บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะขาม (5)

มะขามเป็นพืชที่รู้จักแพร่หลายกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ นับเป็นเวลานานมาแล้ว ถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในอาฟริกาตะวันออก แต่บางคนเข้าใจว่ามะขามนี้มีถิ่นกำเนิดในอินเดีย ส่วนการแพร่หลายเข้ามาสู่ประเทศไทยนั้นคงจะมีมานานแล้ว

มะขามมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า ทามารินดัส อินดิกา ลิน (Tamarindus indica Linn.) อยู่ในวงศ์ซีซาลบิเนียซี(Caesalpiniaceae) ซึ่งมีชื่อท้องถิ่นที่ใช้เรียกกันในประเทศต่าง ๆ ดังนี้

ไทยเรียก มะขาม, ขาม

ฟิลิปปินส์เรียก ทามารินโด(Tamarindo)

อาหรับเรียก ทามาร์-อี-อิน(Tamar-i-hind)

อินเดียเรียก อิมลิ(Imli) หรือ อัมลาพรักซา(Amlavraksha)

มะขามมีลักษณะเป็นพันธุ์ไม้ใหญ่สูง 12 - 18 เมตรมีใบเขียวตลอดปี ใบยาว 6-10 เซนติเมตรลักษณะเป็นใบรวมมีใบย่อย 20-40 ใบแต่ละใบยาว 1-2 เซนติเมตร โค้งเล็กน้อย มีเมล็ด 3-12 เมล็ด ๆ มีสีน้ำตาล จะเริ่มให้ฝักได้เมื่ออายุ 10-12 ปีและอายุยืน 80-100 ปี มะขามจะออกดอกในเดือนมิถุนายน - กรกฎาคมและเก็บฝักได้ในเดือน กุมภาพันธ์ - มีนาคม ซึ่งในระยะนี้เนื้อในฝักมะขามจะแห้งหดตัวลงภายในเปลือกมะขามนั้น ฝักมะขามจะถูกแกะเอาเปลือกและเมล็ดออกเหลือแต่เนื้ออัดรวมกันเป็นปั้น ระหว่างที่เก็บเนื้อมะขามซึ่งเดิมมีสีน้ำตาลแดงจะมีสีคล้ำลง ภายหลัง 1 ปีสีจะคล้ำจนเกือบดำ

แม้ว่ามะขามจะให้ผลผลิตครั้งแรกได้ช้าคือหลังจาก 10-12 ปีแต่หลังจากนั้นจะได้รับผลผลิตตอบแทนคุ้มค่าเนื่องจากมะขามเป็นพืชที่มีอายุยืนนั่นเอง

พันธุ์มะขามที่ใช้ทำมะขามปียกเท่าที่ปลูกกันอยู่ทั่วไปนิยมแบ่งพันธุ์หรือเรียกชื่อพันธุ์ตามลักษณะของฝัก ดังแสดงในรูปที่ 1 ได้แก่

2.1.1 มะขามกระบอก ฝักยาว ค่อนข้างกลม

2.1.2 มะขามขี้แมว ฝักเล็ก สั้น กลม

2.1.3 มะขามกระดาน ลักษณะของฝักยาว ใหญ่กว่าทุกพันธุ์ ฝักค่อนข้างแบน ฝักโค้งงอ เนื้อมีรสเปรี้ยวจัด

มะขามเป็นพืชที่ทนแล้งสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศแทบทุกชนิด ทนทานต่อสภาพความแห้งแล้ง

2.2 ประโยชน์ของมะขาม

มะขามเปรี้ยวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของคนเรามาก ส่วนต่าง ๆ ของมะขามเปรี้ยวเกือบทุกส่วน สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นเนื้อมะขามทั้งอ่อนและแก่นำมาใช้ประกอบอาหาร ใช้กินเป็นของเล่น ใช้ปรุงรสน้ำซอสต่าง ๆ ใช้เตรียมเป็นเครื่องดื่มแก้กระหายน้ำ ใบอ่อนและยอดอ่อนใช้ปรุงอาหาร เมล็ดมะขามใช้ทำแป้ง กาว สีย้อมผ้า ต้นมะขามที่มีขนาดโต ใช้ทำเชียงคุณภาพดี

มะขามเป็นสมุนไพร เอนกประสงค์

เนื้อมะขามเปียก - ใช้เป็นยาระบายในคนและสัตว์ ใช้แก้ไอ ขับเสมหะ

เมล็ด - ใช้ถ่ายพยาธิเส้นด้าย และพยาธิตัวกลม

เปลือก - ใช้เป็นยาแก้ท้องเดิน โดยนำไปต้มกับน้ำดื่ม

ใบสด - ใช้เป็นสมุนไพรที่ต้มอาบ

2.3 องค์ประกอบและคุณค่าทางอาหารของมะขาม (1)

จากการวิเคราะห์ในอินเดียปรากฏผลดังแสดงในตารางที่ 2.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1 ลักษณะฝักของมะขามเปรี้ยวพันธุ์ต่าง ๆ

ก - มะขามกระบอก

ข - มะขามขี้แมว

ค - มะขามกระดาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 Composition of tamarind fruit & pulp

Fruit		Pulp	
Pulp	55%	moisture	18.2%
Seeds	33%	free tartaric acid	9.8%
Fiber	12%	combined acid	6.7%
		invert sugars	38.2%
		pectin	2.4%
		protein	2.8%
		cellulosic residue	19.4%
		ash	2.8%

2.4 การเกิดสารสีน้ำตาลในอาหาร

การเกิดสารสีน้ำตาลในอาหารเป็นปรากฏการณ์ที่พบได้ทั่วไปซึ่งมีผลต่อ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏและคุณค่าทางอาหาร(6, 7) การเกิดสารสีน้ำตาลในผักและผลไม้เรียกว่า browning ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการปอก หั่น หรือตัด โดยสารประกอบ phenolics ที่อยู่ในผักและผลไม้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศโดยมีเอนไซม์ polyphenol oxidases เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเกิดปฏิกริยาอื่น ๆ ตามมาจนได้สารสีน้ำตาล

ปกติแล้วเอนไซม์ polyphenol oxidases จะอยู่แยกกับสาร phenolics ดังนั้น ขณะที่ปอกผลไม้ใหม่ ๆ จึงไม่พบสารสีน้ำตาลดังกล่าว แต่เมื่อเนื้อเยื่อของผลไม้ได้รับความกระทบกระเทือนหรือถูกทำให้ช้ำด้วยวิธีการใด ๆ ก็ตามจะทำให้เอนไซม์ polyphenol oxidases ที่อยู่ในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้เป็นตัวเร่งให้สาร phenolics ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้สารซึ่งสามารถรวมตัวกับกรดอะมิโนและโปรตีนทำให้เกิดสารสีต่าง ๆ เช่นแดง ม่วงแดง น้ำตาลแดง จนถึง สีน้ำตาลดำซึ่งสารสีที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนและสาร

phenolics ในผักและผลไม้นั้นด้วย

ปกติการเกิดสารสีน้ำตาลนอกจากจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่นและรสชาติเป็นไปในทางที่ผู้บริโภคไม่พึงปราถนาแล้วยังทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง และยังมีผลเสียต่ออุตสาหกรรมอาหารบางชนิดอีกด้วยเช่นผลไม้กระป๋อง ผักและผลไม้แช่แข็ง น้ำผลไม้ ฯลฯ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำลง การแก้ไขอาจทำได้โดยการคัดพันธุ์ของผักและผลไม้ที่มีสาร phenolics ต่ำหรือการใช้ความร้อนซึ่งอาจทำได้โดยการลวก หรือต้มที่อุณหภูมิ 70 - 90 องศาเซลเซียสเพื่อทำลายเอนไซม์ polyphenol oxidases หรือเติมสารเคมีบางอย่างลงไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวเช่นการเติมสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การเติมกรดมะนาว ฯลฯ อย่างไรก็ตามการเกิดสารสีน้ำตาลในผักและผลไม้บางครั้งก็มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหารบางชนิดเช่น ชา ลูกพรุน องุ่นแห้ง และโกโก้ การเกิดสารสีน้ำตาลเป็นขั้นตอนที่ต้องการและสำคัญในการผลิตเพราะจะทำให้เกิดสารที่มีสี กลิ่น และรสชาติเฉพาะของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ

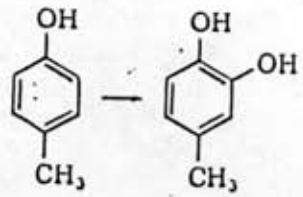
ผลิตภัณฑ์ผลไม้ส่วนมากเกิดการเปลี่ยนสีได้ง่ายในระหว่างการเตรียม การแปรรูปหรือการเก็บรักษา สีตามธรรมชาติของผลิตภัณฑ์อาจถูกทำลายไปและสร้างสารสีน้ำตาลดำขึ้นมาใหม่เป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลจนถึงสีดำ การเสื่อมเสียเนื่องจากการเกิดสารสีน้ำตาลเป็นปัญหาที่สำคัญในการเก็บรักษาผลไม้(6)

การเกิดสารสีน้ำตาล(browning)ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้(6,7,8,9,10)แบ่งได้เป็น 2 ประเภท

2.4.1 การเกิดสารสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (enzymatic browning)

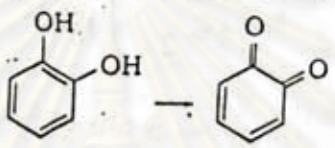
การเกิดสารสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างเอนไซม์กลุ่ม phenolase กับสารประกอบ phenolics จากการศึกษาโดยการแยกเอนไซม์และทำให้บริสุทธิ์แล้วพบว่าเอนไซม์นี้จะไปเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด(8) คือ

2.4.1.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน monophenol ไปเป็น dihydroxyphenol หรือเรียกว่า hydroxylation ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยา hydroxylation p-cresol ไปเป็น 3,4-dihydroxytoluene



p-Cresol 3,4-Dihydroxytoluene

2.4.1.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน o-dihydroxyphenol ไปเป็น o-quinone ตัวอย่างเช่นการออกซิไดส์ catechol ไปเป็น o-benzoquinone



Catechol *o*-Benzoquinone

o - quinone ที่เกิดขึ้นอาจทำปฏิกิริยาต่อไปทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเข้มขึ้น ปฏิกิริยาอาจเกิดขึ้นดังนี้

2.4.1.2.1 เกิดปฏิกิริยา condensation ของ o-quinone กับสารประกอบอะมิโนและโปรตีน

2.4.1.2.2 เกิดปฏิกิริยา polymerization และ condensation ของ quinone กับสารประกอบ phenolics

2.4.2 การเกิดสารสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning)

การเกิดสารสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์นั้นมีผู้ศึกษากันเป็นจำนวนมาก (11) พอสรุปได้ดังนี้

2.4.2.1 เกิดจากปฏิกิริยา Maillard reaction ซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนและโปรตีน Maillard เป็นคนแรกที่ค้นพบปฏิกิริยานี้ในปี 1912 ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือ melanoidins ซึ่งเป็นสารสีน้ำตาล

ลำดับขั้นของการเกิดสารสีน้ำตาลแบ่งเป็น 3 ขั้น

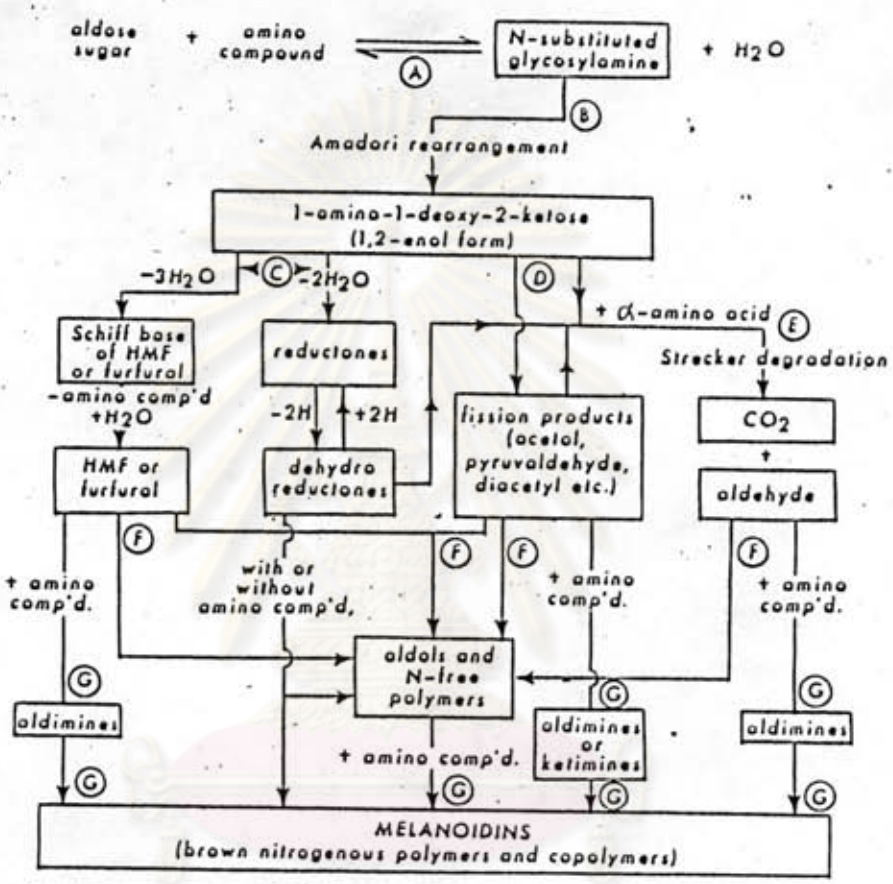
(ดังรูปที่ 2)

1. ขั้นเริ่มต้น (Initial stage)
   - A. Sugar-amine condensation
   - B. Amadori-rearrangement
2. ขั้นกลาง (Intermediate stage)
   - C. Sugar dehydration
   - D. Sugar fragmentation
   - E. Amino acid degradation
3. ขั้นสุดท้าย (Final stage)
   - F. Aldol condensation
   - G. Aldehyde - amine polymerization

A. Maillard reaction หรือ Sugar-amine condensation

Hodge(1953)เรียก Maillard reactionว่า carbonyl-amine reaction(8) เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนและโปรตีน โดยผ่านกระบวนการควบแน่นแบบง่ายระหว่างหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซ์กับหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนหรือโปรตีน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการควบแน่นนี้สูญเสียโมเลกุลของน้ำได้อย่างรวดเร็วและเปลี่ยนไปเป็น Schiff base ซึ่งเป็นไอโซเมอร์กับ nitrogen-substituted glycosylamine ปฏิกิริยานี้ย้อนกลับได้ เนื่องจาก glycosylamine ถูกไฮโดรไลซ์เป็นสารตั้งต้นได้ในสารละลาย aqueous

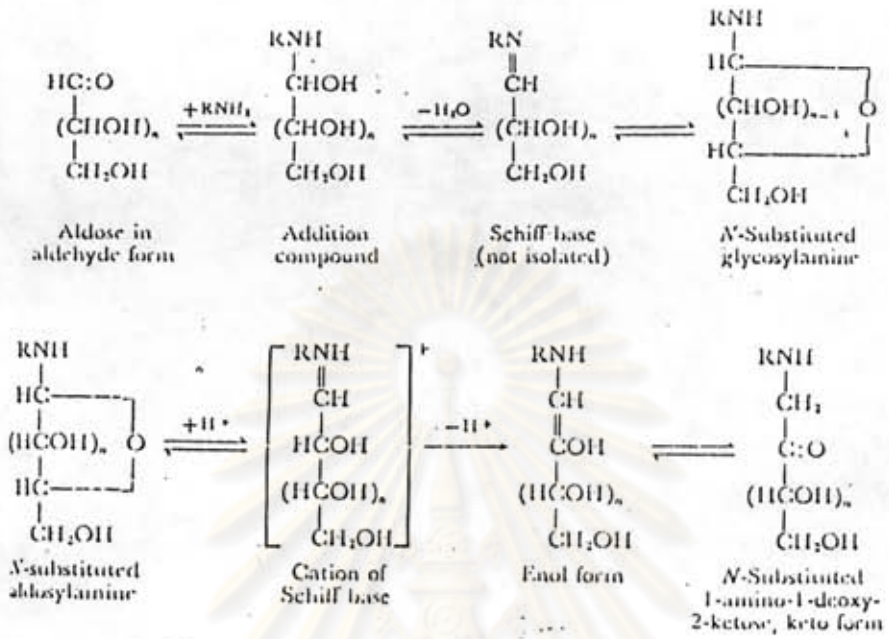
Glycosylamine ที่ได้จากเอมีนจะมีความคงตัวมากกว่า glycosylamine ที่ได้จากกรดอะมิโนเนื่องจาก glycosylamine ที่ได้จากกรดอะมิโนนั้นจะแยกออกมาได้ยากมาก เพราะว่าเปลี่ยนไปเป็น 1-amino-1-deoxy-2-ketose ได้ง่ายโดยผ่านกระบวนการ Amadori rearrangement ซึ่งมีกรดอ่อนและหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนเป็นตัวเร่ง(รูปที่ 3)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2 The Hodge scheme of non-enzymatic browning

A. Surgar - amine condensation
B. Amadori - rearragement
C. Sugar dehydration
D. Sugar fragmenttation
E. Amino acid degradation
F. Aldol condensation
G. Aldehyde-amine polymerization

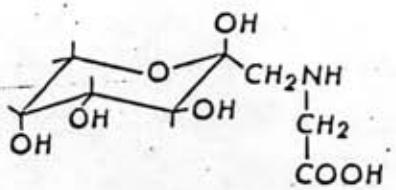


รูปที่ 3 The initial steps of the Maillard reaction (Hodge, 1953)

N-glycosylamines-ของกรดอะมิโนสามารถแยกออกมาได้โดยให้เกลือโซเดียมของกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากับ glucose ในสารละลาย methanol และตกตะกอน glycosylamines ในรูปของเกลือโลหะหนัก(10) ปริมาณน้ำมีผลกระทบต่อ glycosylamine พบว่า glycosylamine จะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำน้อย สำหรับเหตุผลข้อนี้ทำให้ปฏิกิริยา Sugar-amine condensation มีส่วนสำคัญในการเกิดสารสีน้ำตาล(browning) ของอาหารแห้งและอาหารเข้มข้น(8)

B. Amadori rearrangement

Amadori rearrangement เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ได้สาร 1-amino-1-deoxy-2-ketose เมื่อ glycine ทำปฏิกิริยากับ glucose จะได้ 1-deoxy-1-glycine-D-fructose



1-Deoxy-1-glycine-β-D-fructose

Ketose อิสระเกิดการ browning ได้น้อยกว่า ketosamines ketosamines เป็นสารไม่มีสีและค่อนข้างเสถียร ผลผลิตของสารประกอบเหล่านี้สูงสุดเมื่อมีปริมาณน้ำ 18% ในสารละลายเจือจางผลผลิตจะต่ำ ในรูปที่ 4 แสดง Amadori rearrangement และ Heyns rearrangement Heyns rearrangement จะเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วย fructose แทน glucose ทั้ง 2 ปฏิกิริยามีการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน

C. Sugar dehydration

การสูญเสียน้ำของน้ำตาลในปฏิกิริยา sugar-amine browning เกิดได้ 2 ทาง ในสารละลายที่เป็นกลางหรือกรดจะได้ furfurals ในสภาวะที่แห้งหรือใน non-aqueous solvents เมื่อมี amines อยู่ด้วยจะเกิดปฏิกิริยา reduction

D. Sugar fragmentation

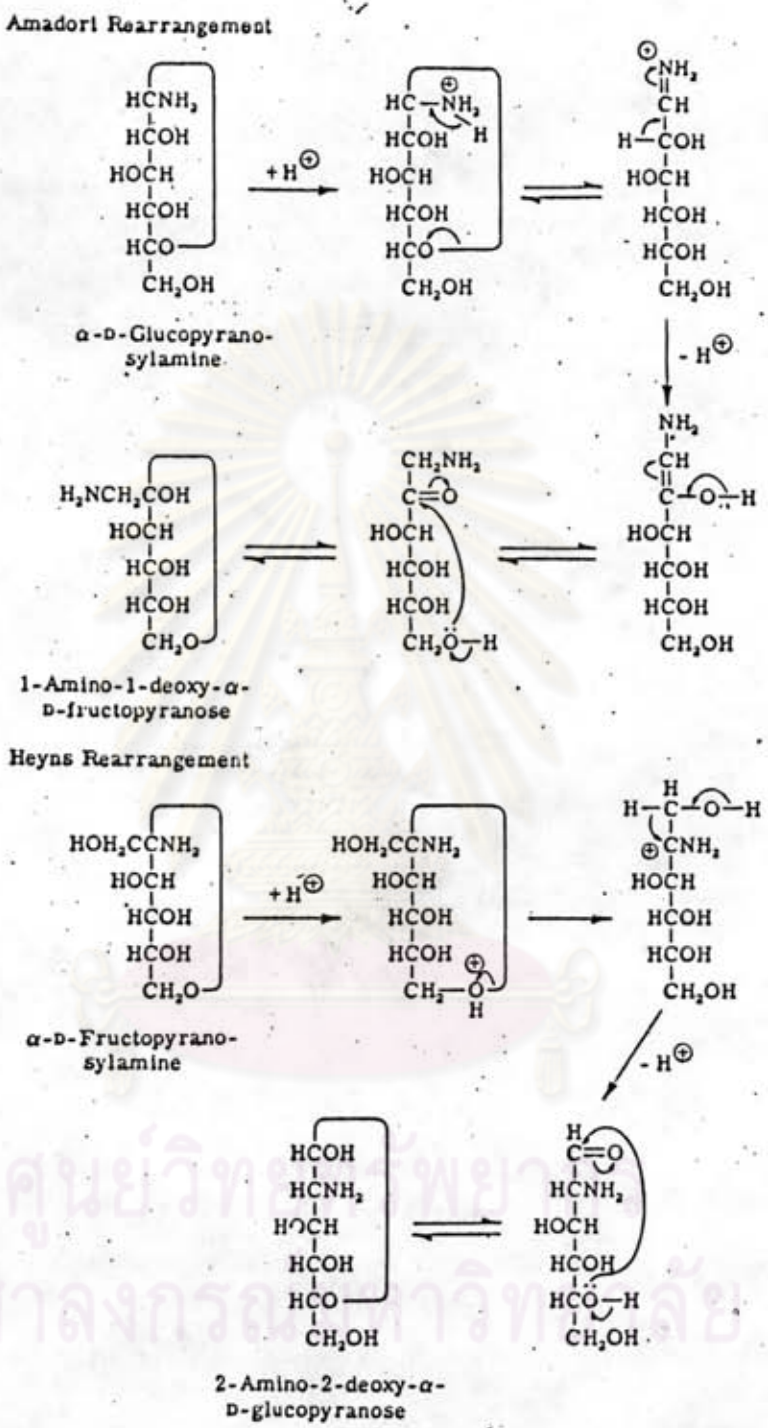
น้ำตาลจะสลายตัวให้สารโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น acetol, pyruvaldehyde, diacetyl และอื่น ๆ

E. Amino acid degradation

enol อาจทำปฏิกิริยากับ amino acid และถูกเปลี่ยนเป็นอัลดีไฮด์โดย Strecker degradation อัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นนั้นว่องไวในการทำปฏิกิริยาและจะทำปฏิกิริยากับ amines ได้ polymer ซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

F. Aldol condensation

aldol condensation เป็นปฏิกิริยาที่มีโอกาสเกิดสาร melanoidins ได้สูง เนื่องจาก nitrogen-free aldols จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบอะมิโน (amino compounds), alkimines, และketimines ได้ nitrogenous melanoidins



รูปที่ 4. Acid-catalyzed mechanisms for the Amadori rearragement and Heyns scheme.(8)

G. Aldehyde-amine polymerization และการเกิดสารประกอบ melanoidins

2.4.2.2 ปฏิกิริยาระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกซิไดซ์กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวกับกรดอะมิโนและโปรตีน

เมื่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวผ่านกระบวนการออกซิเดชั่นจะได้สาร hydroperoxides ซึ่งจะสลายตัวต่อไปเป็นอัลดีไฮด์และคีโตน ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากการออกซิไดซ์กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวคือ malonaldehyde ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนและโปรตีนให้สารที่มีสี(11)

2.4.2.3 ปฏิกิริยาระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกซิไดซ์กรดแอสคอร์บิคกับกรดอะมิโนหรือโปรตีน

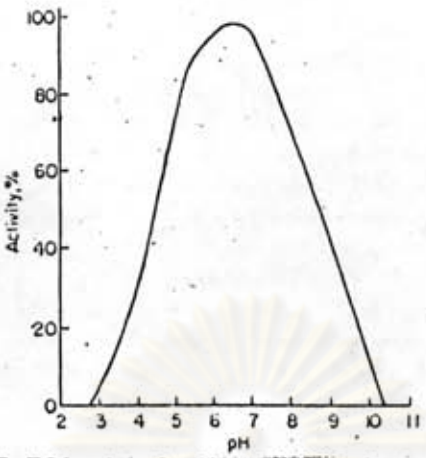
กรดแอสคอร์บิคมีส่วนสำคัญในการเกิดสารสีน้ำตาลในน้ำผลไม้น้ำผลไม้เข้มข้น และในผักกระป๋อง กรดแอสคอร์บิคทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนให้สารสีน้ำตาลได้เร็วกว่าปฏิกริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน dehydroascorbic acid เป็นสารที่ว่องไวและสามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน ในการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิค หรือ dehydroascorbic จะได้สารที่มีความไวสูงต่อไปนี้ :(a) furfural (b) osone of L-xylose และจากการศึกษาพบว่าเมื่อกรดแอสคอร์บิคทำปฏิกิริยากับไกลซีนจะได้สารประกอบที่มีสีกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(11)

2.4.2.4 ปฏิกิริยา caramelization ของน้ำตาล

เมื่อไม่มีกรดอะมิโนรวมอยู่ด้วยน้ำตาลสามารถเปลี่ยนเป็นสารสีน้ำตาลได้โดยกระบวนการ caramelization แต่ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 160 องศาเซลเซียส(8,11)

2.5 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดสารสีน้ำตาล

2.5.1 pH ปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์กลุ่ม phenolase ลดลงเมื่อ pH ลดลง ความสัมพันธ์ระหว่าง activity ของ phenolase กับ pH ของตัวกลางแสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 Effect of pH on phenolase activity

pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6-7 และลดต่ำลงที่ pH 3.0(9,11) ปฏิกิริยา Maillard reaction เกิดขึ้นได้ทั้งในสภาวะที่เป็นกลาง กรดเล็กน้อยหรือด่าง ปฏิกิริยาเกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อย

2.5.2 อุณหภูมิ activity ของเอนไซม์ phenolase ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานคือที่ 43 องศาเซลเซียส การเก็บอาหารไว้ในที่เย็นจะทำให้การ browning เกิดได้ช้า เอนไซม์เป็นสารโปรตีนจึงถูก denatured ได้ง่ายด้วยความร้อนการใช้ความร้อนเพื่อยับยั้ง activity ของเอนไซม์ phenolase วิธีที่นิยมมากที่สุดคือการblanching ซึ่งอาจจะใช้วิธีแช่ในน้ำร้อนหรือใช้ไอน้ำ จนกระทั่งเอนไซม์ถูก inactivated วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้กับผลไม้เนื่องจากอาจก่อให้เกิด cooked flavor และทำให้เนื้อสัมผัสของผลไม้นุ่ม

อัตราการเกิดสารสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้น2-3 เท่าทุก ๆ 10 องศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้น Lea และHannanได้แสดงให้เห็นว่าอัตราของปฏิกิริยา D-glucose-casein reaction ซึ่งวัดได้โดยวัดปริมาณของ amino nitrogen ที่ลดลงจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอในช่วงอุณหภูมิ 0-90 องศาเซลเซียส(8) ปฏิกิริยาจะไม่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ 0 องศาเซลเซียส(11)

2.5.3 ออกซิเจน การเกิดสีน้ำตาลสามารถป้องกันได้โดยหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับออกซิเจนวิธีที่ง่ายที่สุดที่ใช้กันคือหลังจากปอกหรือหั่นผลไม้แล้วนำไปแช่ในน้ำทันทีเพื่อจำกัดปริมาณออกซิเจนหรืออาจใช้วิธีการบรรจุผลไม้ภายใต้สุญญากาศ(9)

2.5.4 ความชื้น โดยทั่วไปปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นของ

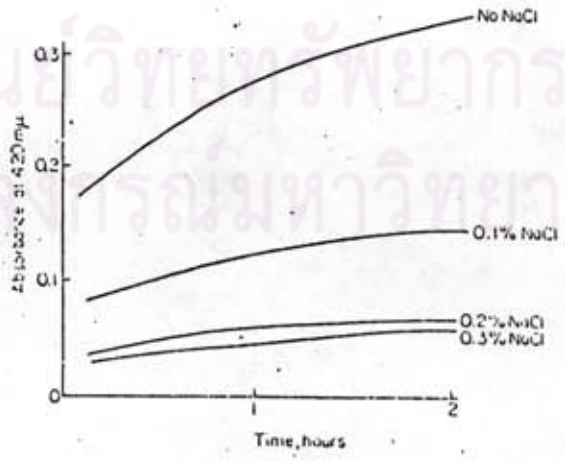
15457
i 10304952

สารเข้าทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราเร็วของการเกิดสารสีน้ำตาลนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเข้าทำปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับความสะดวกในการเคลื่อนที่ของสารเข้าทำปฏิกิริยาอีกด้วย พบว่าที่ระดับความชื้นต่ำ ๆ อัตราการเกิดสารสีน้ำตาลลดลง

2.5.5 เกลือ เกลือสามารถใช้ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ phenolase ได้(12) สารละลายเกลือเจือจางมีผลทำให้การเกิดสารสีน้ำตาลเกิดได้ช้า(9,13,14) ความเข้มข้นของเกลือที่ใช้ประมาณ 2-3 กรัมต่อลิตรนอกจากนั้นถ้าใช้เกลือร่วมกับโซเดียมไบซัลไฟต์จะก่อให้เกิดผลทางด้านเสริมฤทธิ์กันอีกด้วย(15,16,17)

เนื่องจากเหตุผลทางด้านรสชาติวิธีนี้จึงมีข้อจำกัดเหมาะสำหรับใช้กับผักและไม่เหมาะกับผลไม้(6) ส่วนมากจะใช้ในการ holding peeled fruit สำหรับการแปรรูป ใน model system แสดงว่า 0.1% NaCl สามารถยับยั้งการ browning ได้อย่างมีนัยสำคัญ (9) ดังแสดงในรูปที่ 6

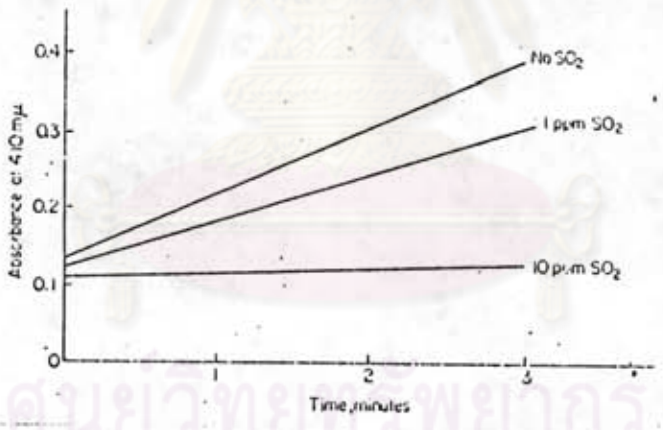
ได้มีการใช้เกลือเพื่อรักษาสีของมะขามเปียกในทางการค้าเป็นเวลานานแล้วแต่ยังไม่พบว่ามีผู้ใดศึกษาถึงรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณการใช้และผลที่เกิดขึ้น จึงน่าจะศึกษารายละเอียดในด้านนี้ต่อไป



รูปที่ 6 Effect of sodium chloride on the oxidation of chlorogenic acid by apple phenolase.(9)

2.5.6 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่าทั้งซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซัลไฟต์ และไบซัลไฟต์สามารถใช้ยับยั้งทั้งปฏิกิริยา enzymatic และnon-enzymatic browning ได้ (6,15,16,18,19) การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมอาหารนั้นสามารถใช้ได้ทั้งในรูปของกาซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และสารละลายซัลไฟต์เจือจาง(9,20) ในรูปของกาซจะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อผลไม้ได้รวดเร็วกว่าในรูปของสารละลาย แต่การใช้ในรูปของสารละลายก็มีความสะดวกและนำมาใช้ได้ง่ายกว่า

Ponting พบว่าปริมาแซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1 ppm.สามารถลด activity ของเอนไซม์ได้ 20% และปริมาแซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 10 ppm.สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้เกือบสมบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 7 (9)



รูปที่ 7 Effect of sulfur dioxide on phenolase activity. (SO_2 as sodium bisulfite)

2.5.7 เวลา. ระยะเวลาเป็นปัจจัยอันหนึ่งที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยทั่วไปการเกิดโพลีเมอร์สีน้ำตาล (melanoidins) จะเพิ่มขึ้นเป็นก้าลังสองของเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

Marcy, J.E. และคณะได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเก็บ orange

concentrate พบว่าอัตราการเกิด non-enzymatic browning จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการเก็บ (21)

2.5.8 แสง Dryden, E.C. และคณะได้ศึกษาการเปลี่ยนสีของ stored apple juice concentrate พบว่าตัวอย่างที่เก็บไว้ในที่มีแสงกับที่ไม่มีแสงที่อุณหภูมิเดียวกันไม่มีความแตกต่างของอัตราการเปลี่ยนสีอย่างมีนัยสำคัญ(22)

การเกิดสารสีน้ำตาลนอกจากจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวมายังขึ้นอยู่กับชนิดของภาชนะบรรจุและวิธีการที่ใช้บรรจุอีกด้วยเพราะชนิดของภาชนะบรรจุ และวิธีการที่ใช้บรรจุจะมีผลต่อปริมาณออกซิเจนและความชื้นในระหว่างการเก็บ(23) ชนิดของภาชนะบรรจุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ oriented polypropylene/polyethylene (OPP/PE) และlaminated aluminum foil/polyethylene (Al-foil/PE)เพราะภาชนะบรรจุทั้ง 2 ชนิดนี้ยอมให้ไอน้ำและกาซซึมผ่านได้น้อยและซึมผ่านไม่ได้เลยตามลำดับซึ่งนิยมใช้ในปัจจุบัน คุณสมบัติของการซึมผ่านของไอน้ำและกาซแสดงไว้ในตารางที 3 (24)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของ Al-foil และ OPP

Barrier	Water vapor transmission rate (g/100 sq.in./24hrs. 100 deg. F & 90% RH)	Oxygen transmission rate (CC/100 sq.in./ 24 hrs./atm.)
Polypro-pylene (PP)-film-biaxially oriented 1.00 mil	0.32	160
PE-Foil		
PE-Kraft	0	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 การประเมินผลการเกิดสารสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหาร

การประเมินผลการเกิดสารสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น ทำได้หลายวิธีแต่ละวิธีมีหลักการสำคัญที่คล้ายกันคือการสกัดสารสีน้ำตาลออกจากผลิตภัณฑ์อาหาร การกรองและทำให้ใส และการวัดสี อาจแตกต่างกันบ้างในขั้นตอนของการสกัด การทำให้ใส และช่วงความยาวคลื่นที่ใช้วัดความหนาแน่นของแสง(25)

Haas และLivingston พบว่า aqueous extracts ของผลไม้แห้งที่เกิดสารสีน้ำตาลและ sugar-acid systems ให้ลักษณะ absorption band ในช่วงอุลตร้าไวโอเลตที่ 285 nm.ซึ่งเป็น absorption band ของ 5-hydroxy-methyl-furfural (5-HMF) Resnik และChirife พบว่าทั้งน้ำกลั่น สารละลายกรดอะซิติค 1.25% (V/V)และสารละลายเมธิลอัลกอฮอล์ 50% (V/V) ที่ใช้สกัดสีจาก browned apple ให้ลักษณะ absorption band สูงสุดที่ 282 nm.(26)

2.7 กระบวนการทำแห้ง

การทำแห้งเป็นกรรมวิธีอย่างหนึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร มีหลักการที่สำคัญคือการเอาน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ การทำแห้งทำได้หลายวิธีเช่น tray drying, freeze drying, drum drying, spray drying และ vacuum drying การเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ(1)

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำแห้ง(14)

2.7.1 คุณสมบัติของอาหาร คุณลักษณะเฉพาะของอาหารจะกำหนดถึงวิธีการในการทำแห้งเพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงทางด้าน กลิ่น รสชาติ สี เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหาร สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาคือโครงสร้างและองค์ประกอบของอาหาร การหดตัว การเกิดสารสีน้ำตาล และการคืนตัวของผลิตภัณฑ์

2.7.2 ขนาดและรูปร่างของอาหาร พื้นที่ผิวในการระเหยน้ำมีผลต่ออัตราเร็วและเวลาในการทำแห้ง

2.7.3 สภาพแวดล้อมในการทำแห้ง อัตราเร็วในการทำแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ความชื้น, ความเร็วของอากาศ และความดันบรรยากาศ ที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศน้ำเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ดังนั้นถ้าหากตากแห้งผลไม้ในตู้อบแห้งแบบสูญญากาศน้ำในผลไม้ก็สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสซึ่งจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของสี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางอาหารของผลไม้ได้

ได้มีการศึกษาการทำมะขามผงโดยใช้ spray drier และ drum drier (1) แล้วพบว่าการใช้ spray drier นั้น solid content ของน้ำมะขามที่สกัดได้มีปริมาณไม่มากพอ เมื่อนำไป spray dry จะได้ผงมะขามที่ชื้นและติดที่ผนังของเครื่อง แต่ถ้าใช้ slurry ของมะขามแทนจะทำให้ส่วนที่ไม่ละลายของเนื้อมะขามไปทำให้ atomizer เกิดการอุดตัน(1) ต่อมาก็มีการปรับปรุงเพื่อแก้ปัญหาการอุดตันของ atomizer โดยนำเอา slurry ของมะขามผ่านเข้าเครื่อง homogenizer ก็สามารถแก้ปัญหาได้แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาการเกาะติดผนังของเครื่องแม้ว่าจะมีการเติมพวก food additives ต่าง ๆ เช่นแป้งข้าวเจ้า, disodium mono-phosphate, tricalcium phosphate, lactose และ glucose syrup เพื่อให้สารเหล่านี้เป็นตัว binder ก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากมะขามเป็นผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลและเพคตินสูง เมื่อถูกความร้อนจะมีลักษณะเหนียวและผงมะขามมีคุณสมบัติที่ดูดความชื้นได้เร็ว(23)

ส่วนการทำมะขามผงโดยใช้ drum drier ให้ผลดีและสะดวกกว่าการใช้ spray drier แต่ flake ที่ได้มีสีคล้ำเนื่องจากเป็นประเภทของการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูง และมะขามผงที่ได้มีคุณสมบัติดูดความชื้นได้เร็วอีกด้วย(1)

จากการศึกษาการทำมะขามผงทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาคือ spray drier และ drum drier พบว่ายังไม่ได้ผลดี เนื่องจากมะขามผงดูดความชื้นได้เร็ว แม้ว่าจะได้มีการปรับปรุงเพื่อแก้ปัญหาการดูดความชื้นของมะขามแต่ก็ยังไม่ได้ผล

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาการทำมะขามแห้งโดยใช้ vacuum drier เพื่อศึกษาสภาวะในการทำแห้ง ชนิดของภาชนะบรรจุและวิธีการบรรจุที่เหมาะสมต่อไป