



เคมีของการเกิดสีน้ำตาลโดยปฏิกิริยาเมลลาร์ด

CHEMISTRY ON THE OCCURRENCE OF BROWN COLOR BY MAILLARD REACTION

รองศาสตราจารย์ ดร.พรพิมล ม่วงไทย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

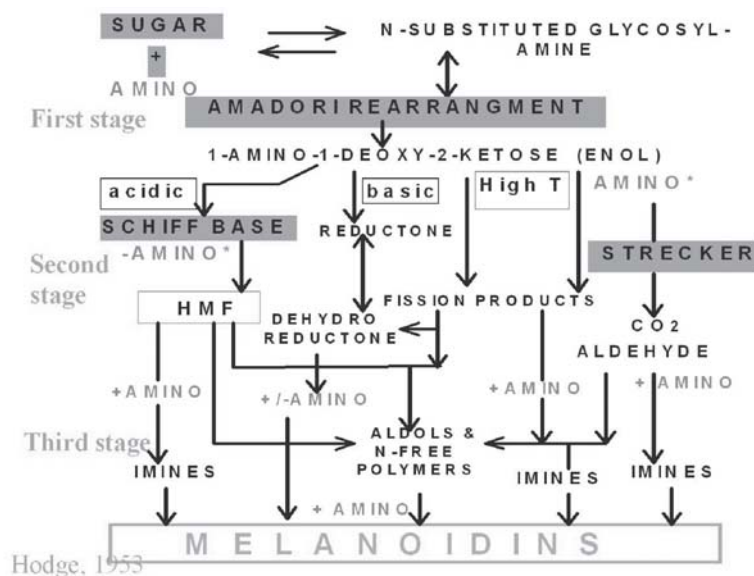
สีน้ำตาลจัดเป็นสีตระกูลนำสนใจระดับคลาสสิกสีหนึ่งของเอิร์ทโทน แม้บางครั้งอาจจะถูกขนานนามว่าสีแห่งความมีอายุมาเยือน แต่การเกิดสีน้ำตาลในหัวข้อที่จะพูดคุยต่อไปนี้เป็นความเกี่ยวข้องด้านวิชาการทางเคมีระดับหนึ่ง สีน้ำตาลเองมีหลายเฉดทั้งสีอ่อนไล่ไปจนน้ำตาลเข้มเกือบดำ ความเป็นจริงแล้วสีนี้มีบทบาทต่อมนุษย์มิใช่น้อยขึ้นกับว่าจะใช้อย่างไรและเพื่อเจตนาอะไร ท่านผู้อ่านลองนึกถึงอาหารที่บริโภคบางชนิด ถ้ามีสีน้ำตาลเกรียมจะมีอิทธิพลต่อต่อความอยากของคนเราเหมือนกัน อย่าเพิ่งคิดไปไกล อาหารเกรียมๆ แต่ไม่ไหม้ เช่น ไก่ย่าง ขนมอบ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าท่านนึกถึงนมผง เราจะวาดภาพที่ควรจะเป็นเมื่อเปิดกระป๋องนมผงว่าควรจะเป็นสีขาวอมเหลืองอ่อนมากๆ แต่ก็เป็นอย่างนี้จริงๆ ถ้านมผงนั้นผ่านการผลิตใหม่ๆ แต่ถ้าเป็นนมผงที่เก็บไว้นานจะไม่ใช้สีที่คาดไว้ กลับจะเห็นนมผงเป็นสีขาวออกเหลืองอย่างชัดเจน ฉะนั้นที่ว่าต้องการให้เกิดสีน้ำตาลในบางครั้งมนุษย์ก็ปรารถนาจะให้เกิดขึ้นนั้น แต่ในบางครั้งก็ยังไม่ยอมรับกับสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น ดังนั้น สีน้ำตาลจัดเป็นสีจากสารที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งโดยทั่วไปมีการเกิดสารที่ให้สีน้ำตาลได้ 2 แบบใหญ่ๆ คือ การเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (nonenzymatic browning reaction) และการเกิดสีน้ำตาลแบบมีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (enzymatic browning reaction) ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลจากทั้ง 2 ปฏิกิริยามีความแตกต่างกัน ซึ่งที่จะกล่าวถึงเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ และเคมีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ผู้อ่านจะได้ทราบเกี่ยวกับสารสีน้ำตาลมากขึ้น

การเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์นี้ ส่วนใหญ่รู้จักในนามของปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ปฏิกิริยาเมลลาร์ดนี้เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนในโปรตีน กับ หมู่คาร์บอนิลในน้ำตาล [1] ที่จริงเราต้องให้เกียรติแก่ท่านนักวิทยาศาสตร์ผู้ค้นพบปฏิกิริยานี้ คือ Louis Camille Maillard ซึ่งพบปฏิกิริยานี้ตั้งแต่ปี ค.ศ.1912 ต่อมาก็ได้ยกย่องท่านเป็นบิดาแห่งศาสตร์ของการเกิดสีน้ำตาล ปัจจุบันมีการค้นคว้าและเปิดเผยผลงานวิจัยมากมายมากกว่า 1,000 เรื่อง ที่มีรายงานในช่วงปี ค.ศ. 1995 เป็นต้นมา [2] ซึ่งมีการจัดการประชุมเสนอผลงานระดับนานาชาติเกี่ยวกับปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นประจำ ก่อนจะกล่าวถึงความเกี่ยวข้องทางเคมีของที่ไปที่มาของปฏิกิริยา เพราะเป็นหลักฐานสำคัญทางทฤษฎี ผู้เรียบเรียงอยากจะทำให้ท่านผู้อ่านได้เห็นภาพที่ชัดเจนขึ้นของผลจากปฏิกิริยานี้ก่อน เพื่อกระตุ้นให้เห็นว่าปฏิกิริยานี้มีความสำคัญต่อเราจริงๆ สำหรับเมื่อปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในระบบที่เราสนใจ สิ่งที่จะทำให้เราทราบว่ามันเกิดขึ้นแล้วมี 2 ด้าน คือ ลักษณะปรากฏทางกายภาพ และลักษณะของกลิ่น รสที่เกิดขึ้น ซึ่งขอตีกรอบให้แคบในส่วน of อาหารที่บริโภค เพราะปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีผลอย่างมากต่ออุตสาหกรรมอาหาร และมีผลงานวิจัยยืนยันกันหนักแน่น ในที่นี้ถ้าท่านได้รับทราบตัวอย่างตอนนี้แล้ว

ที่กล่าวถึงการเกิดสีน้ำตาลในขนมอบและการเกิดสีน้ำตาลในนมผงที่เก็บรักษาห่านคงเตาได้ว่าผลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดมี 2 ด้าน คือ ด้านดี หรือด้านคุณประโยชน์ กับด้านที่มนุษย์เราไม่ต้องการให้เกิดแต่ก็เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้น ซึ่งบ่อยครั้งสร้างความเสียหายต่ออาหาร ที่กล่าวมาเป็นลักษณะปรากฏของอาหาร ในด้านคุณของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดนั้นในอุตสาหกรรมอาหารบางประเภท การเกิดสีน้ำตาลกับผลิตภัณฑ์อาหารจะเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เพราะว่สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนั้นนอกจากจะดูไม่น่าดูแล้ว ยังเป็นสิ่งที่บ่งชี้ว่าอาหารนั้นเสื่อมคุณภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารพวกน้ำผลไม้ แ่่ง นมผง ไข่ผง แยม และเยลลี่ [3] แต่การเกิดสีน้ำตาลก็ไม่ได้เลวร้ายกับอาหารเสียทุกอย่าง เพราะอุตสาหกรรมอาหารบางประเภทก็ต้องการให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นกับผลิตภัณฑ์ของตน เช่น การผลิตขนมปัง ซา กาแฟ โกโก้ และอาหารอบอย่างต่าๆ [4] จากที่กล่าวมายังไม่ได้พูดถึงความเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นที่แสดงออกมาในอาหารเนื่องจากสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด [5] ซึ่งจะกล่าวในบทความต่อไป สิ่งที่เปลี่ยนแปลงจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของปฏิกิริยาเมลลาร์ดยังผลให้มีการสูญเสียคุณค่า

ทางอาหารไปได้ เช่น การลดลงของกรดอะมิโนจำเป็นอย่างกรดอะมิโนไลซีน [6]

ความสำคัญของการเกิดปฏิกิริยาเคมีชนิดนี้ทำให้มีผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์ จึงมีการวิจัยกันอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นการปรุงอาหารซึ่งมีผู้คนคิดว่าวิธีการปรุงอาหารจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นที่จะได้สารก่อมะเร็งหรือไม่อย่างไรหรืออาจเป็นเพราะมีสารพิษอยู่ก่อนแล้ว [7] เพื่อความเข้าใจถึงเคมีที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยานี้ ผู้เรียบเรียงขอนำมาอภิปรายพอสังเขปไม่ได้ลงลึกถึงเคมีที่ซับซ้อนซึ่งท่านผู้อ่านลองพิจารณาหัดดูความรู้ในเชิงนี้อีกด้าน อันดับแรกคงไม่พ้นที่จะพูดถึงที่มาของปฏิกิริยานี้ เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดได้หลายตอนและค่อนข้างซับซ้อน มีรายงานอีกเช่นกันว่ามีผู้ศึกษาตัวอย่างง่าย ๆ ของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกลูโคสกับแอมโมเนียโดยการให้ความร้อนด้วยการต้มแบบง่าย ๆ พบว่ามีสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลผลิตเกิดขึ้นมากกว่า 15 ชนิด แต่ถ้านำน้ำตาลกลูโคสมาทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนไกลซีน จะได้สารผลิตภัณฑ์มากขึ้นโดยพบว่ามีมากกว่า 24 ชนิด [8] เมื่อพิจารณาพื้นฐานของการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ถูกสรุปไว้ในรูปแบบของแผนภาพ Hodge [9] ตามภาพที่ 1

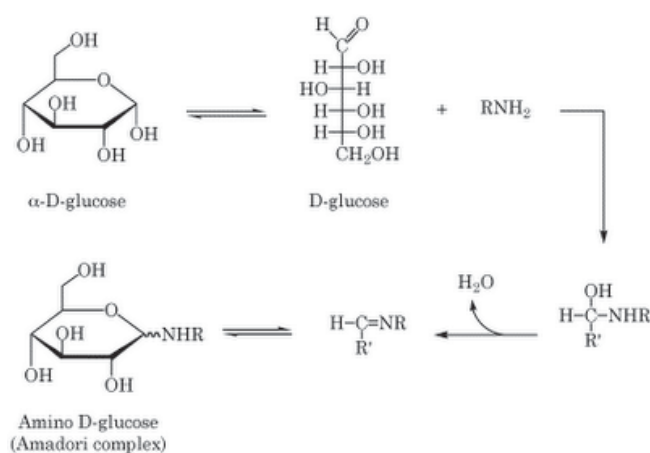
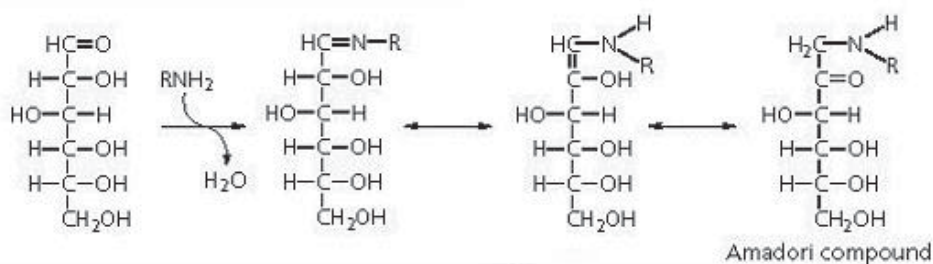
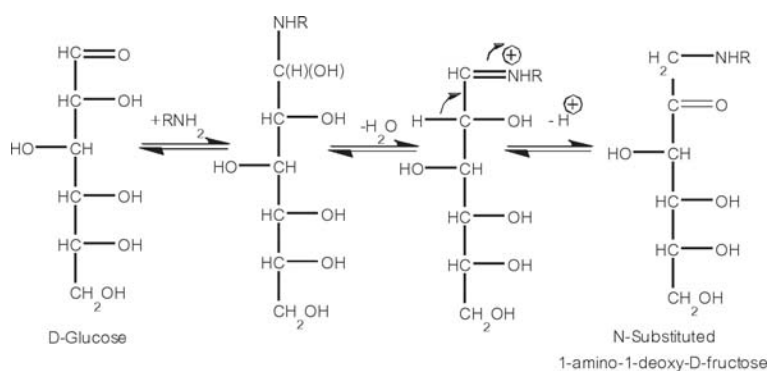


ภาพที่ 1 แผนภาพการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ของ Hodge

ที่มา: Feather, Milton S (1998)

แผนภาพนี้จัดเป็นแผนภาพอย่างง่าย ๆ ไม่มีโครงสร้างหรือสูตรเคมีที่ซับซ้อน แต่ผู้เขียนตั้งใจจะให้เห็นภาพรวมว่าปฏิกิริยานี้มีพื้นฐานการเกิด 3 ขั้นตอน ซึ่งขอกว่าในรายละเอียดแบบผิวเผินในแต่ละขั้นตอนดังนี้

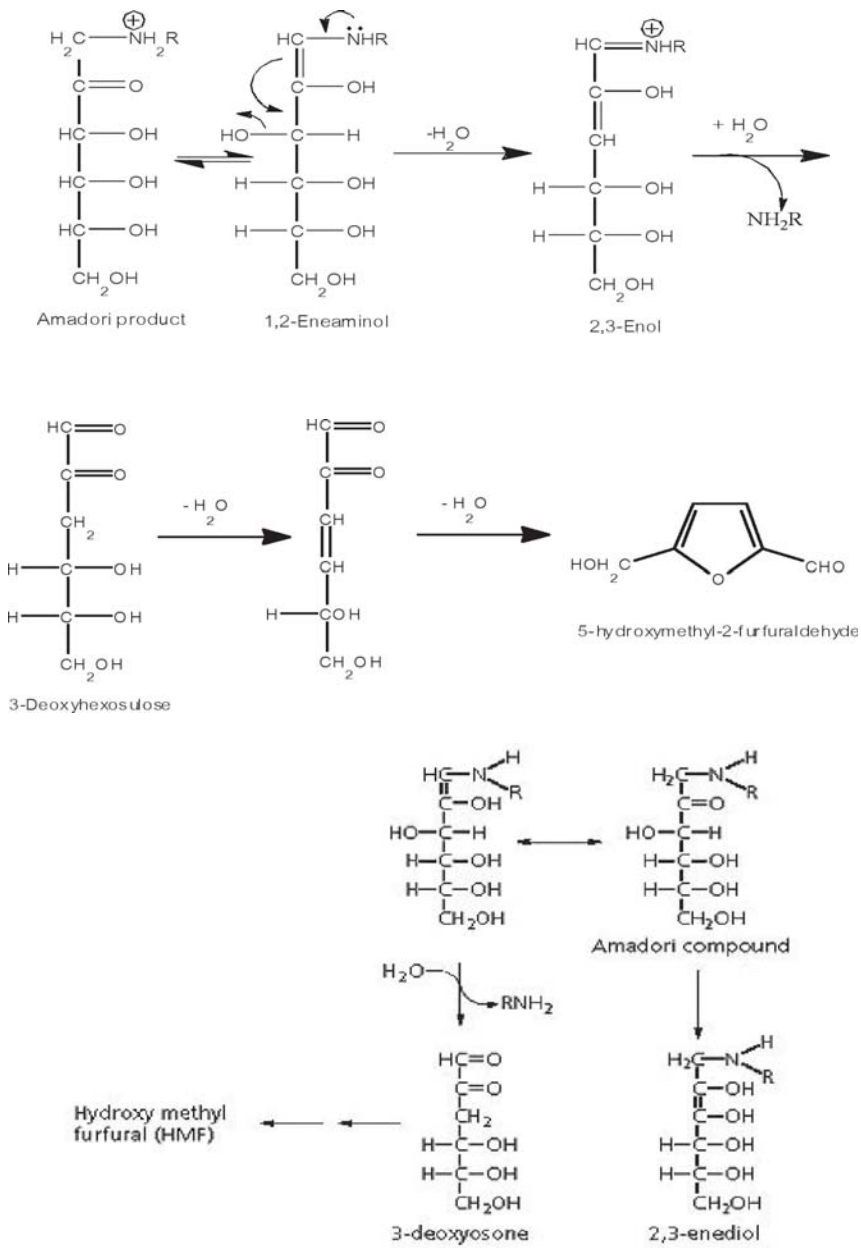
ขั้นตอนแรก มี 2 ขั้นตอนย่อยๆ ขั้นที่ 1 คือ การเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลอัลโดสกับหมู่อะมิโนในกรดอะมิโนแบบการรวมตัวหรือควบแน่น เรียกว่า Sugar amine condensation โดยผลที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า N-substituted glycosylamine และสารนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบอะมาโดริ (amadori compound) ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพการเกิด amadori compound

ที่มา: J. E. Hodge (1953)

สารเอมีนที่อาจเป็นโปรตีน มีหลักฐานว่า Insulin ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาได้กับน้ำตาลกลูโคส ที่อุณหภูมิห้อง [10] เชื่อมโยงจากภาพที่ 2 สาร N-substituted glycosylamine ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป เป็นสารประกอบอะมาโดริจัดเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบผกผันกลับได้ ตรงนี้มีนัยว่ายังสามารถเปลี่ยนกลับไป เป็นสารเดิมได้ สารประกอบอะมาโดริสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีต่อไปได้อีก เกิดเป็นสารอื่นๆ ได้มากมาย เช่นที่แสดงในภาพที่ 3 แสดงการเกิดสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์ฟิวราลดีไฮด์ [11]



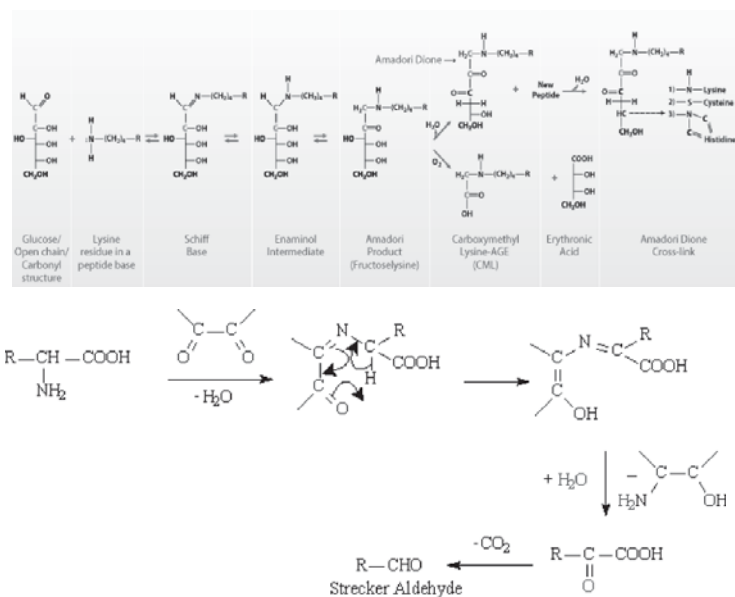
ภาพที่ 3 การเกิดสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์ฟิวราลดีไฮด์จากปฏิกิริยามेलลาร์ด
ที่มา: S. E. Fayle and J. A. Gerrard (2002)

สาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์เป็นผลการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในหลายผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะในน้ำผึ้ง สาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ถูกใช้เป็นตัวชี้ในการบ่งบอกคุณภาพน้ำผึ้ง แต่สารนี้จะพบได้มากในกรณีเก็บน้ำผึ้งเป็นเวลานาน ซึ่งในประเทศแถบทวีปยุโรป เช่น ประเทศเยอรมัน เบลเยียม อิตาลี ออสเตรีย สเปน จะมีกฎหมายควบคุมโดยมีเกณฑ์กำหนดว่าน้ำผึ้งควรมีปริมาณสารประกอบไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์พิวราลดีไฮด์ได้สูงสุดไม่เกิน 15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม [12] (AOAC. 2000: 44) ส่วนในประเทศไทยนั้นมีการกำหนดให้น้ำผึ้งมีสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ไม่เกิน 80 มิลลิกรัม ต่อ 1 กิโลกรัม [13] (กระทรวงสาธารณสุข. 2543)

ใน 2-3 ปีที่ผ่านมา Eichner และคณะ [14] ได้ตรวจสอบสารประกอบอะมาโดริในผงมะเขือเทศพริกไทแดง หน่อไม้ฝรั่ง แครอท พบสารนี้ประมาณ 12 ชนิด สารอะมาโดริที่รู้จักกันดีและน่าสนใจชนิดหนึ่งคือ Fructosylpyrrolidonecarboxylic acid สารนี้เกิดจากการตกกลูตามิก หรือสารประกอบกลูตามีน

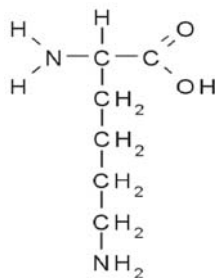
สาร Fructosylpyrrolidonecarboxylic acid เป็นสารที่บ่งบอกถึงอาหารที่ได้รับความร้อนมากเกินไป แต่อย่างไรก็ตามสาร Fructosylpyrrolidonecarboxylic acid สามารถสลายตัวได้เมื่ออยู่ในตัวกลางที่เป็นกรด pH ประมาณ 3 และร้อนถึง 90 °C สำหรับอาหารบางชนิดเมื่อเก็บเป็นเวลานานๆ อาจตรวจพบสารอะมาโดริ เช่น กระเทียมแห้งที่ถูกเก็บนานมากกว่า 10 เดือน จะพบสารอะมาโดริประเภท N-fructosylarginine [15]

การที่สารประกอบอะมาโดริเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่องจึงเกิดปฏิกิริยาในขั้นปานกลางต่อไป ซึ่งมีการเกิดปฏิกิริยาได้ 4 แบบ เช่น การสูญเสียน้ำจากน้ำตาล(Sugar dehydration) น้ำตาลเกิดการแตกเป็นส่วนๆ (sugar fragmentation) การเสียสภาพของกรดอะมิโน (amino acid degradation) การเกิด strecker degradation ตามปกติแล้วโอกาสการเปลี่ยนแปลงจะมีได้ 2 แนวทาง คือ การเปลี่ยนแปลงผ่าน กลไก 1, 2-enolization หรือการเปลี่ยนแปลงผ่าน กลไก 2, 3-enolization ตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขั้นกลาง
ที่มา: H. Nursten (2005)

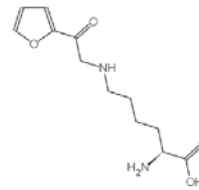
การเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเมลลาร์ดในขั้นตอนต่อไปจะได้สารผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายเป็นสารเมลานอยด์ดินซึ่งให้สีน้ำตาลเข้ม แต่จากภาพที่ 1 จะพบว่าในการเปลี่ยนแปลงต่างๆ นั้นยังพบสารต่างๆ มากมายที่ทำให้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงในอาหาร ผู้บริโภคเองก็คงไม่ได้ใส่ใจมากนักว่าสารเหล่านั้นจะมีที่ไปที่มาอย่างไร แต่คงตระหนักว่าผลจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดนี้ส่งผลหลายๆ ประการที่จะขอกกล่าวถึงอีกเรื่อง คือ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับกรดอะมิโนจำเป็น เช่น กรดอะมิโนไลซีน ตัวอย่างเช่น น้านม มีน้ำตาลแลคโทสและกรดอะมิโนจำเป็น เช่น ไลซีน ที่เป็นตัวชูโรงให้เห็นว่าดื่มน้านมจะเป็นแหล่งที่ได้รับสารอาหารครบถ้วนในน้านมดิบจัดว่ามีไลซีนเป็นองค์ประกอบในปริมาณครบถ้วนยังไม่ถูกทำลาย แต่เนื่องจากไลซีนมีหมู่ $\epsilon\text{-NH}_2$ ในโครงสร้าง ตามภาพที่ 5 และเป็นหมู่ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับน้ำตาลแลคโทส



ภาพที่ 5 โครงสร้างกรดอะมิโนไลซีน

ที่มา: E. Ferrer, et. al. (2003)

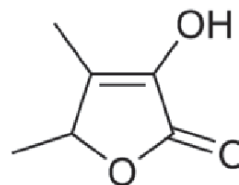
ดังนั้นเมื่อน้านมดิบผ่านการแปรรูปจะเกิดเป็นสารแลคทูโลซิลไลซีน [16] จึงทำให้มีกรดอะมิโนจำเป็นอย่างไลซีนลดลง การสูญเสียไลซีนมากหรือน้อยแตกต่างกันขึ้นกับกระบวนการผลิต นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์นมผงที่มีการเก็บไว้ระยะหนึ่งจะพบสารฟูโรซิน ตามภาพที่ 6 สารนี้ใช้บอกคุณภาพอาหาร นม [17] นอกจากนี้ใช้บอกความสดของไข่ไก่ได้ด้วย [18]



ภาพที่ 6 โครงสร้างฟูโรซิน

ที่มา: H.Nursten (2005)

จากที่กล่าวข้างต้นในตอนแรกถึงผลการเกิดปฏิกิริยานี้ ไม่เพียงแต่พบสารสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เท่านั้น ยังพบว่ามีสารผลิตภัณฑ์ที่ให้กลิ่นต่างๆ เพิ่มขึ้นด้วย เช่น acetoin glycolaldehyde acetol levulinic acid saccharinic acid ethanol [19] มีผู้จำแนกกลิ่นที่เกิดขึ้นเป็น 3 กลุ่ม [20-21] สารกลุ่มที่มีบทบาทเช่นกลุ่มฟิวแรน เช่น sotolone ตามภาพที่ 7 สารนี้มีผลทำให้เกิดกลิ่นสำคัญในกระบวนการผลิตกาแฟ [22]



ภาพที่ 7 โครงสร้าง sotolone

ที่มา: H.Nursten (2005)

สำหรับลักษณะกลิ่นของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นลักษณะเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยมีผู้ทำการศึกษาาระบบต้นแบบของปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนชนิดต่างๆ กับน้ำตาลชนิดต่างๆ หลากหลายชนิด เช่น การศึกษาของ Vernin และ Parkanyi [23] ศึกษาาระบบต้นแบบของระบบ imidazoles ที่เกิดจาก histidine กับ น้ำตาลกลูโคส โดยการให้ความร้อนสูงถึง 220°C พบว่าได้สารหลายชนิดที่มีกลิ่นเฉพาะเป็นสารหลายชนิด

ของ imidazoles ตัวสำคัญหนึ่ง คือ 2-acetylpyrido [3,4-d] Imidazole สารนี้เป็นสารที่พบในการให้ความร้อนแก่ปลาทูน่า อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดส่งผลให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในอาหารทั้งด้านสีและกลิ่น ระดับความสามารถที่มนุษย์จะได้กลิ่นจากสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยานี้ขึ้นกับระดับ olfactory threshold ของสารเหล่านั้นด้วย [24] ค่า threshold นี้จะแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะและชนิดของสารผลิตภัณฑ์ เช่น สารจากปฏิกิริยา strecker degradation ซึ่งเกิดในปฏิกิริยาชั้นกลางของปฏิกิริยาเมลลาร์ด ชนิดหนึ่งคือ 3-methylbutanal มีค่า threshold 0.35 methional มีค่า threshold 0.2 แต่สารผลิตภัณฑ์บางชนิด อาจมีค่า threshold สูงกว่านี้ เช่น maltol มีค่า threshold 9000 หรือ สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดขั้นท้ายที่เกิดเป็นสารของกลุ่มซัลไฟด์ เช่น 2-methyl-3-furanthiol มีค่า threshold ต่ำมากเพียง 0.0004 [24] ซึ่งค่า threshold ที่ต่ำมากๆ แสดงถึงความไวในการรับรู้กลิ่นสูงนั่นเอง ตามที่กล่าวมาอาจจะเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งท่านผู้อ่านอาจจะไม่เห็นภาพนัก แต่ถ้าจะบอกให้เห็นภาพมากขึ้น คงต้องเล่าพอสังเขปว่า มีผู้แบ่งคุณภาพของกลิ่นจากสารของปฏิกิริยาเมลลาร์ดด้วย [25] เช่น สารบางชนิดมีกลิ่นคล้ายอัลมอนต์ กลิ่นผักต้ม กลิ่นควัน กลิ่นเนื้อต้ม กลิ่นหวาน เป็นต้น ในระยะหลัง Lane และ Nursten [26] ได้อธิบายลักษณะกลิ่นของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระบบต้นแบบ 400 แบบ โดยจัดจำแนกเป็น 14 กลุ่ม ได้แก่ กลิ่นกลุ่มหวาน แบบน้ำตาลต้ม คาราเมล กลิ่นกลุ่มช็อคโกแลต กลิ่นกลุ่มขนมปัง กลิ่นกลุ่มเนื้อ กลิ่นกลุ่มมันฝรั่ง กลิ่นกลุ่มผลไม้ กลิ่นกลุ่มเซอร์เรอรี กลิ่นกลุ่มข้าวสาลี กลิ่นกลุ่มถั่ว กลิ่นกลุ่มดอกไม้

กลิ่นกลุ่มแอมโนเนีย กลิ่นกลุ่มไม่พึงปรารถนา กลิ่นกลุ่มแอลดีไฮด์ และกลิ่นกลุ่มเหม็นไหม้

ตามที่นำมาเล่าเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระบบอาหาร ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสีและกลิ่นอันเป็นลักษณะทางกายภาพที่ทุกคนน่าจะรับรู้ได้ดี แต่เบื้องหลังเล็กๆ ที่กล่าวมาเป็นส่วนหนึ่งที่มาของสิ่งเปลี่ยนแปลงทั้งหลายที่เราสัมผัสได้ คือ ด้านปฏิกิริยาทางเคมี ส่วนคำถามที่เคยมีผู้สนใจถามคงไม่พ้นถึงเรื่องอันตรายของสิ่งที่เกิด ในตอนนี้คงอาจไม่สามารถกล่าวถึงได้ เพราะเป็นเรื่องยาวที่ต้องนำหลักการพิสูจน์ทางห้องปฏิบัติการมากล่าวก็จะกลายเป็นอีก Version คงเอาไว้โอกาสต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] G. R. Waller and M. S. Feather (eds), *The Maillard Reaction in Foods and Nutrition*, vol. 215. American Chemical society, Washington, DC, 1983.
- [2] H. Nursten. (2005). *The Maillard Reaction. Chemistry, Biochemistry and Implication.* The Royal society of Chemistry. Cambridge. P 2-4.
- [3] P. A. Finot, H. U. Aeschbacher, R. F. Hurrell and R. Liardon (eds), *The Maillard Reaction in food Processing, Humam Nutrition and Physiology*, Birkhauser Verlag, Basel, 1990.
- [4] F. Guyomarc'h, F. Warin. D. D. Muir, and J. Leaver, Lactosylation of milk proteins during manufacture and storage of skim milk powders, *Int. Dairy. J.*, 2000, 10, 863-872.
- [5] M. D. del Castillo, M. L. Sanz, M. J. Vicente – Arana, and N. Corgo, study of 2-furoyl-methyl amino acids in processed foods by HPLC-mass spectrometry, *Food Chem.*, 2002, 79, 261-266.
- [6] R. Tressl and D. Rewicki. Heat generated Flavors and precursors, in *Flavor Chemistry: Thirty Years of progress.* Kluwer Plenum, New York, 1999, 305-325.
- [7] T. P. Labuza, G. A. Reinecciuo, V. M. Monnier, J. O'Brien, and J. W. baynes(eds), *Maillard Reaction in Chemistry, Food and Health*, vol. 151, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1994.
- [8] R. O'Reilly, *The nature of the chemical grouping s responsible for the colour of products of the Maillard reaction*, The University of Reading, 1982.
- [9] J. E. Hodge, *Chemistry of browning reactions in model systems*, *J. Agric. Food Chem.*, 1953. 1, 928-943.
- [10] T. M. Reynolds, *Chemistry of nonengymic browning. I. The reaction between. aldoses and amines*, *Adv. Food Res.*, 1965, 14, 1-52.
- [11] S. E. Fayle and J. A. Gerrard, *The Maillard Reaction*, Royal society of Chemistry, Cambridge, 2002.
- [12] AOAC. (1984). *Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists.* Washington DC.
- [13] กระทรวงสาธารณสุข. (2543).
- [14] K. Eichner, M. Reutter, and R. wittmann., *Detection of Amadori compounds in heated foods*, in *Thermally Generated Flavors Maillard*, Washington DC, 1994, 42-54.
- [15] N. Ide, K. RYU, K. Ogasawara, T. Sasaoka, H. Matsuura, S. I. Sumi, H-Sumiyoshi and B.H.S. Lau., *Antioxidant in processed garlic.I. Fructosyl arginine identified in aged garlic extract*, in *G* 2002, 447-448.

- [16] E. Ferrer, A. Alegria, R. Farre, P. Abellan, F. Romero and G. Clemente. Evolution of available lysine and Furosine contents in milk-based infant formulas throughout shelf-life storage period, *J.Sci. Food Agric.*, 2003, 83, 465-472.
- [17] M. Rada-Mendoza, A. Olano. and M. Villamiel, Furosine as indicator of Maillard reaction in Jams and fruit-based infant food, *J. Agric. Food Chem.*, 2002, 50, 4141-4145.
- [18] A. Hidalgo, M. Rossi, and C. Pompei, Furosine as a freshness parameter of shell eggs, *J.Agric. Food Chem.*, 1995, 43, 1673-1677.
- [19] I. D. Morton, P. Akroyd and C. G. May, Flavoring substances, U.S.Patent. 1960, 2934437, via chem., Abstract., 1960, 54, 17746a.
- [20] R. Teranishi, E. L. Wick and I. Hornstein (eds), Flavor chemistry: Thirty Years of Progress, kluwer/plenum, New York, 1999.
- [21] T. H. Parliment, A concerted procedure for the generation, concentration, fractionation and sensory evaluation of Maillard reaction products, in Flavor chemistry: Thirty Years of Progress, kluwer/plenum, New York, 1999, 43-54.
- [22] A kobayashi, Sotolon : Identification, formation and effects on flavor, in Flavor Chemistry : Trends and Developments, R. Teranishi, R. G. Buttery and F. Shahidi(eds) American Chemical Society, Washington, DC, 1989, 49-59, via Chem. Abstr., 1989, 111, 76632p.
- [23] G. Vernin and C. Parkanyi, Mechanisms of formation of heterocyclic compounds in Maillard and pyrolysis reactions, in Chemistry of hererocyclic compounds in Flavors and Aromas, G.Vernin(ed), Ellis Horwood, Chichester, 1982, 151-207.
- [24] H. Maarse (ed)., Volatile compounds in Foods and Beverages, Dekker, New York, 1991.
- [25] R. Harper, D. G. Land, N. M. Griffiths and E. C. Bate-smith, Odour qualities: a glossary of usage. *Br.I.Psychol.*, 1968, 59, 231-252.
- [26] M. J. Lane and H. E. Nursten, The variety of odors produced in Maillard model systems and how they are influences by reaction conditions, in B., 1983, 141-158.