จะทำให้น้ำตาลมีความหนืดเพิ่มเป็นสองเท่า ถ้ามีมากจะทำให้น้ำตาลเคี้ยวไม่ไหวและมีลักษณะเป็นยางคล้ายแป้งเปียก จุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์ชนิดนี้ได้แก่ *Leuconostoc* ซึ่งเจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 21 ถึง 25 องศาเซลเซียส พีเอช 7.8 และเจริญช้าลงเมื่อสารละลายเป็นกรด (ศิริพร, 2519)

Mackrory และคณะ (1984) พบว่า แบคทีเรีย *Leuconostoc* นอกจากจะทำให้น้ำตาลซูโครส สลายตัวเป็นน้ำตาลกลูโคสแล้ว ยังสามารถทำให้เกิดการหมัก (heterofermentation) ได้ผลผลิตเป็นกรดแลคติก เอทานอล และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Chanthachum และ Beuchat (1997) พบว่า จุลินทรีย์ที่ทำให้น้ำตาลสดเปรี้ยว เมื่อนำไปเคี้ยวจะได้น้ำตาลที่นุ่มไม่ตกผลึกและมีสีเข้ม คือ *Acetobacter*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Micrococcus* และ *Saccharomyces*

## มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำตาลสดทำได้โดยการทำความสะอาดภาชนะรองรับน้ำตาลสดให้สะอาด อาจใช้เปลือกไม้เคี่ยมหรือไม้พยอบ ซึ่งมีสารประกอบพวกโพลีฟีนอลช่วยป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจากไม้เคี่ยมสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ก่อโรค คือ *Listeria monocytogenes*, toxigenic *Staphylococcus aureus* และ enterotoxigenic *Bacillus cereus* แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมลบ คือ *Escherichia coli* และ *Salmonella* ได้ น้ำตาลสดที่ใส่เปลือกไม้พยอบสามารถชะลอการเสื่อมเสียและลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำตาลสดอายุการเก็บเกี่ยว 12 ชั่วโมง ที่ใส่เปลือกไม้พยอมและไม่ใส่เปลือกไม้พยอม

น้ำตาลสด	ยีสต์และรา (CFU/มิลลิลิตร)	แบคทีเรียแลกติก (CFU/มิลลิลิตร)	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/มิลลิลิตร)
ใส่ไม้พยอม	$4.8 \times 10^6$	$3.5 \times 10^8$	$1.2 \times 10^{11}$
ไม่ใส่ไม้พยอม	$6.8 \times 10^8$	$8.1 \times 10^{11}$	$1.9 \times 10^{15}$

ที่มา: เรณูภา (2545)

จากการศึกษาของกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและพลังงาน (2522) เพื่อใช้สารเคมีทดแทนไม้เคี่ยมหรือไม้พยอม โดยทดลองใช้สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibitor) และวัตถุกันเสีย (preservative) หลายชนิด รวมทั้งเกลือของโลหะหนัก เช่น ทองแดงและเงิน ปรากฏว่าไม่ได้ผลดีเท่าการใช้ไม้เคี่ยม นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาสูตรโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในไม้เคี่ยมและไม้พยอม พบว่าสารที่เป็นตัวหยุดยั้งการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลได้ดี เป็นสารพวกโพลีฟีนอล (polyphenol) มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง ซึ่งยังไม่สามารถทำให้ตกผลึกได้และอาจมีสารหลายชนิดรวมกัน

ในการทำน้ำตาลมะพร้าว ถ้ารักษาอุณหภูมิในน้ำตาลสดไว้ไม่ให้เกิดการสลายตัวได้เท่าใดก็ยิ่งได้น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่มีคุณภาพดีขึ้นเท่านั้น โดยปกติการสลายตัวเนื่องจากความเป็นด่างจะไม่มี แต่จะพบเพียงการสลายตัวที่เกิดจากอินเวอร์ชัน ซึ่งให้กลูโคสและฟรุกโทสเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในฤดูร้อนและฤดูฝนที่อากาศอบอ้าว ส่วนในฤดูหนาวการสลายที่เกิดจากอินเวอร์ชันจะน้อยมาก ด้วยเหตุนี้น้ำตาลที่ผลิตในฤดูหนาวจึงมีคุณภาพดี

**ตารางที่ 2.2** คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลสดอายุการเก็บเกี่ยว 12 ชั่วโมงที่ใส่เปลือกไม้พะยอมและไม่ใส่เปลือกไม้พะยอม

คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมี	ใส่ไม้พะยอม	ไม่ใส่ไม้พะยอม
พีเอช	5.09	4.15
วิตามิน ซี (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	0.08	0.09
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)	13.80	14.20
น้ำตาล (กรัม/100 มิลลิลิตร)	12.34	13.11
กรด (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.04	0.13
โปรตีน (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.37	0.32
เถ้า (กรัม/100 มิลลิลิตร)	1.04	1.00
ความชื้นร้อยละ (wet basis)	84.47	84.65

ที่มา: เรณูภา (2545)

## บททวิษณลัษณตึลปการสงวนลิขสิทธี

### 2.6.4 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction)

การเกิดสีน้ำตาลของอาหาร เกิดได้จากปฏิกริยา 2 แบบ ปฏิกริยาแบบแรกเกิดเนื่องจาก เอนไซม์ (enzymatic browning) โดยเฉพาะเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ การเกิดสีน้ำตาลแบบนี้พบในผลไม้ที่ปอกเปลือกแล้วและที่ผิวตัดของผลไม้ ปฏิกริยาประเภทที่สอง เป็นการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (nonenzymatic browning) ซึ่งสามารถจำแนกย่อยออกได้เป็น ปฏิกริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization reaction) และปฏิกริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) (นิธิยา, 2545) ซึ่งเป็นกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลสำหรับน้ำตาลและผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เมล็ดกาแฟ เนื้อสัตว์ ขนมปัง เป็นต้น

2.6.4.1 ปฏิกริยาคาราเมลไลเซชัน (caramelization reaction) เกิดจากการแตกสลายของน้ำตาลซูโครสเมื่อได้รับความร้อน ได้สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากปฏิกริยาหลายปฏิกริยาในเวลาเดียวกัน โดยเกิดขึ้นได้ทั้งในสภาวะที่มีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกริยา สภาวะการเกิดปฏิกริยาคาราเมลไลเซชันคือ อุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส ที่ค่าพีเอชระหว่าง 3 ถึง 9 ขนาดของวงแหวน

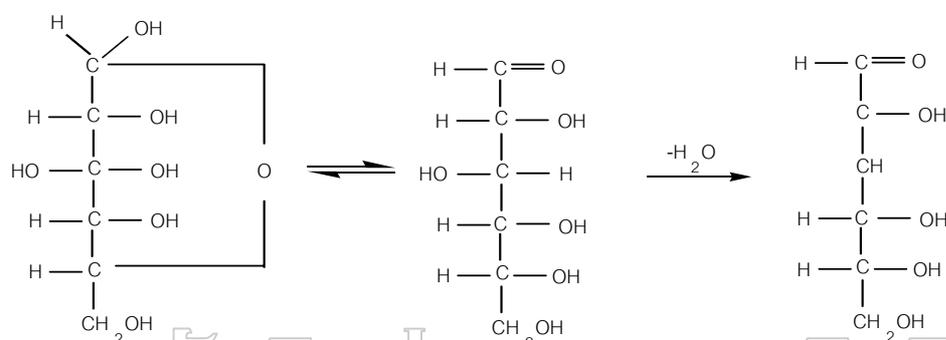
(ring) ในโครงสร้างน้ำตาลจะเปลี่ยนแปลง และพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) จะแตกออกจากกัน มีการเกิดพันธะคู่ (double bond) ในวงแหวน ทำให้เกิดพันธะไม่อิ่มตัว (unsaturated ring) เช่น ฟิวแรน (furan) ที่สามารถดูดกลืนแสง และทำให้เกิดสี และเกิดรวมตัวกัน (condensation) ได้ สารประกอบเชิงซ้อนที่ให้สีและกลิ่น สารประกอบคาราเมลประกอบด้วย คาราเมลแลน (caramelan) ( $C_{24}H_{36}O_{18}$ ) คาราเมลเลน (caramelen) ( $C_{38}H_{50}O_{25}$ ) และ คาราเมลลิน (caramelin) ( $C_{125}H_{188}O_{80}$ )

น้ำตาลที่เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันโดยทั่วไปอยู่ในรูปโครงสร้างของมอนอแซ็กคาไรด์ ซึ่งในขั้นแรกของปฏิกิริยาจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ภายในโมเลกุล (intramolecular rearrangements) เนื่องจากมีทั้งหมู่อัลดีไฮด์หรือคีโตน กับหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่ในโมเลกุลเดียวกัน จึงเกิดปฏิกิริยากันเองภายในสายโมเลกุลเดียวกัน มีการปล่อยไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ทำให้ค่าพีเอชของสารละลายที่เกิดขึ้นเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันลดลงตามเวลา โดยทั่วไปจะมีความเป็นกรดอ่อนอยู่ในช่วงค่าพีเอช 4 ถึง 5 ปฏิกิริยาการแตกสลายของน้ำตาลซูโครสจะได้สารโอซูโลส (osulose) ซึ่งเป็นสารมัธยันต์ในการเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน โอซูโลสเป็นสารประกอบไดคาร์บอนิล ได้แก่ 3-deoxyhexosulose ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสีคาราเมล และกลิ่นรสคาราเมล เกี่ยวข้องกับการเกิดสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก ได้แก่ HMF, HDF (hydroxymethylfuranone) และ HAF (hydroxyacetyl furan) (Coca และคณะ, 2004)

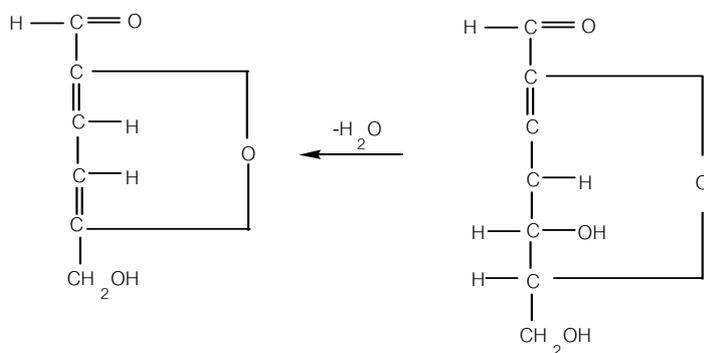
อัตราการเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันมีผลจากชนิดของน้ำตาลที่ให้ความร้อน อาจเนื่องจากน้ำตาลแต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลว (melting point) ที่แตกต่างกัน เช่น น้ำตาลกาแลคโตส น้ำตาลกลูโคส จะเกิดการหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 160 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำตาลฟรุคโตส เกิดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และน้ำตาลมอลโตสเกิดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส (พิสมัย, 2547)

Wolfom (1948) ได้เสนอขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน ว่าเกิดเนื่องจากการก่อตัวเป็นสารประกอบไฮดรอกซีเมทิลเฟอรัฟรัล (hydroxymethylfurfural; HMF) จากปฏิกิริยา รูปที่ 2.5 HMF ดังกล่าวนี้นี้เป็นแอลดีไฮด์ (aldehyde) ที่ว่องไวปฏิกิริยามาก สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น โดยเฉพาะพวกสารประกอบโปรตีนได้ง่ายและรวดเร็ว ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลขึ้น

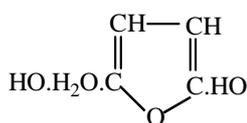
2.6.4.2 ปฏิกริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) ในสารประกอบพวก sugars, aldehydes และ ketones ทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโน (amino group) ในสารประกอบพวก amino acids, peptides, proteins และ amine compounds ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารให้สีน้ำตาลเรียกว่า สารประกอบเมลานอยดิน (melanoidin) อัตราการเกิดสีน้ำตาลของสารประกอบเมลานอยดินนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของหมู่คาร์บอนิลที่จะไปรวมกับสารประกอบโปรตีน



มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสัตว์



HMF เขียนใหม่เป็น



**รูปที่ 2.5** การเกิดสารประกอบไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรอล (hydroxymethylfurfural; HMF)

ที่มา: Wolfrom (1984)

Greenshields (1973) แบ่งขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

(1) ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น (Starting reaction)

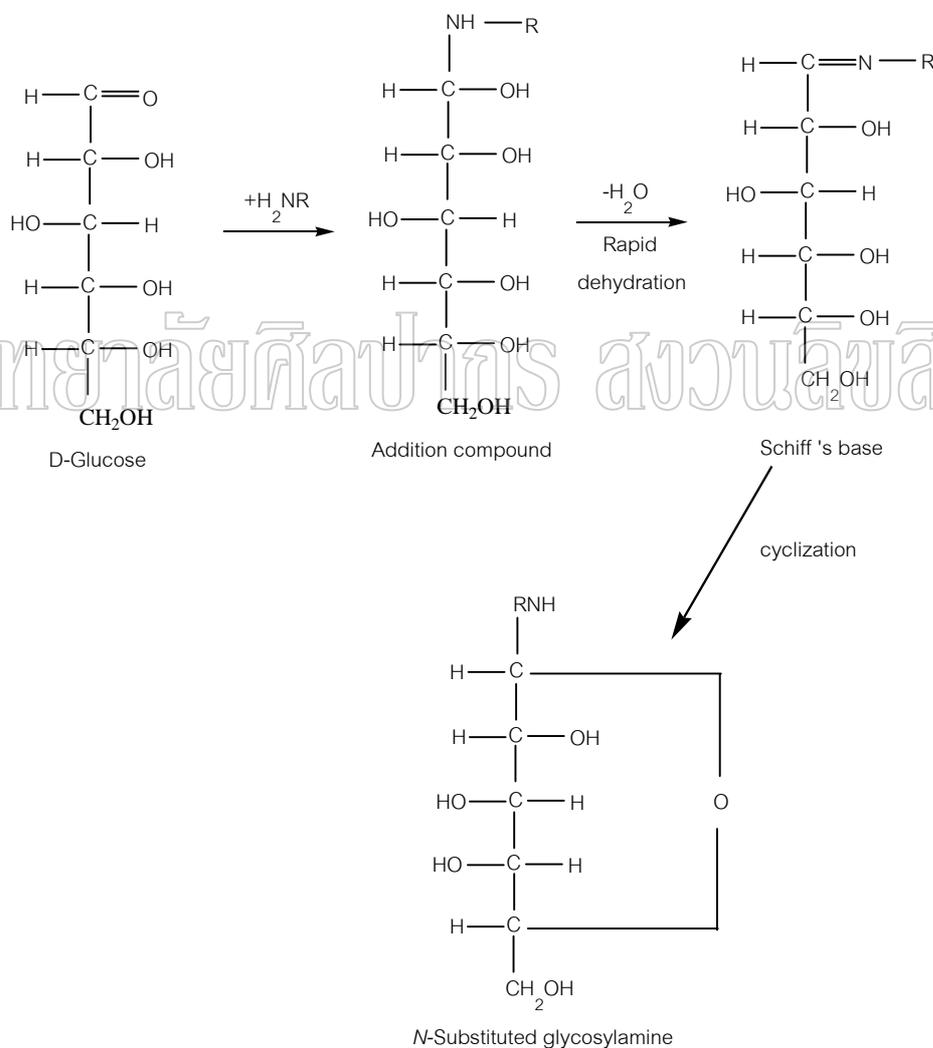
ปฏิกิริยานี้เป็นขั้นตอนแรกของปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นขั้นตอนการรวมตัว (condensation)

ระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า addition compound ซึ่งจะเกิดการสูญเสีย

น้ำอย่างรวดเร็ว เกิดเป็น Schiff's base และตามด้วยปฏิกิริยา cyclization ได้ผลิตภัณฑ์เป็น

N-substituted glycosylamine ซึ่งเป็นสารไม่เสถียร จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล

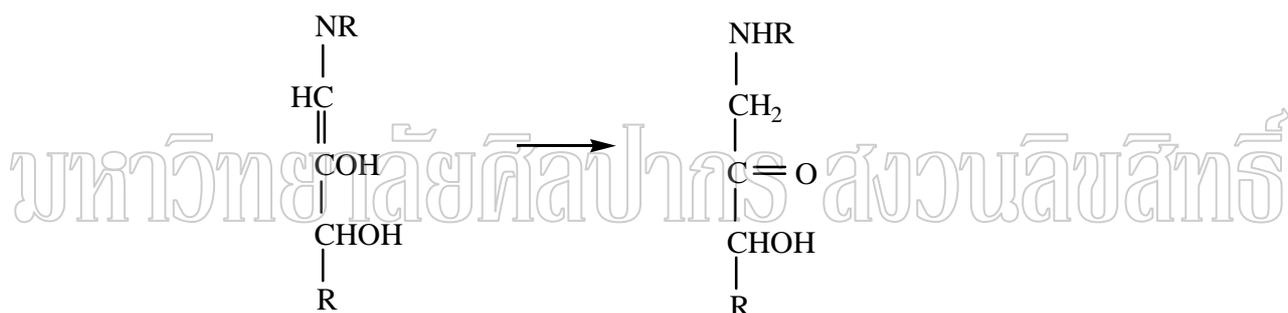
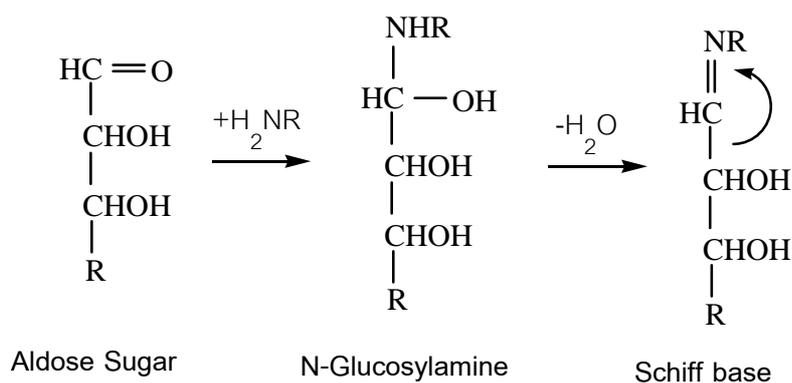
(rearrangement) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



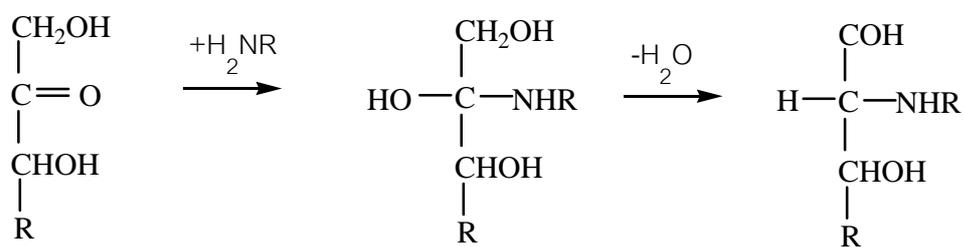
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเกิด N-substituted glycosylamine

ที่มา: ดัดแปลงจาก Belitz (1999)

จากนั้นมีการจัดเรียงตัวใหม่แบบ Amadori rearrangement ได้ 1-amino-1-deoxy-2-ketose จากน้ำตาลรีดิวซ์ที่เป็นอัลโดส หรือมีการจัดเรียงตัวแบบ Heyns rearrangement จะได้ 2-amino-2-deoxyaldose จากน้ำตาลรีดิวซ์ที่เป็นคีโตส ดังแสดงในภาพที่ 2.7



Amadori rearrangement



Heyns rearrangement

รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบจากปฏิกิริยา Amadori และ Heyns rearrangement

ที่มา: ดัดแปลงจาก (Scarpellino และ Soukup, 1993)

ในขั้นต้นของปฏิกิริยานี้ยังไม่เกิดสีน้ำตาล หรือเกิดสารให้กลิ่นในระบบของอาหาร แต่จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงไปเนื่องจากการสูญเสียน้ำตาล และกรดอะมิโน โดยการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับค่าพีเอช อุณหภูมิ และระยะเวลาการให้ความร้อน และปริมาณน้ำที่มีอยู่ขณะเกิดปฏิกิริยา (จิรสวัสดิ์, 2546)

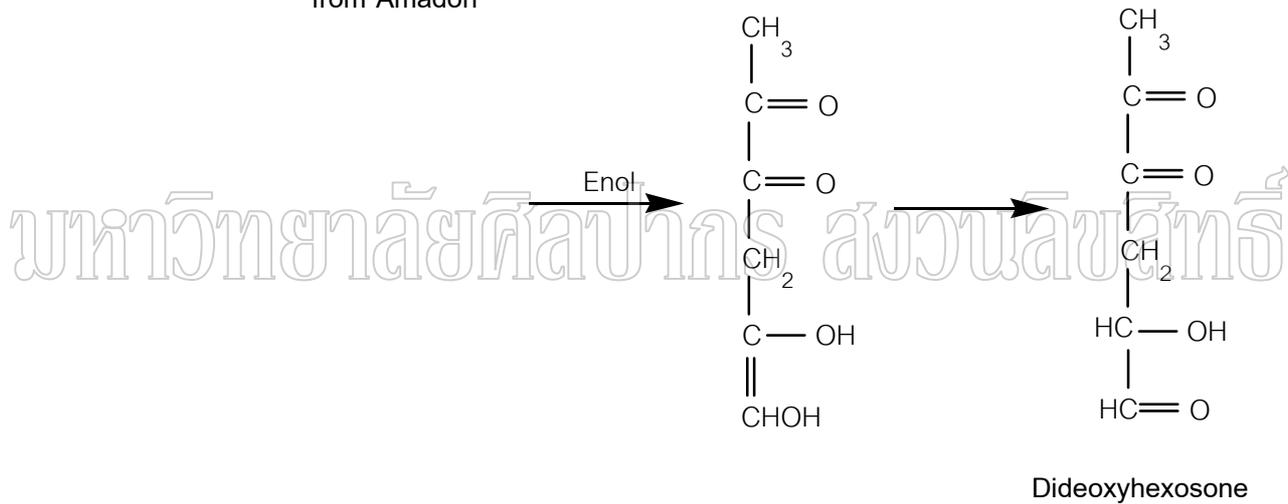
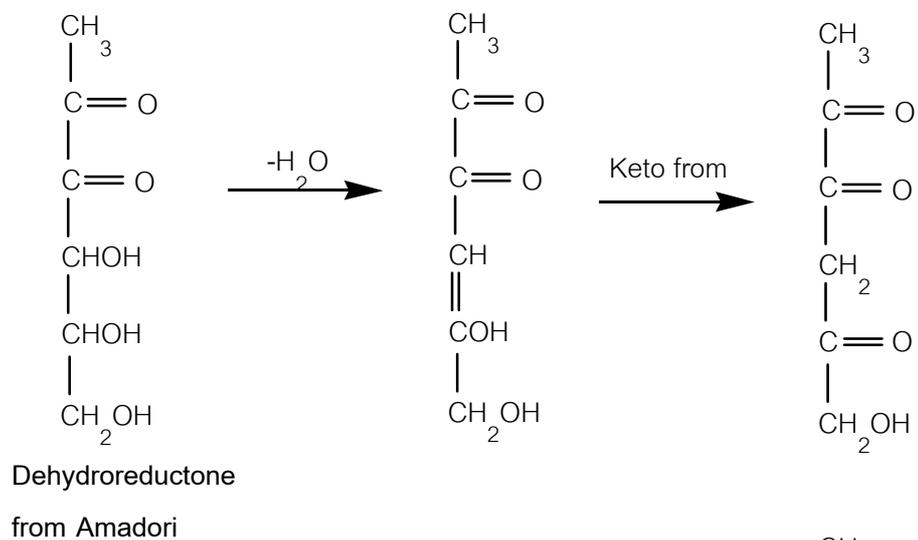
ปฏิกิริยาในขั้นต้นนี้เกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นต่าง แต่สภาวะที่เป็นกรดก็สามารถเกิดได้ หมูเอมีนของกรดอะมิโน เปปไทด์ และโปรตีน จะอยู่ในรูป basic form เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำตาลเฮกโซส (hexose) ถูกรีดิวซ์อยู่ในรูปโซ่เปิด (open chain) หรือ reducing form ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น

## (2) ปฏิกิริยาการแตกสลาย (Degradative reaction)

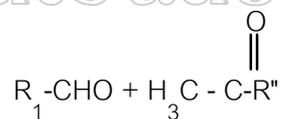
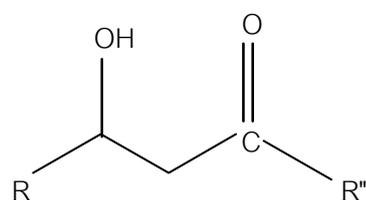
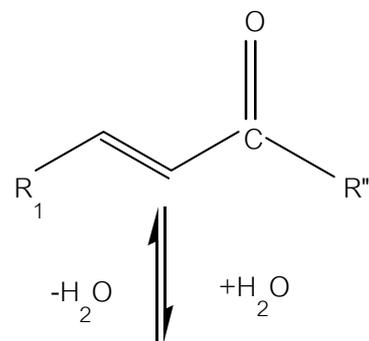
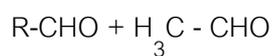
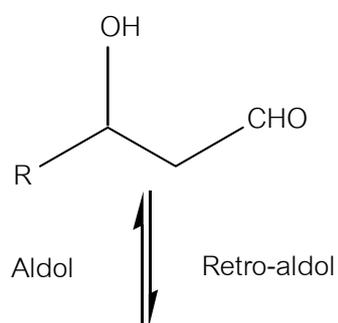
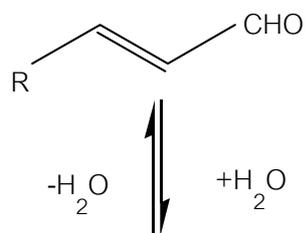
ปฏิกิริยาการรวมตัวของคาร์บอนิลจะเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน และเกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) มีการจัดเรียงตัวใหม่ได้ 3-deoxyhexosulose (3-deoxy-D-glucosone) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 แต่ปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดการสลายตัว 2 แบบ ดังนี้

การสลายตัวแบบแรกให้ deoxyosones (deoxyglucosan) 2 ชนิด โดยการสลายตัวจะเริ่มจาก enolization ของ Amadori rearrangement ได้ 1,4-dideoxyhexosulose (1,4-dideoxy-D-glucosone) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ถ้าเกิดในสภาวะที่ค่าพีเอชสูง หรือเกิด 3-deoxyhexosulose (3-deoxy-D-glucosone) ถ้าเกิดในปฏิกิริยาที่มีค่าพีเอชต่ำ ซึ่งสารทั้งสองนี้จะเกิดปฏิกิริยาอัลดอลย้อนกลับ ได้สารประกอบไดคาร์บอนิล (dicarbonyl) ซึ่งเป็นสารมัธยันต์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.9

การสลายตัวแบบที่ 2 คือ Strecker degradation เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างไดคาร์บอนิลกับกรดอะมิโน เป็นทั้ง 1-deoxyosone และ 3-deoxyosone เกิด retroaldolization ผลิตภัณฑ์จาก Strecker degradation เป็นสารประกอบพวกอัลดีไฮด์และคีโตน ซึ่งอาจเกิดการรวมตัวกันต่อไปเกิดเป็นสารให้กลิ่นรส เช่น ไพริดีน (pyridine) ไพราซีน (pyrazine) และ อิมิดาโซล (imidazole) และในปฏิกิริยา Strecker degradation จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



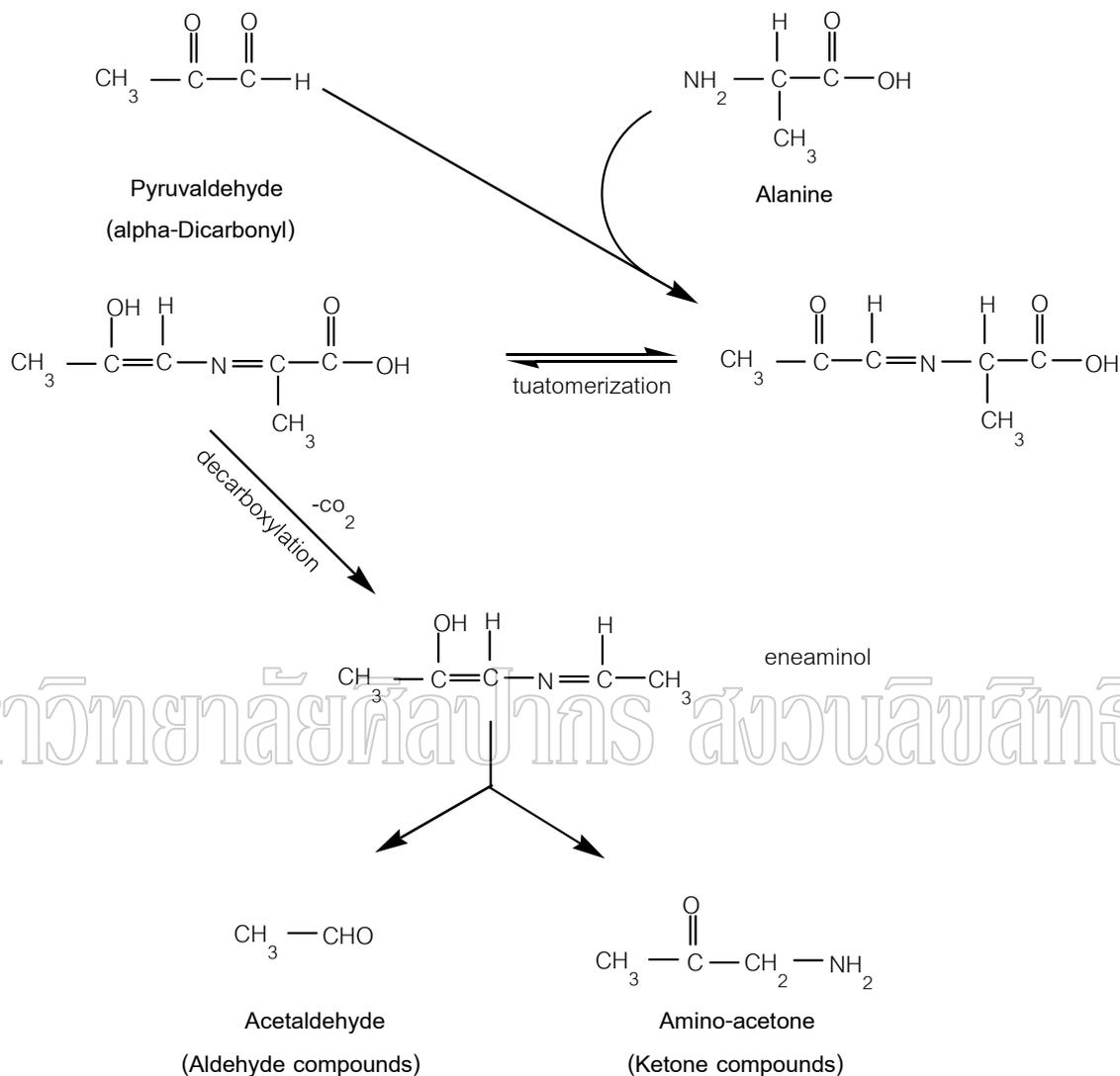
รูปที่ 2.8 การเกิด 1,4-dideoxyhexosulose จาก Amadori rearrangement  
ที่มา: Scarpellino และ Soukup (1993)



มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสารอินทรีย์

รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยา Aldol และ retro-aldol

ที่มา: Scarpellino และ Soukup (1993)



### รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยา Strecker degradation

ที่มา: Scarpellino และ Soukup (1993)

#### (3) ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)

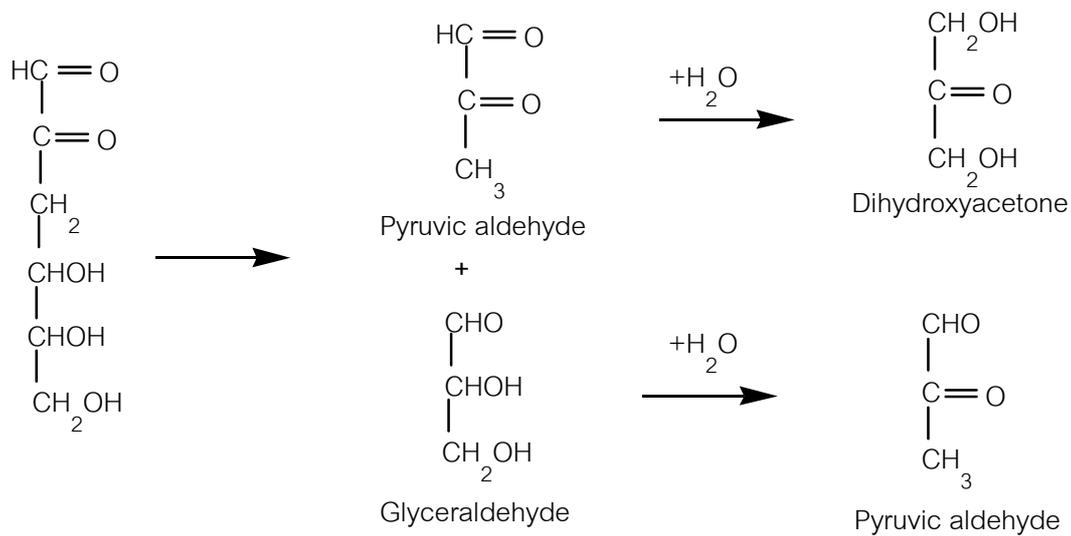
การเกิดพอลิเมอร์หรือปฏิกิริยาการรวมตัว (condensation) ในขั้นนี้ทำให้เกิดสารที่มีสีเข้มขึ้น และทำให้ได้สารที่มีมวลโมเลกุลสูง โดยเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวแบบอัลดอล (aldol condensation) คือ ปฏิกิริยาการรวมตัวของอัลดีไฮด์ หรือคีโตนที่มีแอลฟาไฮโดรเจน ( $\alpha$ -H) เกิดเป็นสารเบต้าไฮดรอก

ซีอัลดีไฮด์ (aldol) หรือเบต้าไฮดรอกซีคีโตน (สุนันทา, 2539) และเกิดพอลิเมอร์ได้สารประกอบเฮเทอโรไซคลิกไนโตรเจน (heterocyclic nitrogen compound) (Kamuf และคณะ, 2003)

ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันจะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวแบบอัลดอลย้อนกลับ (retro-aldol condensation) ของ deoxyhexosulose ได้สารประกอบคาร์บอนิลที่มีคาร์บอน 2 ถึง 4 อะตอม ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นรสที่มีโครงสร้างเป็นเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic flavor) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

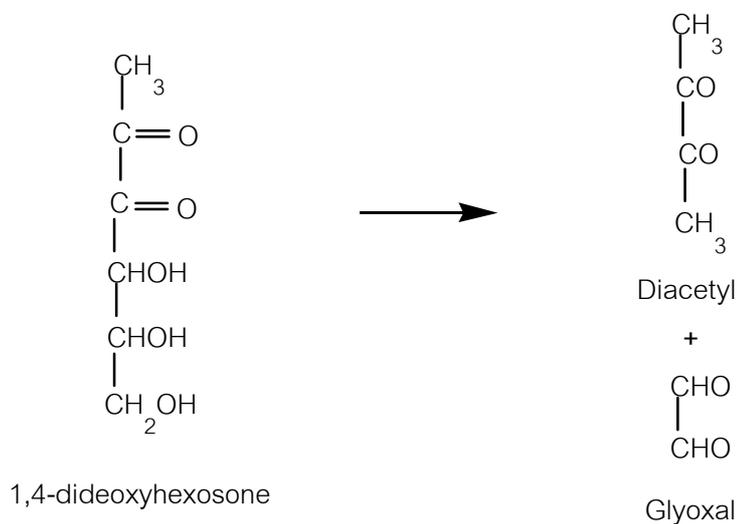
Furfural และ 5-hydroxymethylfurfural เป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต โดย dehydroreductone (1,2-dicarbonyl) ที่ได้จากน้ำตาลเฮกโซสสามารถเกิดโครงสร้างวงแหวนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 5 และสูญเสียน้ำได้เป็น 5-hydroxymethylfurfural ซึ่งสารประกอบนี้จะให้กลิ่นคาราเมลอ่อน ๆ แต่ไม่ใช่องค์ประกอบทางด้านกลิ่นรสที่สำคัญ ส่วน dehydroreductone ที่ได้จากน้ำตาลเพนโทสสามารถเกิดโครงสร้างที่เป็นวงแหวนและสูญเสียน้ำได้เป็น furfural ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญในการให้กลิ่นคาราเมล ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (พิศมัย, 2547)

ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเกิดพอลิเมอร์ระหว่าง furfural, furanones และ ไดคาร์บอนิลกับเอมีน กรดอะมิโน ไฮโดรเจน ซัลไฟต์ อัลดีไฮด์ ไธออล (thiols) และแอซีตัลดีไฮด์ (acetaldehydes) เกิดเป็นสารให้กลิ่น โดยเฉพาะสารที่มีโครงสร้างเฮเทอโรไซคลิก ได้แก่ ไพริดีน ไพราซีน พูแรน ไพโรล (pyrroles) ไทโอฟิน (thiophenes) ออกซาโซล (oxazoles) ไทอะโซล (thiazoles) และ อิมิดาโซลฟูราไธออล (imidazole furathiols) ซึ่งสารระเหยดังกล่าวหากเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสารสีน้ำตาล คือ เมลานอยดิน



## Retro-aldol condensation

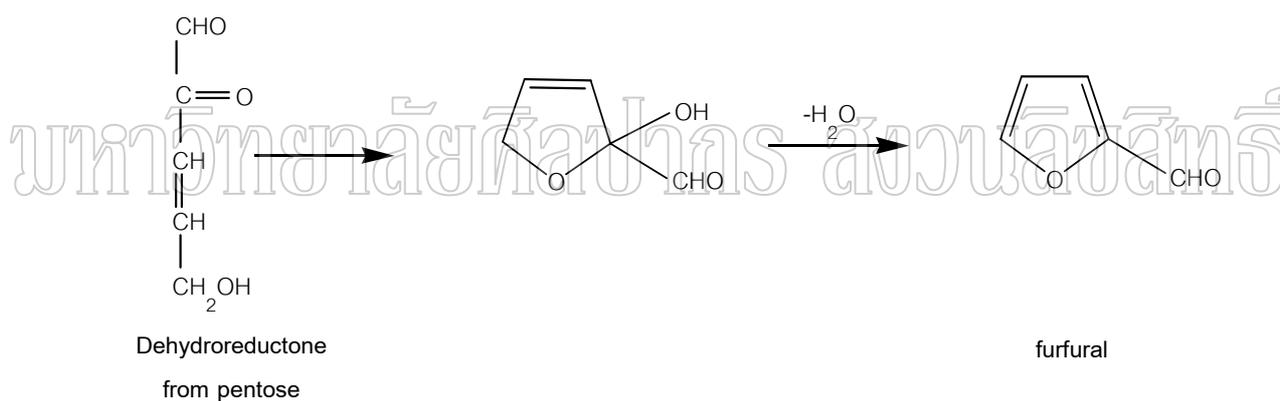
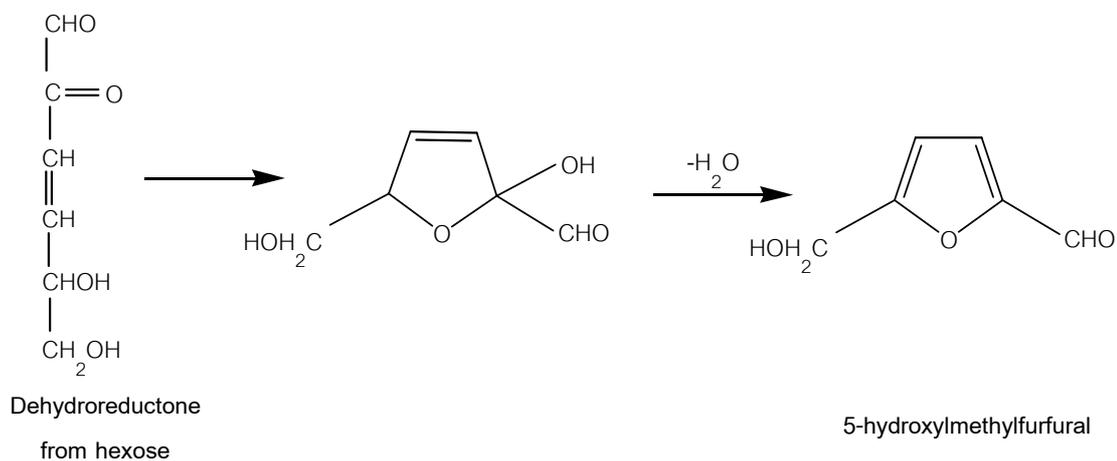
มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวนลิขสิทธิ์



## Retro-aldol condensation of deoxyhexosones

รูปที่ 2.11 การเกิด Retro-aldol condensation

ที่มา: Scarpellino และ Soukup (1993)



รูปที่ 2.12 การเกิด furfural และ 5-hydroxymethylfurfural

ที่มา: Scarpellino และ Soukup (1993)

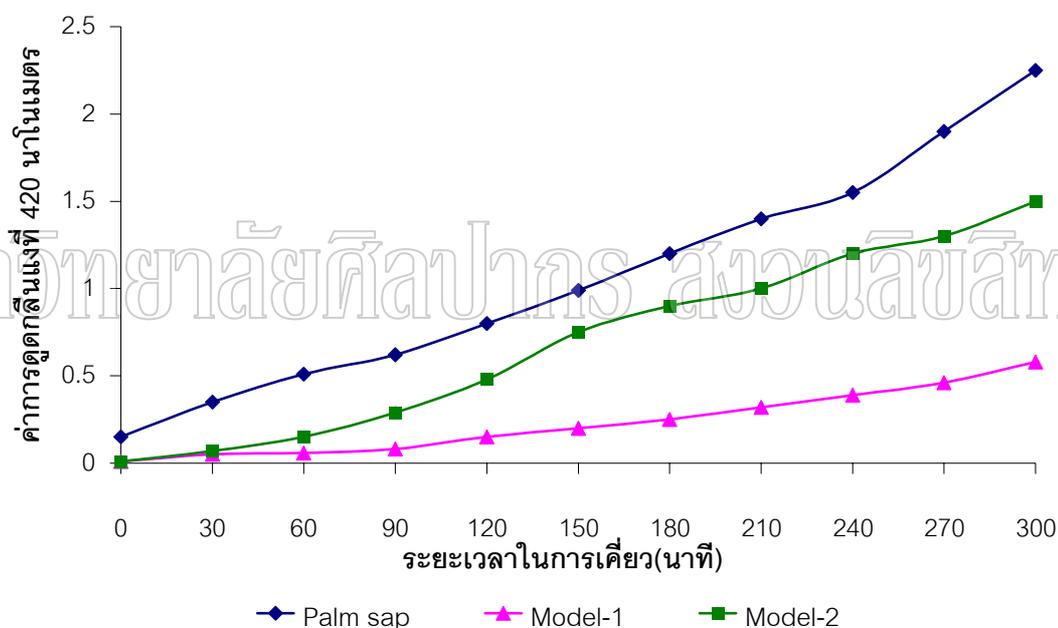
ในระหว่างการเคี้ยวน้ำตาลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำตาลสดเป็นสีน้ำตาลและมีกลิ่นหอม ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น ฟูแรน และไพราซีน การเกิดไพราซีนนี้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนั้นนอกจากจะเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันแล้ว ยังอาจเกิดได้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งน่าจะมีส่วนสำคัญในการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเคี้ยวน้ำตาล (Apriyantono และคณะ, 2002)

Apriyantono และคณะ (2002) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลสด พบว่ามีไนโตรเจน 0.19% มีน้ำตาลรีดิวซ์ 4.80% และมีค่าพีเอช 6.40 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบของน้ำตาล เช่น ฟรุคโตส และ ไพรูวอีน ซึ่ง เป็นสารมัธยันตรที่เพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มขึ้นตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในระหว่างการเคี้ยว น้ำตาล (จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร)

นอกจากนี้ Apriyantono และคณะ (2002) ได้ทดลองเคี้ยวตัวอย่างน้ำตาล 3 ตัวอย่าง คือ น้ำตาลมะพร้าวสดที่มีองค์ประกอบของกลูโคส 3.42% ฟรุคโตส 1.56% และซูโครส 7.22% (ตัวอย่างที่ 1) แบบจำลองที่หนึ่งซึ่งเป็นสารละลายที่มีกลูโคส 3.42% ฟรุคโตส 1.56% และซูโครส 7.22% (ตัวอย่างที่ 2) และแบบจำลองที่สองซึ่งเป็นสารละลายที่มีกลูโคส 3.42% ฟรุคโตส 1.56% ซูโครส 7.22% และไลซีน 0.01% (ตัวอย่างที่ 3) พบว่าอัตราการเกิดสีน้ำตาลของน้ำตาลมะพร้าวสดคล้อย กับแบบจำลองที่สองมากที่สุดซึ่งจะเกิดทั้งปฏิกิริยาเมลลาร์ดและคาราเมลไรเซชัน ในขณะที่ แบบจำลองที่หนึ่งจะเกิดเฉพาะปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเท่านั้น ดังรูปที่ 2.13 และเมื่อทำการศึกษา อัตราการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น โดยการเคี้ยวน้ำตาลสดที่มีพีเอชเริ่มต้นประมาณ 8 ในกระเพาะเปิดที่ อุณหภูมิ 105, 115 และ 121 องศาเซลเซียส นาน 300 นาที โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสี น้ำตาลที่เกิดขึ้นทุกๆ 30 นาที พบว่าสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยมีค่าคงที่อัตราการ เกิดปฏิกิริยา เท่ากับ  $0.87 \times 10^{-3}$  AU/นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ค่าคงที่อัตราการ เกิดปฏิกิริยา เท่ากับ  $4.46 \times 10^{-3}$  AU/นาที ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส และค่าคงที่อัตราการเกิด ปฏิกิริยา เท่ากับ  $6.58 \times 10^{-3}$  AU/นาที ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

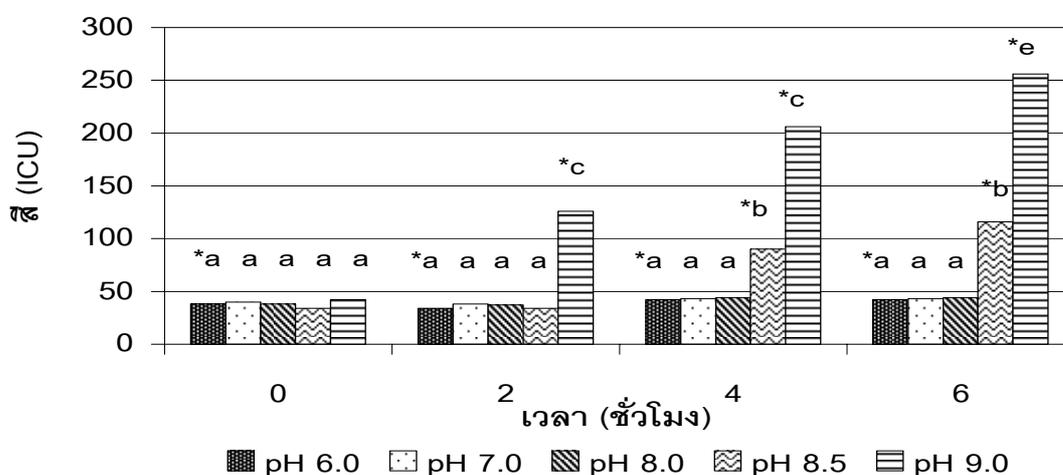
ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการเคี้ยวน้ำตาล คือ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ออกซิเจน ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส น้ำตาลอินเวอร์ทและกรดอะมิโน Zerban (1947) ได้ศึกษา การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นในระหว่างการเคี้ยวน้ำตาลพบว่า เมื่อพีเอชคงที่การก่อตัวของสีจะ ขึ้นอยู่กับค่าของอุณหภูมิคูณด้วยเวลา และสีจะเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจนได้มากกว่าในบรรยากาศ เฉื่อย

จากการศึกษาของ Andrew และคณะ (2002) พบว่า ปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ท์และฟิโอสเริ่มต้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นในระหว่างการเคี้ยวน้ำตาลซูโครส เมื่อเคี้ยวสารละลายซูโครส 65 °Brix ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ท์อยู่ 0.5% และปรับฟิโอส 6, 7, 8, 8.5 และ 9 ตามลำดับ จะเกิดสีน้ำตาลมากที่สุดที่ฟิโอส 9 ค่าฟิโอสที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น เนื่องจากในสภาวะที่เป็นด่างน้ำตาลอินเวอร์ท์จะเกิดปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน และตัวอย่างจะเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาเคี้ยวเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเคี้ยวของน้ำตาลสด, Model-1 (ประกอบด้วยกลูโคส 3.42%, ฟรุคโตส 1.56% และซูโครส 7.22%) และ Model-2 (ประกอบด้วยน้ำตาลเหมือน Model-1 และ ไลซีน 0.01%) โดยปรับฟิโอส 8.0 ในทุกตัวอย่าง

ที่มา: Apriyantono และคณะ (2002)



รูปที่ 2.14 ผลของพีเอชต่อการเกิดสีของสารละลายน้ำตาล (ซูโครส 65 °Brix น้ำตาลอินเวอร์ท์ 0.5% อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส) (ตัวอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $\alpha=0.05$ ); P-value<0.0001)

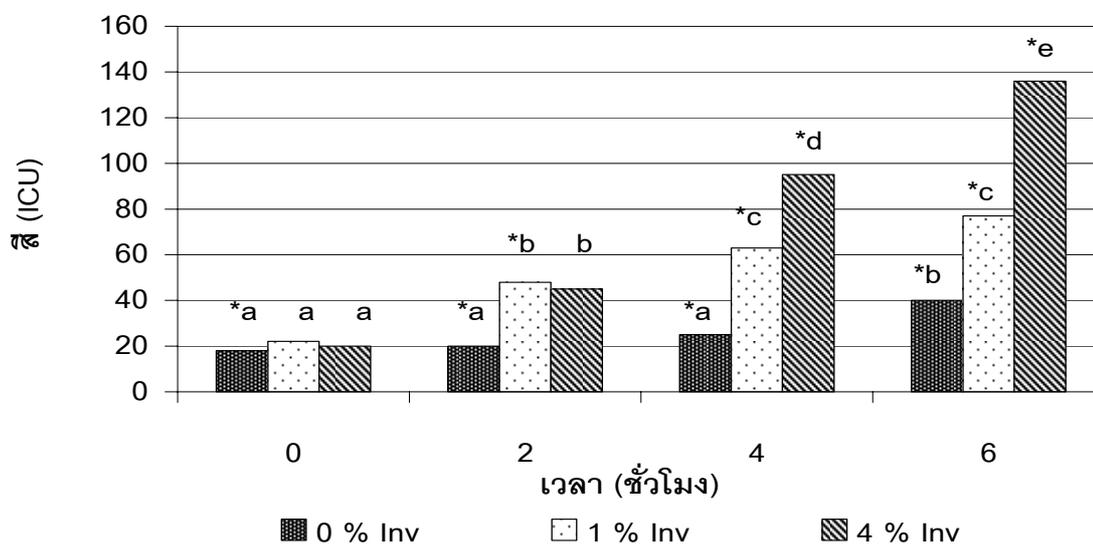
ที่มา: Andrew และคณะ (2002)

## มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

เมื่อเคี้ยวสารละลายน้ำตาลซูโครส 15 °Brix โดยเปรียบเทียบระดับน้ำตาลอินเวอร์ท์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 1 และ 4 (wet basis) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 9 เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่าการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดได้มากขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ท์สูงขึ้น และระยะเวลาให้ความร้อนนานขึ้น ดังรูปที่ 2.15

### 2.6.5 การสลายตัวของน้ำตาล

กล้าณรงค์ (2532) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลสดพบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 14.72% (% wet basis) ประกอบด้วยซูโครส 11.64% กลูโคส 0.24% และฟรุคโตส 2.84% หลังจากเคี้ยวน้ำตาลสดผลิตเป็นน้ำตาลปีบหรือน้ำตาลปี๊บจะมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 74.41% ประกอบด้วยซูโครส 66.49% กลูโคส 3.81% และฟรุคโตส 4.11%



รูปที่ 2.15 ผลของน้ำตาลอินเวอร์ตต่อการเกิดสีของสารละลายน้ำตาล (ซูโครส 15 °Brix พีเอช 9.0 อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส) (ตัวอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

( $\alpha = 0.05$ );  $P\text{-value} < 0.0001$ )

ที่มา: Andrew และคณะ (2002)

Apriyantono และคณะ (2002) พบว่าในระหว่างการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวปริมาณน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตสจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังตารางที่ 4 โดยกลูโคสจะลดลงตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ และฟรุคโตสลดลงตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ในขณะที่อัตราการลดลงของซูโครสไม่ใช่ทั้งปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับหนึ่ง

Bell และคณะ (1998) ทำการศึกษาปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นในของแข็งที่มีความชื้นต่ำในสภาวะคล้ายแก้วโดยได้รับอิทธิพลจากความเข้มข้นและชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้ พบว่าสารผสมระหว่างกลูโคสกับไกลซีนจะมีการสลายตัวของกลูโคสตามปฏิกิริยาอันดับสองในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และซิเตรทบัฟเฟอร์

ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในระหว่างการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว

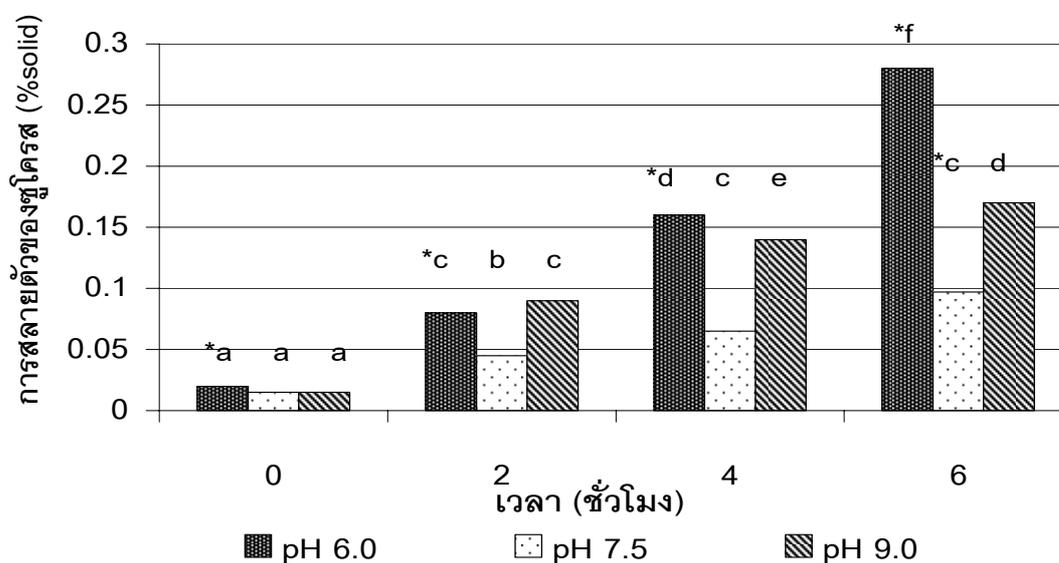
ปัจจัย	ระยะเวลาในการให้ความร้อน (นาที)				
	0	22.5	45	67.5	90
น้ำหนัก (กรัม)	2637.5	1926.0	1254.4	762.3	355.4
พีเอช	6.40	6.35	6.10	6.05	n.a.
ความเข้มข้นน้ำตาล (420 นาโนเมตร)	0.127	0.163	0.363	0.451	0.562
% ความชื้น	87.07	81.39	71.12	53.69	6.95
ไนโตรเจนทั้งหมด (กรัม)	0.7	n.a.	n.a.	n.a.	0.4
ซูโครส (กรัม)	345.0(100%) <sup>*</sup>	344.2(99.8%)	342.9(99.4%)	319.8(92.7%)	288.7(83.7%)
กลูโคส (กรัม)	45.7(100%) <sup>*</sup>	41.3(90.3%)	32.4(70.8%)	20.7(45.3%)	12.6(27.7%)
ฟรุคโตส (กรัม)	35.8(100%) <sup>*</sup>	23.2(64.9%)	21.9(61.2%)	13.9(38.8%)	12.8(35.7%)

หมายเหตุ: \* หมายถึง % ของน้ำตาลแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับน้ำตาลก่อนเคี้ยว

ที่มา: Apriyantono และคณะ (2002)

เนื่องจากน้ำตาลสดจะมีค่าพีเอชประมาณ 4-7 ดังนั้นในระหว่างการเคี้ยวน้ำตาลการสลายตัวของซูโครสส่วนใหญ่จะเกิดจากกรดและความร้อน ได้เป็นฟรุคโตสและกลูโคส จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและคาราเมลไลเซชัน ได้สารประกอบที่มีสีน้ำตาล กรด และสารระเหยหลายชนิด

จากการศึกษาของ Andrew และคณะ (2002) พบว่า ปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทและพีเอชเริ่มต้นจะมีผลต่อการสลายตัวของซูโครสที่เกิดขึ้น โดยที่การสลายตัวของซูโครสจะเกิดได้ดีที่สุดที่พีเอชต่ำ และที่พีเอชสูงซูโครสจะเกิดการสลายตัวมากกว่าที่พีเอชเป็นกลาง ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ผลของพีเอชต่อการสลายตัวของซูโครส (ซูโครส 15 °Brix ไม่เติมน้ำตาลอินเวอร์ท

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส) (ตัวอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญ ( $\alpha = 0.05$ ); P-value < 0.0001)

ที่มา: Andrew และคณะ (2002)

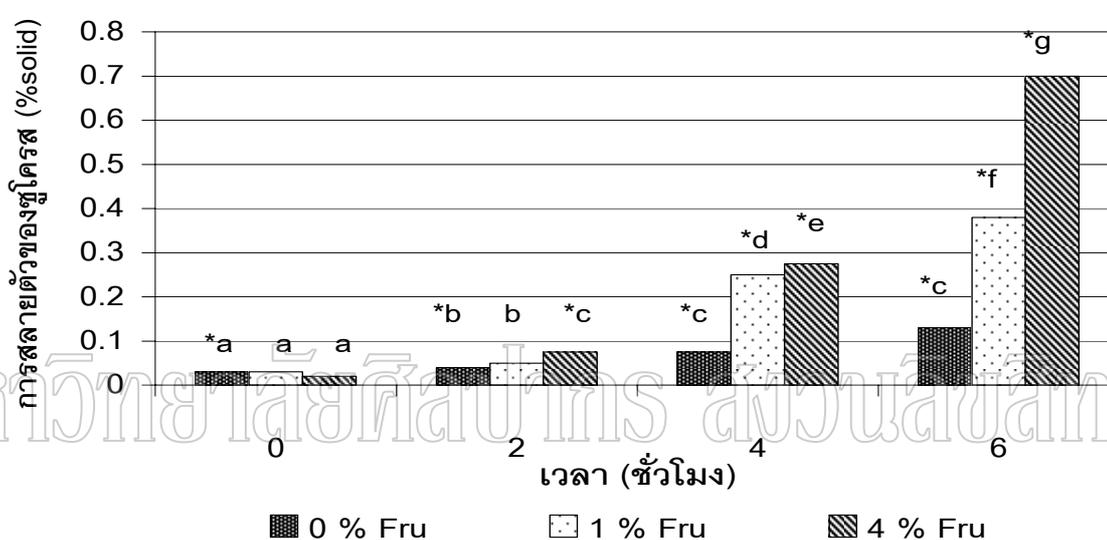
เมื่อเคี้ยวน้ำตาลนานขึ้นก็จะทำให้เกิดการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น และเมื่อในสารละลายน้ำตาลซูโครสมีน้ำตาลฟรุคโตสอยู่มาก ก็จะทำให้เกิดการสลายตัวของซูโครสมากขึ้นเช่นกัน ดังรูปที่ 2.17

## 2.7 คุณภาพของน้ำตาลมะพร้าว

### 2.7.1 การจัดชั้นคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าว

การจัดชั้นคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวยังไม่มีหลักเกณฑ์หรือเครื่องวัดที่แน่นอน แต่อาศัยประสบการณ์และความเชี่ยวชาญโดยพิจารณาจากสิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นองค์ประกอบ (นฤมล, 2527)

คือ สีของน้ำตาลมะพร้าวที่ดีจะต้องดูใสสะอาด สีออกขาวนวลหรือเหลืองทอง ที่เรียกกันว่าสีลาน ถ้าสีออกแดงจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ แดงสวยซึ่งเป็นน้ำตาลมะพร้าวที่ไม่ได้ใส่ผงฟอกสี และแดงไม่สวยซึ่งเป็นน้ำตาลที่เคี้ยวไม่ดีใช้ไฟแรงเกินไป สีของน้ำตาลจะต้องเสมอกันตลอดทั้งปีบซึ่งตรวจสอบได้โดยการใช้เหล็กแทงลงไปให้ตลอดความสูงของปีบ แล้วดึงขึ้นมาดูเนื้อน้ำตาลที่ติดออกมาที่แท่งเหล็ก



รูปที่ 2.17 ผลของน้ำตาลฟรุคโตสต่อการสลายตัวของซูโครส (ซูโครส 15 °Brix พีเอช 6.0 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส) (ตัวอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (a = 0.05); P-value < 0.0001)

ที่มา: Andrew และคณะ (2002)

ลักษณะของน้ำตาลมะพร้าวที่ดีจะต้องมีลักษณะของเนื้อแน่นละเอียดไม่จับตัวเป็นก้อน มีความแห้งและแข็งพอเหมาะ ไม่เป็นรา จะต้องสะอาดไม่มีเปลือกไม้ เศษผงหรือเกสรของมะพร้าวหลงเหลืออยู่ในเนื้อน้ำตาล และไม่มีสิ่งปลอมปนอื่นๆ ถ้าสงสัยว่ามีสิ่งเจือปนจะทดลองโดยการเอาน้ำตาลไปละลายน้ำแล้วทิ้งไว้สักครู่ ถ้ามีตะกอนแสดงว่ามีสิ่งเจือปน กลิ่นและความหวานจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยให้ชิมว่ามีรสหวานเพียงใด มีกลิ่นหอมหรือไม่อย่างไร

ภาชนะที่ใช้บรรจุนิยมใช้ปี๊บ สำหรับน้ำตาลเกรดดีหรือน้ำตาลคัด ผู้ผลิตมักบรรจุในปี๊บใหม่ ถ้าบรรจุในปี๊บเก่าจะทำให้น้ำตาลมอดูไม่สะอาด ผู้ผลิตอาจถูกตัดราคาลง (ศิริพร, 2519)

### 2.7.2 การผลิตน้ำตาลมะพร้าวให้มีคุณภาพดี

กล้าณรงค์ (2532) แนะนำวิธีการการผลิตน้ำตาลมะพร้าวให้มีคุณภาพดี ดังนี้

- (1) ต้องรักษาต้นไม้ให้สะอาดปราศจากโรคและแมลง
- (2) อุปกรณ์ในการทำน้ำตาลมะพร้าวทุกชิ้น ต้องล้างให้สะอาด โดยเฉพาะกระบอกรองน้ำตาลสดจะต้องล้างให้สะอาดและลวกด้วยน้ำเดือดทุกครั้ง
- (3) ต้องทำการกรองน้ำตาลสดให้สะอาด ปราศจากเศษผง แมลงและเปลือกไม้ต่างๆ
- (4) เมื่อเคี้ยวน้ำตาลได้ที่แล้ว การเทน้ำตาลลงปี๊บจะต้องเทลงไปไม่เกิน 9 ถึง 10 กิโลกรัม เพราะถ้าเทลงปี๊บครั้งละมากๆ เมื่อน้ำตาลเย็นลงจะแข็งเฉพาะบริเวณรอบนอก ตรงกลางจะเหลวและถ้าจะทำการเทน้ำตาลลงปี๊บที่มีน้ำตาลบรรจุอยู่ก่อนแล้ว ควรรอให้น้ำตาลที่บรรจุอยู่เดิมเย็นลงเสียก่อน

### 2.7.3 การปรับปรุงคุณภาพน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว

Norris และ คณะ (1922) กล่าวถึงวิธีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำตาลไว้ว่า ความสะอาดเป็นสิ่งสำคัญอันดับแรก น้ำตาลสดที่รวบรวมมาได้ควรผ่านการกรองให้ใสสะอาดเสียก่อนที่จะนำไปเคี้ยว ส่วนปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเก็บรักษาน้ำตาลที่เคี้ยวแห้งแล้วนั้น คือ ความชื้น เนื่องจากน้ำตาลสดจากมะพร้าวโดยธรรมชาติจะมีคลอรีนเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำอ้อย และกรรมวิธีการเคี้ยวน้ำตาลในสมัยก่อนนิยมใช้ปูนขาวทำให้ทั่วภายในภาชนะที่ใช้เคี้ยว การเคี้ยวน้ำตาลโดยวิธีนี้จะทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารที่ดูดความชื้นได้ดีมาก ถ้ามีอยู่ในน้ำตาลมะพร้าว 1% จะทำให้น้ำตาลขึ้นและเหลวตัวลงอย่างรวดเร็วทำให้เก็บน้ำตาลไว้ไม่ได้นาน (ศิริพร, 2519)

กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม (2506) ได้ศึกษาหาสาเหตุที่น้ำตาลบูด และน้ำตาลที่เคี้ยวแห้งแล้วแปรสภาพเก็บไว้ได้ไม่นาน พบว่าเอนไซม์ที่มีอยู่ในน้ำตาลสดเองและจุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไปในอากาศทำให้ซูโครสซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำตาลสดเกิดการสลายตัว และเมื่อทิ้งไว้ น้ำตาลอินเวอร์ทจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการเจริญจนเกิดการบูดขึ้น ส่วนน้ำตาลที่เคี้ยวแห้งเก็บไว้ได้ไม่นาน สาเหตุคือมีน้ำตาลอินเวอร์ทอยู่ในน้ำตาลสดมาก หรือเคี้ยวน้ำตาลไม่แห้งพอ การแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการควบคุมให้มีน้ำตาลอินเวอร์ทในน้ำตาลสดไม่เกิน 1% โดยการรักษาความสะอาดที่รองรับ และใส่สารกันบูดด้วย เช่น ไม้เคี่ยม ไม้พยอบ หรือไม้ตะเคียน นอกจากนี้ยังมีสารเคมีที่พอใช้ได้ คือ โซเดียมไพโรซัลไฟต์ (sodium pyrosulphite) และ โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (sodium hydrosulphite) ซึ่งชาวบ้านใช้ฟอกสีอยู่แล้ว แต่ก็ได้ผลเพียงระยะสั้นเท่านั้น และยังพบข้อเสียของสารโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์อีกข้อหนึ่งคือทำให้น้ำตาลที่แห้งแล้วกลับขึ้นเร็วขึ้น ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยพยายามเคี้ยวน้ำตาลให้แห้ง ไม่ให้ความชื้นเกิน 10% น้ำตาลจึงจะเก็บไว้ได้นาน ไม่เลวง่าย

นิमित (2502) ได้แนะนำวิธีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าว ดังนี้

- (1) การเก็บน้ำตาลสดในฤดูที่ได้น้ำตาลที่มีความหวานมากที่สุดและดีที่สุดสำหรับการทำน้ำตาล คือน้ำตาลสดที่รองได้ในเดือนธันวาคมถึงมีนาคมจะได้น้ำตาลที่มีคุณภาพดี ส่วนน้ำตาลที่เก็บในฤดูฝนคือ เดือนกรกฎาคมถึงเดือนพฤศจิกายน จะมีสิ่งสกปรกปนอยู่มากไม่ควรใช้ทำน้ำตาลเพราะจะทำให้ได้น้ำตาลคุณภาพไม่ดี
- (2) การป้องกันน้ำตาลสดไม่ให้เกิดการบูดก่อนการนำไปเคี้ยวทำน้ำตาล เช่น การใส่เปลือกไม้ต่างๆ ซึ่งมีสารแทนนินอยู่เป็นตัวป้องกันการบูดและการใช้สารกันบูด เช่น พวกซัลไฟต์คิดเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 0.1% เพื่อทำให้น้ำตาลเสียช้าลงและมีสีขาวขึ้น
- (3) การกำจัดสิ่งที่ไม่บริสุทธิ์ที่มีในน้ำตาลสด เช่น พวกแอลบูมิน กลูเตน กรดและสารอินทรีย์อย่างอื่นที่ทำให้น้ำตาลเสียออกให้หมดก่อนการทำน้ำตาล โดยเอาปูนขาวใส่ลงไป ในน้ำตาลสดจน กระทั่งวัดค่าพีเอช ได้ระหว่าง 8.0 ถึง 8.5 ต้มให้เดือดสักครู่ แล้วกรองออกด้วยผ้าขาวหรือเครื่องกรองแบบ filter press แล้วจึงเอาน้ำตาลที่กรองได้ ไปเคี้ยวโดยวิธีธรรมดา จะได้น้ำตาลที่มีคุณภาพดีและเก็บไว้ได้นาน
- (4) รักษาความสะอาดของเครื่องมือเครื่องใช้ในการทำน้ำตาลและภาชนะบรรจุน้ำตาล
- (5) การเคี้ยวน้ำตาลด้วยเครื่องเคี้ยวไอน้ำ พยายามเคี้ยวให้แห้งมากที่สุดและทำให้เย็นลง

โดยเร็วที่สุด เพื่อจะได้น้ำตาลที่มีสีดี คือ มีสีค่อนข้างขาว

(6) อย่าให้น้ำตาลที่เก็บไว้สัมผัสกับอากาศ ควรเก็บในที่อากาศเข้าได้ยาก เช่น ในบับหรือขวดที่ปิดแน่น หรือใช้ขี้ผึ้งพาราฟินมาเคลือบและเทวดหน้าน้ำตาลนั้นให้มีความหนาพอสมควร เมื่อต้องการจะใช้น้ำตาลเมื่อใด ก็ขูดพาราฟินที่ราดอยู่นี้ออกก่อนใช้

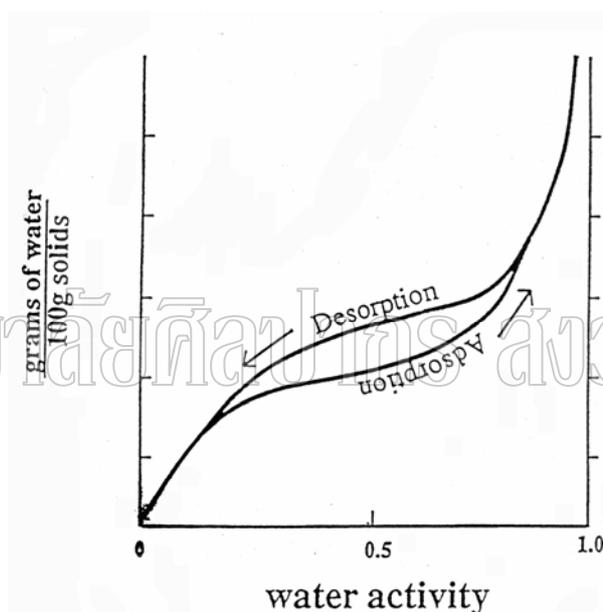
## 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำตาลมะพร้าวในระหว่างการเก็บรักษา

Water Activity ( $a_w$ ) เป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่ออายุการเก็บของน้ำตาลมะพร้าว ในขณะที่อุณหภูมิ พีเอช และปัจจัยอื่น ๆ ก็มีผลกระทบต่อความเร็วในการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร  $a_w$  จะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการควบคุมการเสียของอาหาร ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเติบโตได้ที่  $a_w$  ต่ำกว่า 0.91 ในขณะที่ราส่วนมากหยุดการเจริญเติบโตเมื่อ  $a_w$  ต่ำกว่า 0.80 เราสามารถประเมินได้จากการวัดค่า  $a_w$  ว่าจุลินทรีย์ชนิดใดเป็นหรือไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเสีย  $a_w$  เป็นปัจจัยชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดที่มีอยู่เพื่อการเจริญของจุลินทรีย์ นอกจากนั้น  $a_w$  ยังมีผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์ และองค์ประกอบในอาหารซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสี รส และกลิ่นของอาหารอย่างชัดเจน

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและ  $a_w$  เป็นเรื่องซับซ้อน ค่า  $a_w$  มักจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นแต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง ความสัมพันธ์ระหว่าง  $a_w$  กับความชื้นที่อุณหภูมิที่กำหนดเรียกว่า Moisture Sorption Isotherm กราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สร้างได้จากการทำการทดลองเท่านั้น Moisture Sorption Isotherm สำหรับอาหารแทบทุกชนิดจะมีรูปร่างแบบ Sigmoidal (รูปที่ 2.18) แต่อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลมากหรือมีโมเลกุลที่ละลายได้น้อย จะได้กราฟ Isotherm รูปคล้ายตัว J กราฟ Moisture Sorption Isotherm จากการทดลอง ซึ่งเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วเพิ่มความชื้นมากขึ้นเรื่อย ๆ (adsorption) ไม่จำเป็นต้องเหมือนกับกราฟ Isotherm จากการทดลองผลิตภัณฑ์เดียวกันในสภาพชื้นแล้วลดความชื้นลงเรื่อย ๆ (desorption)

### 2.8.1 ผลของ Water Activity ต่อปฏิกิริยาเคมีในอาหาร

อาหารมักจะมีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Millard reaction) ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาล ที่ไม่เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากเอนไซม์ การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อค่า  $a_w$  สูงขึ้น โดยจะเกิดได้สูงสุดที่ช่วง  $a_w$  0.60 ถึง 0.70 แต่ในผลิตภัณฑ์บางชนิดเมื่อเพิ่มค่า  $a_w$  ก็จะทำให้ชะลอการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ ดังนั้นการ ตรวจวัดและควบคุมค่า  $a_w$  ในผลิตภัณฑ์จึงเป็นวิธีที่ดีในการควบคุมปัญหาการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด



รูปที่ 2.18 ตัวอย่าง Absorption และ Desorption Isotherm ซึ่งมีรูปแบบ Sigmoidal  
ที่มา: Throller and Christian (1978)

$a_w$  มีผลกระทบต่อความคงตัวในด้านคุณสมบัติตามธรรมชาติของโปรตีนและเอนไซม์อย่างชัดเจน เอนไซม์และโปรตีนเกือบทุกชนิดต้องรักษาสภาพตามธรรมชาติไว้เพื่อให้สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติ ดังนั้นการรักษาระดับของ  $a_w$  เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารเหล่านี้จึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของอาหารอย่างมาก ปฏิกิริยาจากเอนไซม์ส่วนมากจะช้าลงที่ระดับ  $a_w$  0.80 อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาเหล่านี้บางปฏิกิริยาก็สามารถเกิดได้แม้ที่ระดับ  $a_w$  ต่ำมาก ๆ การเสื่อมเสีย

ประเภทนี้จะมีผลให้เกิดกลิ่นและรสที่รุนแรงจนผู้บริโภคไม่ยอมรับได้ โดยทั่วไปการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาของเอ็นไซม์มักไม่เกิดกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการใช้อุณหภูมิสูงในการผลิต

## 2.8.2 ผลของ Water Activity ต่อการเสี่ยของอาหาร

เนื่องจาก ยีสต์ รา และแบคทีเรียจำเป็นต้องใช้น้ำอิสระในการเจริญเติบโต การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีค่า  $a_w$  ต่ำกว่า 0.60 จะช่วยควบคุมการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้ได้ ตัวอย่างของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารและระดับของ  $a_w$  ที่จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถเจริญเติบโตได้แสดงในตารางที่ 2.4 วิธีที่ง่ายที่สุดในการลด  $a_w$  ในอาหารคือ การกำจัดน้ำในอาหาร เช่น การอบ หรือการทำให้แห้ง

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารที่ระดับ Water Activity ต่าง ๆ

Water Activity ( $a_w$ )	จุลินทรีย์ที่ถูกยับยั้ง	ตัวอย่างอาหาร
0.950	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , ยีสต์บางชนิด	อาหารที่เน่าเสียง่าย เช่น ผัก ผลไม้สด นม เนื้อ ปลา ไส้กรอก ขนมปัง
0.910	<i>Salmonella</i> , <i>Vibrio parabaenolyticus</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , ราบาง ชนิด	แฮม น้ำผลไม้เข้มข้นซึ่งมีน้ำตาล 55% โดยน้ำหนัก หรือ มีเกลือ (NaCl) 12%

Water Activity ( $a_w$ )	จุลินทรีย์ที่ถูกยับยั้ง	ตัวอย่างอาหาร
0.870	ยีสต์หลายชนิด	ซาลามี มาการีน เค้กไข่ขาว (Sponge cake) อาหารซึ่งมีน้ำตาล 65% โดยน้ำหนักหรือ มีเกลือ (NaCl) 15%
0.800	<i>Mycotoxigenic penicillia</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	น้ำผลไม้เข้มข้นเกือบทุกชนิด นมข้นหวาน ข้าว แป้ง เค้ก ผลไม้ เค้กที่ใส่น้ำตาลมาก
0.750	Halophilic bacteria	แยม มาร์มาเลด
0.650	Xerophilic molds	เยลลี่ โมลาส ถั่ว ผลไม้อบแห้งบางชนิด
0.600	Osmophilic yeasts และราบางชนิด	ผลไม้แห้งความชื้นประมาณ 15-20% น้ำผึ้ง ทอफी คาชาเมล
0.500	จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้	เครื่องเทศความชื้นประมาณ 10% เส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง ความชื้นประมาณ 12%
0.400	จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้	ไข่ผง ความชื้นประมาณ 5%
0.300	จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้	คูกี้ แครกเกอร์ความชื้นประมาณ 3-5%