

บทที่ 9

วัตถุเจือปนในอาหาร (FOOD ADDITIVES)

วัตถุเจือปนในอาหารได้แก่ สารหรือสารผสมเคมีที่ใส่ในอาหารในปริมาณที่ควบคุม และรู้ปริมาณแน่นอน มีจุดประสงค์เพื่อช่วยในขบวนการผลิต ถนอมอาหารหรือปรับปรุงกลิ่นรส เนื้อสัมผัสหรือลักษณะภายนอกของอาหาร แต่ไม่รวมถึงสารที่ปนเปื้อนมากับอาหารโดยบังเอิญ

วัตถุเจือปนในอาหารอาจจะว่องไวหรือไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาต่าง ๆ อาจมีคุณค่าทางโภชนาการหรือไม่ก็ได้ แต่จะต้องไม่เป็นพิษเป็นภัยต่อสุขภาพ วัตถุเจือปนในอาหารจำนวนมากจัดอยู่ในจำพวก GLAS (“Generally Regarded As Safe” แปลว่าโดยทั่วไปถือว่าเป็นปลอดภัย) วัตถุเจือปนในอาหารที่เป็นจำพวก GLAS ได้แก่ วัตถุเจือปนที่ถูกใช้มานานโดยไม่มีอันตรายก่อนที่จะมีการควบคุมทางกฎหมาย

การใช้วัตถุเจือปนในอาหารมีใช้สิ่งใหม่ เกลือ น้ำผึ้ง เหล้าไวน์ หรือเครื่องเทศใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหารมาช้านาน ตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์เสียอีก ปัจจุบันเนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร การใช้วัตถุเจือปนในอาหารได้เพิ่มทวีมากขึ้นและมีมากมายหลายชนิด วัตถุเจือปนบางชนิดเป็นสิ่งที่เราใส่ในอาหารด้วยความจงใจ (intentional food additives) เพื่อจุดประสงค์บางอย่าง เช่น ช่วยถนอมอาหาร ช่วยเพิ่มกลิ่นรส และช่วยในกรรมวิธีผลิต เป็นต้น ยังมีวัตถุเจือปนในอาหารบางชนิดเป็นสารที่เราไม่ได้ตั้งใจใส่ในอาหาร (incidental food additives) แต่มีในอาหารเนื่องมาจากกรรมวิธีการผลิต จากภาชนะที่บรรจุ หรือจากแหล่งอื่น เช่น จากปุ๋ยที่ใส่ในดินที่ปลูกพืช และพืชอาจดูดซึมเอาสารในปุ๋ยนั้นที่มีมากเกินไปเก็บสะสมในลำต้นหรือผล วัตถุเจือปนเหล่านี้เป็นสารเคมีซึ่งบางชนิดอาจเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของร่างกาย และบางชนิดอาจเป็นอันตรายถ้าหากบริโภคในปริมาณที่มากเกินไป ในประเทศที่เจริญแล้ว เช่น ในสหรัฐอเมริกา จะมีการตรวจสอบสารทุกชนิดที่จะใส่ในอาหาร การตรวจสอบมีหลายวิธีซึ่งรวมทั้งวิธีทางเคมีและวิธีทางชีววิทยาโดยการตรวจสอบความเป็นพิษ และผลทางสรีรวิทยาของสารนั้นที่มีต่อสัตว์ทดลอง วัตถุเจือปนในอาหารที่ได้รับ

การรับรองจากกองอาหารและยา (Foods and Drugs Administration or FDA) ของสหรัฐอเมริกา จึงจะใช้ได้ และจะต้องมีการกำหนดวิธีการใช้และปริมาณต่ำสุดที่จะใช้ด้วย

สารที่ใช้เป็นสิ่งเจือปนในอาหารได้นั้น จะต้องผ่านการทดสอบดังนี้

1. ตรวจสอบกรรมวิธีในการผลิตสารและความบริสุทธิ์ของสารนั้น
2. หาคุณสมบัติทางเคมีของสารนั้น
3. ตรวจสอบความเป็นพิษของสารนั้น

4. ทดลองหาผลทางชีววิทยาที่มีต่อสัตว์ทดลอง โดยตรวจดูปริมาณและระยะเวลาที่จะทำให้เกิดโรคในสัตว์ และอวัยวะส่วนใดที่เกิดโรคและลักษณะของโรคที่เกิด การทดลองนี้ ควรทำกับสัตว์ต่าง ๆ อย่างน้อย 3 ชนิดขึ้นไป

5. ทดลองหาปริมาณของสารนั้นที่ควรมีในผลิตภัณฑ์อาหารสุดท้าย

6. ศึกษาวิธีที่สารนั้นจะถูกเมตาโบไลส์ในคนและสัตว์

7. ศึกษาการทำงานของสารนั้นในอุตสาหกรรมอาหาร

วัตถุประสงค์ของสารนั้นสามารถนำไปใช้เพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. เพื่อสงวนหรือเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร
2. เพื่อถนอมอาหารและป้องกันการเสื่อมสภาพของอาหารในระหว่างเก็บ
3. เพื่อรักษาคุณภาพของอาหารช่วยให้อาหารมีสี กลิ่นรสและเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม

โดยมิใช่เพื่อหลอกลวงผู้บริโภค

4. เพื่อช่วยในกรรมวิธีการผลิต

วัตถุประสงค์ที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ สารกันบูด, สารที่ช่วยเสริมคุณค่าทางโภชนาการ, สีของอาหาร, สารปรุงรสกลิ่นรส, สารที่ช่วยควบคุมความเป็นกรดและด่างของอาหาร, แอนติออกซิแดนซ์ (antioxidants), เอนไซม์, สารช่วยให้เกิดอิมัลชัน (emulsifying agents), สารที่ทำให้ข้น (Thickeners) เป็นต้น

ในการใช้วัตถุเจือปนในอาหาร เราควรจะต้องถือหลักต่อไปนี้คือ

1. วัตถุเจือปนในอาหารควรเป็นสารที่ให้ผลทางเทคโนโลยี (technological effective)
2. วัตถุเจือปนในอาหารควรจะต้องปลอดภัยในการใช้
3. วัตถุเจือปนในอาหารไม่ควรใช้เกินกว่าปริมาณที่จำเป็น
4. วัตถุเจือปนในอาหารไม่ควรใช้เพื่อจุดประสงค์ในการหลอกลวงผู้บริโภคเกี่ยวกับ

ธรรมชาติและคุณภาพของอาหาร

5. การใช้วัตถุเจือปนที่มีในสารอาหารควรใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุด

9.1 สารต้านเชื้อจุลินทรีย์หรือสารกันบูด (Antimicrobial agents or Preservatives)

1. ซัลไฟต์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ถูกใช้สำหรับถนอมอาหารมาเป็นเวลาช้านานแล้ว รูปที่ใช้คือ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเกลือโซเดียมหรือโพแทสเซียมของซัลไฟต์ ไบซัลไฟต์หรือเมตาไบซัลไฟต์ ในสารละลายเอเควียส ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือซัลไฟต์เกิดเป็นกรดซัลฟูรัสและไอออนของไบซัลไฟต์และซัลไฟต์



อัตราส่วนสัมพัทธ์ของแต่ละรูปขึ้นกับ pH ของสารละลาย และที่ pH 4.5 หรือต่ำกว่านี้จะมี HSO_3^- ไอออนและกรดซัลฟูรัสที่ไม่แตกตัวอยู่มาก ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใช้เป็นสารกันบูดที่มีประสิทธิภาพที่สุดในตัวกลางที่เป็นกรด ผลดังกล่าวนี้เชื่อกันว่าเป็นผลจากการลดซัลฟูรัสที่ไม่แตกตัวซึ่งเป็นรูปที่มีมากที่สุดที่ pH ต่ำกว่า 3.0 กรดซัลฟูรัสสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ ราและแบคทีเรีย แต่ผลของการยับยั้งอาจไม่เท่ากัน เช่น ที่ pH สูง HSO_3^- ไอออนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียแต่ไม่ยับยั้งยีสต์ การที่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลในการยับยั้งสูงที่ pH ต่ำอาจเนื่องมาจากผลของกรดซัลฟูรัสซึ่งสามารถเจาะทะลุผนังเซลล์ได้ง่าย

นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังเป็นสารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องกับอาหาร กลไกของการยับยั้งยังไม่กระจ่างนัก แต่อาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไบซัลไฟต์กับหมู่คาร์บอนิลที่ว่องไว ไบซัลไฟต์รวมกับน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) และแอลดีไฮด์อินเทอร์มีเดียทแบบผันกลับได้และรวมอย่างแน่นหนากว่ากับ α -ไดคาร์บอนิล และ α, β -unsaturated aldehydes ผลึกภัณฑ์ที่เกิดขึ้นทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลช้าลง เมื่อควบคุมคุณสมบัติการฟอกสีของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อรงควัตถุเมลานอยดิน ทำให้มีผลในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังช่วยยับยั้งปฏิกิริยาที่มีเอ็นไซม์เป็นตัวเร่ง นั่นคือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องด้วย การเกิดรงควัตถุโดยการออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลซึ่งมีเอ็นไซม์เป็นตัวเร่งสามารถก่อให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ผลไม้และผักสด อย่างไรก็ตามการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือเมตาซัลไฟต์ฟนีส หรือโซลิวชันโดยอาจจะใส่กรดซิตริกหรือไม่ใส่ก็ได้มีผลในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องกับมันฝรั่ง แครอท

และแอปเปิ้ลที่ปอกหรือหั่นแล้ว

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังใช้เป็นแอนติออกซิแดนท์ (antioxidants) ในระบบอาหารหลายประเภท ผู้ที่มันมักไม่ถูกนำไปใช้เพื่อจุดประสงค์ดังกล่าวนี้ เมื่อเบียร์รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะช่วยยับยั้งกลิ่นออกซิไดส์ได้ในช่วงการเก็บเบียร์ไว้ การรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อสดยังช่วยรักษาสีแดงของเนื้อสดไว้ได้ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติไม่อนุญาตให้ใช้เพราะอาจจะไปบดบังสภาพที่แท้จริงของเนื้อที่เน่าเสียแล้ว

เมื่อแบ้งรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะทำให้พันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนแตกออกแบบผันกลับได้ (reversible cleavage of protein disulfide bonds) และสามารถทำให้เกิดผลดีต่อคุณสมบัติในการอบ (baking properties) ของโดที่ใช้ทำขนมปัง (bread dough)

ก่อนที่จะนำผลไม้มาอบแห้งมักจะให้ผ่านก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อน และในทางปฏิบัติบางครั้งจะทำโดยมีสารบัฟเฟอร์ (buffering agent) คือ NaHCO_3 อยู่ การทำเช่นนี้จะช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและช่วยฟอกสีของรงควัตถุแอนโทไซยานิน (anthocyanin pigments) คุณสมบัติที่ได้จะเป็นที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทที่ใช้ทำไวน์ขาวและไวน์ maraschino-cherries

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์จะถูกเมตาโบไลส์ไปเป็นซัลเฟต และขับถ่ายออกทางปัสสาวะโดยไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายแต่ประการใด ระดับของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในผลไม้แห้งบางครั้งมากถึง 2,000 ppm อย่างไรก็ตาม ระดับที่สูงกว่า 500 ppm จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงปรารถนาได้

2. เกลือไนไตรต์และเกลือไนเตรต (Nitrite and Nitrate Salts)

เกลือโพแทสเซียมหรือโซเดียมของไนไตรต์และไนเตรตใช้เป็นสารผสมสำหรับบ่มเนื้อเพื่อให้เกิดสีที่คงทน, เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และเพื่อให้มีกลิ่นรสเฉพาะตัวของเนื้อ สารประกอบที่เป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่นี้คือ ไนไตรต์มากกว่าไนเตรต ไนไตรต์ที่อยู่ในเนื้อเกิดเป็นไนตริกออกไซด์ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฮีม (heme compounds) เกิดเป็นไนโตรโซไมโอโกลบิน (Nitrosomyoglobin) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีชมพูของเนื้อที่บ่ม (ปฏิกิริยาดูได้จากรูปที่ 6.17 ในบทที่ 6) การวิเคราะห์ด้านกลิ่นรสแสดงว่าไนไตรต์เป็นตัวให้กลิ่นของเนื้อบ่ม แต่รายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องนี้ยังไม่กระจ่าง นอกจากนี้ไนไตรต์ (150 - 200 ppm) ยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Clostridium botulinum* ในเนื้อกระป๋องและเนื้อบ่ม และไนไตรต์จะให้ผลการยับยั้งที่ pH 5.0 - 5.5 ได้ดีกว่าที่ pH สูงกว่านี้ กลไกการต้านเชื้อ

จุลินทรีย์ของไนไตรต์ยังไม่ทราบแน่นอน แต่มีผู้เสนอแนะว่าไนไตรต์ทำปฏิกิริยากับหมู่ซัลไฟดริล (sulfhydryl groups) ของโปรตีนในเนื้อเกิดสารประกอบซึ่งไม่อาจถูกเมตาโบไลส์โดยเชื้อจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (anaerobic condition)

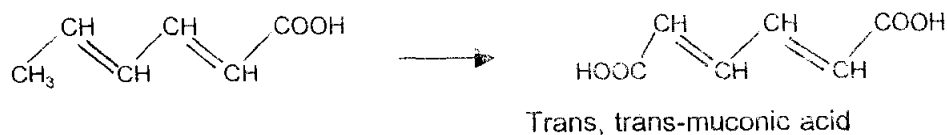
เมื่อไม่นานมานี้ มีผู้พบว่าไนไตรต์เกี่ยวข้องกับการเกิดไนโตรซามีน (nitrosamine) ปริมาณเล็กน้อยและอาจจะเป็นพิษในเนื้อป่ม ส่วนเกลือไนเตรตยังเกิดตามธรรมชาติในอาหารหลายประเภท เช่น ในผักขม (spinach) เป็นต้น การสะสมไนเตรตปริมาณสูงในผักซึ่งปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยปริมาณมาก จะต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษ โดยเฉพาะผักที่นำมาทำอาหารสำหรับเด็กอ่อน การขจัดไนไตรต์ออกจากเนื้อป่มไม่ใช่สิ่งที่ทำได้ง่ายนัก เพราะไนเตรตเป็นสารสำคัญที่ให้สีของเนื้อป่ม และเป็นตัวยับยั้งการแพร่เชื้อ *clostridium botulinum* ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดพิษในเนื้อป่มได้ ดังนั้น การใช้ไนไตรต์และไนเตรตในเนื้อป่มจึงยังคงเป็นปัญหาอยู่ในขณะนี้ อย่างไรก็ตาม ตรายใดที่เนื้อป่มมิได้ก่อให้เกิดพิษของอาหารอันเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์ ก็ยังไม่มีการคัดค้านเกี่ยวกับการใช้ไนไตรต์และไนเตรตในเนื้อป่ม

3. กรดซอร์บิก (Sorbic acid)

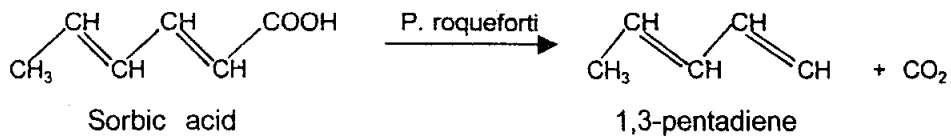
กรดซอร์บิก (2-trans,4-trans-hexadienoic acid) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี 1 หมู่ ใช้ยับยั้งการแพร่ของเชื้อรา ข้อดีของกรดซอร์บิก ($pK_a = 4.76$) คือ ในปริมาณที่ใช้กับอาหาร (ประมาณ 0.3%) สารนี้ไม่มีกลิ่นและรสที่ส่งผลกระทบต่อกลิ่นรสของอาหาร

กรดซอร์บิกรวมทั้งเกลือโซเดียมและโพแทสเซียมของกรดนี้ใช้ยับยั้งการแพร่ของราและยีสต์ได้ แต่มีผลน้อยต่อแบคทีเรีย ฤทธิ์ของกรดซอร์บิกจะเพิ่มขึ้นขณะที่ pH ลดลง แสดงว่า รูปที่ไม่แตกตัวมีผลยับยั้งดีกว่ารูปที่แตกตัว ปกติ กรดซอร์บิกใช้ได้ผลจนถึง pH 6.5

กรดซอร์บิกถูกเมตาโบไลส์ได้เช่นเดียวกับกรดไขมันทั่วไปโดย เบต้า ออกซิเดชัน (β -oxidation) และส่วนน้อยโดย โอเมก้า ออกซิเดชัน (ω -oxidation) ได้ trans, trans-muconic acid)



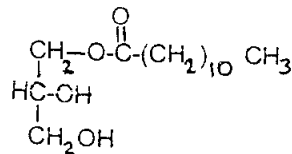
ราบางชนิด เช่น *Penicillium roqueforti* สามารถทำให้กรดซอร์บิกเกิดดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ไปเป็น 1,3-pentadiene ซึ่งไม่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราอีกต่อไป เมื่อราชนิดนี้เกิดบนผิวของเนยแข็งที่ใส่กรดซอร์บิก จะทำให้เกิด 1,3-pentadiene ซึ่งมีกลิ่นคล้ายแก๊สโซลีน



กรดซอร์บิกและเกลือของกรดซอร์บิกใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อราในขนมอบ, เนยแข็ง เครื่องดื่ม(น้ำผลไม้, ไวน์) มาร์มาเลด(marmalades) เยลลี่ ผลไม้แห้งและมาร์การีน

3. กลีเซอรอล เอสเทอร์ (Glycerol esters)

กรดไขมันและโมโนกลีเซอไรด์หลายชนิดมีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์แกรมบวกและยีสต์บางชนิด สารกลุ่มนี้ที่ไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะพวกที่มี 18 คาร์บอนอะตอมมีฤทธิ์ต้านเชื้อสูงเช่นเดียวกับกรดไขมัน ส่วนพวกที่มีความยาวโซ่ปานกลาง(12 คาร์บอนอะตอม)มีฤทธิ์ยับยั้งสูงสุดเมื่อเอสเทอร์ไฟด์เข้ากับกลีเซอรอล กลีเซอรอลโมโนโอเลเรท(Glycerol monolaurate)ซึ่งมีชื่อทางการค้าคือ"Monolaurin" มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อประเภท streptococcus และ streptococcus เมื่อมีความเข้มข้น 15-250 ppm สารนี้ใช้ทั่วไปในเครื่องสำอาง และเนื่องจากธรรมชาติของสารนี้คล้ายลิปิด จึงสามารถใช้ในอาหารบางชนิด



Glycerol monolaurate

สารไลโปฟิลิก(lipophilic agent)ประเภทนี้ยังใช้ยับยั้งเชื้อ Clostridium botulinum ได้ จึงถูกนำมาใช้เพื่อจุดประสงค์ดังกล่าวในเนื้อบ่ม(cured meat)และพลาสติกที่ใส่บรรจุภัณฑ์แล้วแช่แข็ง ผลการยับยั้งเกิดจากอนุพันธ์ของกลีเซอไรด์เหล่านี้ช่วยให้โปรตอนสามารถผ่านเยื่อเซลล์ได้สะดวก เป็นผลให้เกิดการทำลายแรงขับเคลื่อนโปรตอน(proton motive force) ซึ่งจำเป็นต่อการขนส่งซับสเตรต(substrate transport) เข้าสู่เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ การฆ่าเซลล์จะพบได้ก็ต่อเมื่อสารนี้มีความเข้มข้นสูง และเชื้อจะตายเมื่อมีรูเกิดขึ้นที่เยื่อเซลล์

4. กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid)

กรดโพรพิโอนิก (CH₃CH₂COOH) รวมทั้งเกลือโซเดียมและโพแทสเซียมของมันมีฤทธิ์ต้านเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดได้ กรดโพรพิโอนิกเกิดในเนยแข็งสวิส (Swiss Cheese) (มีมากถึง 1% โดยน้ำหนัก) และเกิดจาก Propionibacterium shermanii กรดโพรพิโอนิกใช้กันแพร่หลายในขนมอบ กรดโพรพิโอนิกไม่เพียงแต่ยับยั้งการเจริญเติบโตของราได้ดีมันยังมีผลต่อต้านเชื้อ Bacillus mesentericus ที่ทำลายขนมปังด้วย ระดับที่ใช้ปกติจะประมาณ 0.3% โดย

น้ำหนัก กรดโพธิโอนิกที่ไม่แตกตัวจะเป็นรูปที่แตกตัวและใช้ได้ผลจนถึง pH 5.0 กรดโพธิโอนิกมีผลในการฆ่าเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดเกิดจากการที่จุลินทรีย์เหล่านี้ไม่สามารถเมตาโบไลส์สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นคาร์บอนอะตอม 3 ตัว ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม กรดโพธิโอนิกจะถูกเมตาโบไลส์ในลักษณะเดียวกับกรดไขมันอื่น ๆ และสำหรับปริมาณที่ใช้อยู่ไม่ปรากฏว่ามีอันตรายแต่อย่างไร

5. กรดอะซิติก (Acetic acid)

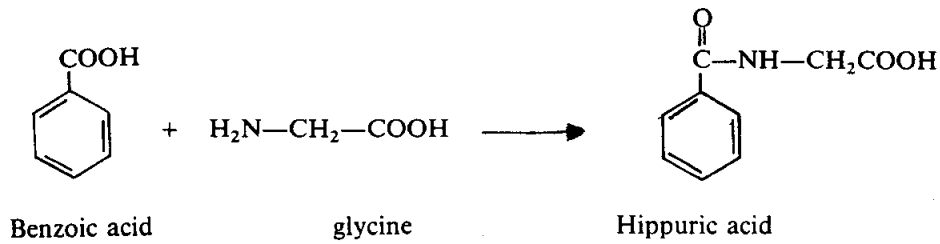
การถนอมอาหารด้วยกรดน้ำส้มในรูปของน้ำส้มสายชูเป็นวิธีที่ใช้กันมานานแล้ว นอกจากน้ำส้มสายชู (4% กรดน้ำส้ม) และกรดน้ำส้มแล้ว ยังมีสารอีกหลายตัวที่ใช้ได้คือ โซเดียมอะซิเตต โพแทสเซียมอะซิเตต แคลเซียมอะซิเตต และโซเดียมดีอะซิเตต (sodium deacetate คือ $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot \text{CH}_3\text{COOH} \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) เกลือเหล่านี้ใช้ในขนมปังและพวกขนมอบ (Baked goods) (0.1 - 0.4%) เพื่อป้องกันมิให้ขนมปังแยกเป็นเส้น ๆ (ropiness) และป้องกันการเจริญเติบโตของรา แต่ไม่รบกวนยีสต์ในขนมปัง น้ำส้มสายชูและกรดอะซิติกใช้ในการดองเนื้อและผลิตภัณฑ์ปลา กรดนี้ใช้กับอาหาร เช่น ซอสมะเขือเทศ (catsup), มายองเนส (Mayonnaise) และของหมักดอง (pickles) เป็นสารที่ให้กลิ่นรสของอาหารเหล่านี้ และผลิตภัณฑ์เหล่านี้ยังได้ประโยชน์จากความสามารถในการป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ของกรดอะซิติกด้วย ฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นขณะที่ pH ลดลง คุณสมบัตินี้คล้ายคลึงกับกรดไขมันอื่น ๆ

6. กรดเบนโซอิก (Benzoic acid)

กรดเบนโซอิกใช้เป็นสารกันบูดในอาหาร เกิดตามธรรมชาติในแครนเบอร์รี่ (cranberries), ลูกพรุน (prunes), ซินนามอน (cinnamon) และกานพลู (cloves) กรดนี้ในรูปที่ไม่แตกตัวจะมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อ และมีฤทธิ์สูงสุดเมื่อ pH อยู่ในช่วง 2.5 - 4.0 มันจึงใช้ได้ดีในอาหารที่เป็นกรด เช่น น้ำผลไม้ เครื่องดื่มคาร์บอนेट (carbonated beverages) ของหมักดองและกะหล่ำปลีดองของเยอรมัน (sauerkraut) เกลือโซเดียมของกรดเบนโซอิกละลายน้ำได้มันจึงมักถูกนำมาใช้ในรูปของเกลือ เมื่อละลายเกลือโซเดียมของกรดเบนโซอิกในผลิตภัณฑ์อาหาร เกลือบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดซึ่งจะแสดงฤทธิ์ออกมา มันจะมีผลต่อยีสต์และแบคทีเรียแต่มีผลน้อยมากต่อรา กรดเบนโซอิกมักจะใช้ควบคู่กับกรดซอร์บิกหรือพาราเบนส์ (parabens) และระดับที่ใช้มักจะอยู่ในช่วง 0.05 - 0.1% โดยน้ำหนัก

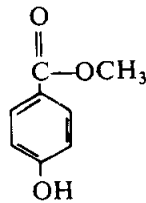
กรดเบนโซอิกไม่เป็นอันตรายถ้าใช้ในปริมาณน้อย มันจะถูกกำจัดออกจากร่างกาย

โดยคอนจูเกตกับไกลซีน (glycine) ไปเป็นกรดชิปूरิก (hippuric acid) หรือเบนโซอิลไกลซีน (benzoylglycine) วิธีนี้จะช่วยมิให้มีการสะสมกรดเบนโซอิกในร่างกาย



7. พารา-ไฮดรอกซีเบนโซอิก อัลคิล เอสเทอร์ (p-Hydroxybenzoic alkyl esters) หรือพาราเบนส์ (Parabens)

พาราเบนส์เป็นกลุ่มอัลคิลเอสเทอร์ของกรดพารา-ไฮดรอกซีเบนโซอิก (p-hydroxybenzoic acid) ซึ่งใช้กันแพร่หลายเป็นสารป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร ในผลิตภัณฑ์ยาและในเครื่องสำอาง เมธิล, โพรพิลและเฮปทิลเอสเทอร์ของกรดนี้ใช้กันในสหรัฐอเมริกา และในบางแห่ง เอซิลและบิวทิลเอสเทอร์ของกรดนี้ก็มีใช้เช่นกัน



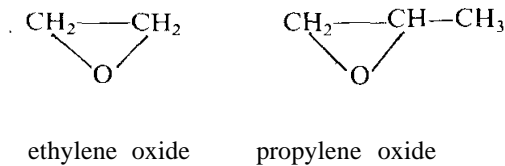
methyl p - hydroxybenzoate (parabens)

พาราเบนส์ใช้เป็นสารถนอมอาหารพวกขนมอบ, เครื่องดื่ม, เบียร์, น้ำมันโอลิว (olive), ของหมักดอง, แยม, เยลลี่และน้ำเชื่อม มันมีผลต่อกลิ่นรสน้อยมากและยับยั้งการเจริญของเชื้อรา และยีสต์ได้ ปริมาณที่ใช้คือ 0.05 - 0.1% โดยน้ำหนัก แต่มีผลน้อยต่อแบคทีเรียโดยเฉพาะพวกแบคทีเรียประเภทแกรม-ลบ (gram-negative bacteria) ฤทธิ์ของพาราเบนส์เพิ่มขึ้นตามความยาวของโซ่อัลคิล (alkyl chain) ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อโซ่อัลคิลยาวขึ้นจะทำให้มันละลายน้ำได้น้อยลงด้วยเหตุนี้ พาราเบนส์ที่มีโซ่อัลคิลสั้นจึงมีใช้มากกว่า ซึ่งแตกต่างจากสารป้องกันราประเภทอื่น พาราเบนส์จะมีฤทธิ์สูงที่ pH 7 หรือสูงกว่านี้ ทั้งนี้เพราะว่ามันอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวที่ pH เป็นกลาง หมู่ฟีนอลทำให้มันมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน พันธะเอสเทอร์ทนต่อการไฮโดรไลซิสแม้ในอุณหภูมิรีทอร์ท (retort temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูง

พาราเบนส์มีคุณสมบัติหลายอย่างคล้ายกับกรดเบนโซอิกและมักจะใช้ร่วมกันเสมอ พาราเบนส์ไม่เป็นพิษเป็นภัย และสามารถถูกกำจัดออกจากปัสสาวะหลังจากการไฮโดรไลซิส หมู่เอสเทอร์และถูกเมตาโบไลส์ในที่สุด

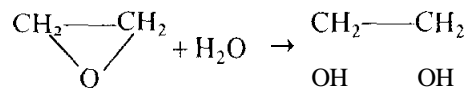
8. อีพอกไซด์ (Epoxides)

สารต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารส่วนใหญ่จะใช้ในปริมาณเพียงเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เท่านั้น แต่ไม่ถึงกับใช้ในปริมาณที่ฆ่าเชื้อเหล่านี้จนหมด อย่างไรก็ตาม เอธิลีนและโพรพิลีนออกไซด์เป็นข้อยกเว้น สารประกอบอีพอกไซด์เหล่านี้ใช้ในอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำ เพื่อให้สารเหล่านี้สัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์อย่างทั่วถึง มันจึงถูกใช้ในรูปของก๊าซ หลังจากอาหารได้รับก๊าซเหล่านี้ในปริมาณที่พอเพียงแล้ว ก๊าซส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยาจะถูกกำจัดออกโดยการฉีดทำลายด้วยน้ำ (flushing) และปล่อยออกไป (evacuation) อีพอกไซด์เหล่านี้เป็นไซคริกอีเทอร์ที่วงไวสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด รวมทั้งสปอร์และแม้แต่ไวรัสด้วย กลไกของการทำงานของอีพอกไซด์เหล่านี้ยังไม่เป็นที่ทราบกัน



ในกรณีของเอธิลีนออกไซด์อาจเป็นไปได้ที่จะเกิดอัลกิลเลชัน (alkylation) ของสารอาหารพวก essential intermediary metabolites ของเชื้อจุลินทรีย์โดยหมู่ไฮดรอกซีเอธิล (hydroxyethyl group) เป็นผลทำให้มันตายได้

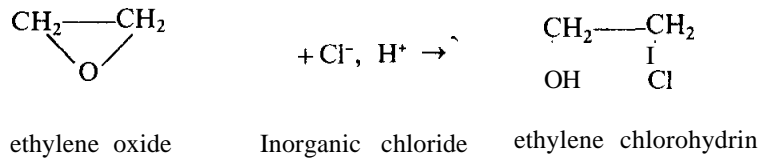
อีพอกไซด์ยังทำปฏิกิริยากับน้ำได้เกิดเป็นไกลคอล (glycol)



ไกลคอลมีพิษน้อยกว่าเอธิลีนออกไซด์มากจึงไม่มีผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

อีพอกไซด์ส่วนใหญ่ที่ยังมีฤทธิ์อยู่จะถูกกำจัดออกจากอาหารโดยเปลี่ยนเป็น glycols ซึ่งมีพิษน้อย อีพอกไซด์เหล่านี้มีที่ใช้จำกัดเฉพาะพวกอาหารแห้ง เช่น nutmeats และเครื่องเทศ เครื่องเทศมักจะมีเชื้อจุลินทรีย์อยู่มากและถ้าใส่ในอาหารอาจทำให้อาหารเสียได้ การใช้วิธีสเตอริไลส์ไม่เหมาะเพราะเครื่องเทศประกอบด้วยสารประกอบที่ให้กลิ่นรสซึ่งระเหยง่ายและมักจะไม่เสถียร ดังนั้น การใช้อีพอกไซด์กับอาหารประเภทนี้จึงเหมาะสำหรับการลดจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์

การเกิดสารพิษคือ คลอโรไฮดรินอาจเป็นไปได้จากปฏิกิริยาของอีพอกไซด์กับคลอไรด์ในสารอนินทรีย์ ดังสมการต่อไปนี้



อย่างไรก็ตามจากรายงานต่าง ๆ ไม่พบว่า คลอโรไฮไดรินที่มีปริมาณเล็กน้อยในอาหารจะเป็นอันตรายแต่อย่างใด

การใช้อีพอกไซด์ยังอาจทำลายวิตามินบางชนิด เช่น วิตามินซี, ไนอาซินและไพริดอกซีน

เออีอีเอมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อสูงกว่าโพรพิลีนออกไซด์ และมันระเหยง่ายกว่าและติดไฟง่ายกว่าด้วย ดังนั้น ในการใช้เออีอีเอมักจะใช้เป็นก๊าซผสมคือ 10% เออีอีเอออกไซด์และ 90% คาร์บอนไดออกไซด์ ผลิตภัณฑ์อาหารที่จะรมก๊าซจะใส่ในห้องที่ปิดสนิท (chamber) ห้องนี้จะสูบอากาศออกให้เป็นสูญญากาศ และอัดก๊าซผสมระหว่างเออีอีเอและคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไป 30 ปอนด์ ความดันนี้เป็นความเข้มข้นของอีพอกไซด์ ที่ต้องการเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในช่วงเวลาที่เหมาะสม แต่ถ้าใช้โพรพิลีนออกไซด์จะต้องให้ความร้อนด้วยเพื่อให้อีพอกไซด์นี้อยู่ในรูปของก๊าซ

9. สารปฏิชีวนะ (Antibiotics)

สารปฏิชีวนะประกอบด้วยกลุ่มสารกันบูดซึ่งสร้างขึ้นในธรรมชาติโดยจุลินทรีย์ สารปฏิชีวนะใช้สำหรับควบคุมเชื้อจุลินทรีย์บางประเภทที่ทำให้เกิดโรคในสัตว์และคนได้ จึงมีผู้พยายามทดลองใช้สารเหล่านี้ในการถนอมอาหาร อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความหวังเกรงว่าการใช้สารปฏิชีวนะเป็นประจำจะทำให้เชื้อจุลินทรีย์เกิดการดื้อสารเหล่านี้ได้ ดังนั้นในสหรัฐอเมริกาจึงไม่อนุญาตให้ใช้สารปฏิชีวนะเป็นสารกันบูดในอาหาร ถ้าเกิดเชื้อจุลินทรีย์ที่ดื้อสารปฏิชีวนะชนิดใดจะมีปัญหาถ้าหากสารปฏิชีวนะนั้นถูกนำไปใช้ในทางการแพทย์ด้วย

แม้ว่าสารปฏิชีวนะจะไม่ถูกใช้ในการถนอมอาหารในสหรัฐอเมริกา แต่ในบางประเทศอนุญาตให้ใช้ได้ แต่มีสารปฏิชีวนะเพียงไม่กี่ตัวและในปริมาณที่จำกัดเท่านั้นที่อนุญาตให้ใช้ได้ สารปฏิชีวนะเหล่านี้ประกอบด้วย nisin, chlortetracyclin, oxytetracycline และ pimaricin สารปฏิชีวนะมักใช้ประกอบกับวิธีอื่น ๆ ในการถนอมอาหาร เช่น ช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารที่แช่แข็งและลดความรุนแรงของขบวนการความร้อน เป็นต้น เนื้อสด ปลา และเบ็ด

ไก เป็นผลิตภัณฑ์ที่เสีง่ายจึงอาจใช้สารปฏิชีวนะเพื่อให้เสียช้าลงและยืดอายุการเก็บในตู้แช่ ความจริงเมื่อหลายปีก่อนในสหรัฐอเมริกา กองอาหารและยา (FDA) อนุญาตให้ซุบเนื้อเปิด ไก่ ที่สดในสารละลายของ chlortetracycline และ oxytetracycline ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บ (shelf life) ของเปิดและไก่ และสารปฏิชีวนะส่วนที่เหลือ ทำลายได้โดยการต้ม

Nisin ได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการถนอมอาหาร สารปฏิชีวนะตัวนี้เป็นโพลี-เปปไทด์และใช้ต้านเชื้อจุลินทรีย์แกรม-บวก (gram – positive organisms) ได้ดี สารปฏิชีวนะนี้ ไม่ใช่ในทางการแพทย์ Nisin ผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์ lactic streptococci และในบางส่วนของโลก ใช้ Nisin เป็นสารกันบูดในผลิตภัณฑ์นม เช่น โนเนยแข็งและนมระเหย เป็นต้น Nisin ไม่มีผลในการต้านเชื้อจุลินทรีย์แกรม-ลบ และ Clostridia บางประเภทดื้อต่อสารตัวนี้ อย่างไรก็ตาม Nisin ไม่เป็นพิษเป็นภัยต่อมนุษย์ ไม่มีผลทำให้เกิดการดื้อยาปฏิชีวนะอื่นที่ใช้ในทางการแพทย์ และ จะแตกหักและถูกทำลายในลำไส้โดยไม่อันตรายต่อผู้บริโภคแต่อย่างใด

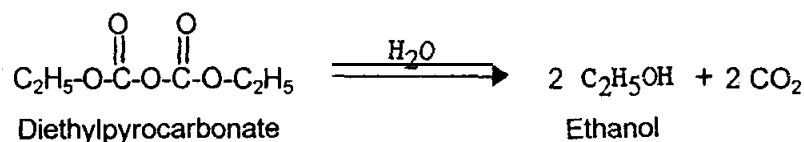
Pimaricin เป็นสารกันเชื้อเห็ดราและมีโครงสร้างประกอบด้วยวงแลกโตน (lactone ring) ต่อกับส่วนที่เป็นน้ำตาลโดยพันธะไกลโคไซด์ (glycoside linkage) ความเป็นพิษของมันมีน้อย และมีผลต่อเชื้อจุลินทรีย์ในความเข้มข้น 10 - 100 ppm เฉพาะบางประเทศเท่านั้นที่อนุญาตให้ใช้สารตัวนี้ได้และการใช้จำกัดเฉพาะใช้หุ้มผิวของเนยแข็งเท่านั้น

10. ไดเอธิลไพโรคาร์บอเนตและไดเมธิลไพโรคาร์บอเนต

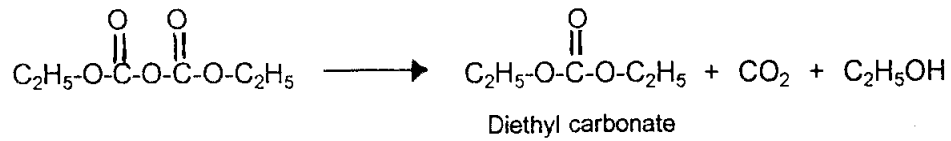
(Diethyl Pyrocarbonate and Dimethyl Pyrocarbonate)

ไดเอธิลไพโรคาร์บอเนตเป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายผลไม้หรือเอสเทอร์ ใช้เป็นสารกันบูดในน้ำผลไม้ ไวน์และเบียร์ ปริมาณที่ใช้คือ 120-300 ppm ในเครื่องดื่มที่เป็นกรด (pH 4.0) ขบวนการนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นการพาสเจอร์ไรส์แบบเย็น (cold pasteurization) ซึ่งสามารถทำลายยีสต์ได้หมดภายใน 60 นาที แต่มีผลน้อยต่อ lactic acid bacteria ซึ่งต้องกำจัดออกโดยขบวนการสเตอริไลเซชัน ปริมาณที่ใช้นี้จะได้ผลต่อเมื่อมีแบกทีเรียอยู่น้อย (~500 ต่อ มิลลิลิตร) และ pH ต้องต่ำกว่า 4.0 ค่า pH ต่ำทำให้การสลายตัวของไดเอธิลไพโรคาร์บอเนตช้าลง แต่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น

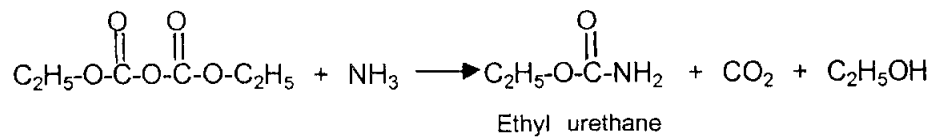
ไดเอธิลไพโรคาร์บอเนตถูกไฮโดรไลส์ง่ายไปเป็นเอทานอล และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้



หรือทำปฏิกิริยากับสารในอาหาร เช่น ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ จะเกิดไดเอซิลคาร์บอเนต (diethyl carbonate) เล็กน้อย ดังสมการต่อไปนี้



ข้อเสียของไดเอซิลไฟโรคาร์บอเนต คือ ถ้าเข้มข้นเป็นสารที่ทำให้คัน ในเครื่องดื่มกรด สารนี้จะถูกไฮโดรไลสได้หมดภายใน 24 ชั่วโมง จึงไม่ก่อให้เกิดพิษดังกล่าว ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ สารนี้สามารถทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียหรือเกลือของแอมโมเนียเกิดเอซิลยูเรเทน (ethyl urethane) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังสมการต่อไปนี้



ปฏิกิริยานี้ขึ้นกับ pH จากการทดลองโดยใช้ sensitive isotope dilution technique แสดงให้เห็นว่า ในน้ำส้ม เบียร์ และไวน์ที่ใช้ไดเอซิลไฟโรคาร์บอเนต 250-500 ppm จะเกิดไดเอซิลยูเรเทน 0.17-2.6 ppm เนื่องจากแอมโมเนียมีอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ การใช้สารกันบูดนี้จึงเป็นการเสี่ยงที่จะมีไดเอซิลยูเรเทนเกิดขึ้นในอาหาร ด้วยเหตุนี้ สารนี้จึงไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ต่อไปในสหรัฐอเมริกา แต่ได้เปลี่ยนมาใช้ไดเมซิลไฟโรคาร์บอเนตแทน เพราะไดเมซิลยูเรเทนที่เกิดไม่เป็นสารก่อมะเร็ง

9.2 สารคีเลท (Chelating agents) หรือ ซีเควสแทรนท์ (Sequestrants)

สารคีเลทหรือซีเควสแทรนท์ มีบทบาทสำคัญในอาหารคือ ช่วยรักษาเสถียรภาพของสี กลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยการทำปฏิกิริยากับโลหะ และไอออนของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท (alkaline-earth metals) ที่ปะปนอยู่ในอาหารเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยวิธีนี้จะทำให้โลหะหรือไอออนที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพลดน้อยลง สารคีเลทที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่เป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ เช่น

(1) กรดโพลีคาร์บอกซิลิก (polycarboxylic acid) ได้แก่ กรดซิตริก, กรดมาลิก, กรดทาร์ทาริก, กรดออกซาลิก และกรดซัคซินิก

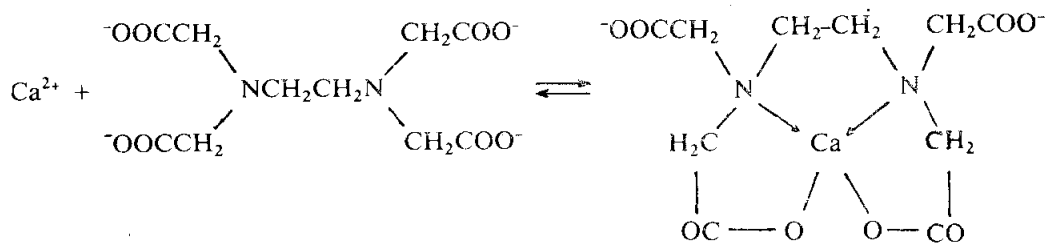
(2) กรดโพลีฟอสฟอริก ได้แก่ อะดีโนซีนไตรฟอสเฟตและไพโรฟอสเฟต

(3) โมเลกุลขนาดยักษ์ (Macromolecules) ได้แก่ พอร์ไฟรินและโปรตีน เป็นต้น

โลหะหลายตัวที่อยู่ในสภาวะคีเลท (chelated state) ในธรรมชาติ เช่น แมกนีเซียม ไนโคลโรฟิลล์ ทองแดง สังกะสีและแมงกานีสในแอนิซิมหลายชนิด เหล็กในโปรตีนคือ เฟอร์ริทิน

(ferritin) และเหล็กในวงพอร์ไฟรินของเฮโมโกลบินของเลือด เมื่อโลหะไอออนเหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกมาโดยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสหรือปฏิกิริยาการแตกหัก (degradation reactions) มันจะสามารถทำปฏิกิริยาต่าง ๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี เกิดกลิ่นหืน ความขุ่นและการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของอาหาร สารสีเหล่านี้จึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะไอออนเหล่านี้และช่วยทำให้อาหารคงคุณภาพไว้ได้

โมเลกุลหรือไอออนใดที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวสามารถโคออดิเนต (coordinate) หรือเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะไอออน ดังนั้นสารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชันนัล เช่น —OH, —SH, —COOH, —PO₃H₂, —C=O, —NR₂, —S— และ —O— อยู่ในตำแหน่งที่สัมพันธ์กันและเหมาะสมสามารถจะเกิดคีเลชัน (chelation) กับโลหะในสภาวะที่เหมาะสม กรดซิตริกและอนุพันธ์ของมัน, พวกเกลือฟอสเฟต และเกลือของกรดเอรีซีน ไดเอมีนเตตราอะซิติก (ethylenediamine tetraacetic acid หรือ EDTA) เป็นสารสีที่ใช้มากที่สุดในการ ปกป้องความสามารถของสารสี (หรือลิแกนด์) ที่จะเกิดวงห้าหรือหกเหลี่ยม (five- or six- membered ring) กับโลหะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดคีเลชัน (chelation) ที่เสถียร ตัวอย่างเช่น EDTA สามารถเกิดคีเลชันที่เสถียรกับแคลเซียมโดยการเกิดพันธะโคออดิเนตกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของไนโตรเจนและกับอิเล็กตรอนคู่อิสระของแอนไอออนออกซิเจนอะตอมของหมู่คาร์บอกซิล 2 ใน 4 หมู่ของ EDTA ดังสมการต่อไปนี้



pH ก็มีส่วนในการเกิดโลหะคีเลต การเพิ่ม pH ที่เหมาะสมจะช่วยให้เกิดการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลและทำให้เกิดคีเลชันได้ดีขึ้น เพราะคาร์บอกซิเลตไอออนเกิดคีเลชันได้ดีกว่ากรดคาร์บอกซิลิกที่ไม่แตกตัว

ในบางกรณี หมู่ไฮดรอกซิลอาจแข่งขันกับสารสีในการทำปฏิกิริยากับโลหะไอออน ทำให้สารสีมีประสิทธิภาพในการเกิดคีเลชันน้อยลง

จุดประสงค์ในการใช้สารคีเลทในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ คือ

1. การใช้สารคีเลทเพื่อช่วยทำให้น้ำมันและไขมันคงตัว

สารคีเลทไม่ใช่แอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) แต่ทำหน้าที่เสริมกับแอนติออกซิแดนท์ เช่น ทองแดงหรือเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ สารคีเลทจะคีเลทกับพวกโลหะเหล่านี้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันก็จะเกิดช้าลง อย่างไรก็ตาม สารคีเลทจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อมันละลายได้ในไขมันและน้ำมัน เช่น กรดซิตริกและซีเตรตเอสเทอร์ (citrate esters) (20-200 ppm) ในสารละลายโพรพิลีน-ไกลคอล (propylene glycol) ละลายในไขมันและน้ำมันได้ จึงสามารถใช้กับระบบบลิปิดได้ทุกระบบ ส่วน Na_2EDTA และ $\text{Na}_2\text{Ca-EDTA}$ ซึ่งละลายในไขมันได้น้อยจึงใช้ไม่ได้กับระบบไขมันบริสุทธิ์ อย่างไรก็ตามเกลือ EDTA (จนถึง 500 ppm) ใช้เป็นแอนติออกซิแดนท์ที่ได้ผลในระบบอิมัลชัน (emulsion system) เช่น น้ำเคล้าสลัด (salad dressings), มายองเนส (mayonnaise) และมาร์การีน (margarine) เพราะมันสามารถทำงานได้ดีในวัฏภาคเอควีียส (aqueous phase)

2. การใช้สารคีเลทในอาหารทะเล

โพลีฟอสเฟต (polyphosphates) และ EDTA ใช้ในอาหารทะเลกระป๋อง เพื่อป้องกันการเกิดผลึกคล้ายแก้ว (glassy crystals) คือ สตรูไวท์ (struvite) หรือแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) อาหารทะเลมีแมกนีเซียมไอออนอยู่ปริมาณมากพอควรซึ่งอาจจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมฟอสเฟตระหว่างช่วงการเก็บเกิดเป็นผลึกซึ่งอาจทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นแก้วปนเปื้อนอยู่ สารคีเลทจะเกิดคีเลชันกับแมกนีเซียม และลดการเกิดผลึกคล้ายแก้วดังกล่าว

สารคีเลทยังสามารถใช้ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็ก, ทองแดง และสังกะสี ในอาหารทะเลเพื่อป้องกันการปฏิกิริยาโดยเฉพาะกับซัลไฟด์ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเปลี่ยนสีได้

3. การใช้สารคีเลทในผัก

การใส่สารคีเลทลงไปแช่ผักก่อนลวก (blanching) สามารถยับยั้งการเปลี่ยนสีที่เหนียว-น้ำโดยโลหะ และสามารถกำจัดแคลเซียมจากสารเพกติก (pectic substances) ในผนังเซลล์และช่วยให้ผักนิ่ม

4. การใช้สารคีเลทในเครื่องดื่ม

กรดซิตริกและกรดฟอสฟอริกเป็นสารที่ทำให้เครื่องดื่มเป็นกรด (acidulant) มันยังสามารถเกิดคีเลชันกับโลหะที่อาจเป็นตัวการให้เกิดการออกซิไดส์สารที่ให้กลิ่นรส เช่น เทอร์ปีน (terpenes) และเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนสี สารคีเลทช่วยรักษาคุณภาพของเครื่องดื่มที่หมักจากมอลท์ (fermented malt beverages) โดยเกิดสารเชิงซ้อนกับทองแดง เนื่องจากทองแดงอิสระสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอล และหลังจากนั้นจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนทำให้เครื่องดื่มขุ่น

5. การใช้สารคีเลทเพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพของวิตามินในอาหาร

วิตามินที่มีอยู่ตามธรรมชาติในอาหารและที่เติมลงไปในการผลิตอาหารมักจะสูญเสียไปได้ง่ายระหว่างขบวนการผลิตและระหว่างการเก็บ ปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินคือ โลหะ ดังนั้น การใส่สารคีเลทซึ่งจะเกิดคีเลชันกับโลหะเหล่านี้ทำให้วิตามินเหล่านี้ยังคงอยู่ในอาหารไม่ถูกทำลายไป

สารคีเลทบางประเภทมีความสามารถในการเกิดคีเลชันสูงมาก เช่น EDTA ทำให้มีการคาดคะเนว่า ถ้ามีสารนี้มากเกินไปในอาหารอาจนำไปสู่การกำจัดแคลเซียมและแร่ธาตุอื่น ๆ ในร่างกายจนหมด ด้วยเหตุนี้ จึงมีการควบคุมปริมาณและวิธีการใช้ และโดยการเติมแคลเซียมในผลิตภัณฑ์อาหารในรูปของเกลือ Na_2Ca ของ EDTA แทนที่จะใส่ในรูปของเกลือโซเดียม (Na , Na_2 , Na_3 หรือ Na_4EDTA) หรือรูปของกรด

9.3 สารฟอกสีแป้ง (Flour bleaching) และสารช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมปัง (Bread improvers)

แป้งสาลีที่ผ่านการสีใหม่ ๆ จะมีสีเหลืองอ่อน และเมื่อนำมาทำขนมปัง แป้งที่นวดเสร็จจะเหนียวและเมื่ออบแล้วจะให้ขนมปังที่มีคุณภาพไม่ดี แต่เมื่อเก็บแป้งไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง มันจะค่อย ๆ ขาวขึ้นและเกิดขบวนการ maturing ซึ่งจะช่วยปรับปรุงคุณภาพขนมปังที่อบแล้ว แต่ขบวนการที่เกิดตามธรรมชาติเหล่านี้เป็นขบวนการที่ช้า สิ้นเปลืองเวลาและเปลืองที่เก็บ ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงมักใช้วิธีทางเคมีเพื่อช่วยเร่งขบวนการเหล่านี้และใช้สารเคมีอื่นที่เพิ่มแอกติวิตี (activity) ของยีสต์ที่ทำให้ขนมปังฟู

การฟอกสีแป้งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุแคโรทีนอยด์ ปฏิกิริยา

ดังกล่าวมีผลทำให้เกิดการแตกหักของระบบพันธะคู่ที่คอนจูเกตของแคโรทีนอยด์ไปเป็นระบบที่คอนจูเกตน้อยลง ซึ่งเป็นระบบที่ไม่มีสี ส่วนผลของตัวออกซิไดส์ที่ช่วยปรับคุณภาพของโด (dough) หรือแป้งที่นวดจนเข้ากันดีแล้ว เชื่อกันว่าเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ซัลไฟดริลในโปรตีนกลูเตน (gluten proteins) ทำให้มีพันธะไดซัลไฟด์ ($-S-S-$) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเพิ่มขึ้น ครอสลิงค์ (cross-linking) ที่เกิดทำให้โปรตีนกลูเตนเกิดเป็นโครงข่ายที่บางและเหนียวซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยให้ขนมปังขึ้นฟู ตัวออกซิไดส์ (oxidizing agents) อาจแยกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. สารออกซิไดส์ที่ช่วยฟอกสีเท่านั้น ได้แก่ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ [benzoyl-peroxide. $[(C_6H_5CO)_2O_2]$]

เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์มักใส่ในแป้ง (0.025 - 0.075%) ที่โรงสี (mill) มันมีลักษณะที่เป็นผงและมักใส่พร้อมกับตัวยึด (carrier) และสารที่ทำให้แป้งอยู่ตัว (stabilizing agents) เช่น แคลเซียมซัลเฟต, แมกนีเซียมคาร์บอเนต, ไดแคลเซียมฟอสเฟต, แคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาของเรดิคัลอิสระ (free-radical reaction) และจะต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงหลังจากใส่เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เพื่อให้มันแตกสลายเป็นเรดิคัลอิสระซึ่งเป็นตัวการริเริ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์

2. สารออกซิไดส์ช่วยฟอกสีและปรับคุณภาพของโด ได้แก่ ก๊าซคลอรีน (Cl_2), คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2), ไนโตรซิลคลอไรด์ ($NOCl$), และออกไซด์ของไนโตรเจน เช่น NO_2 และ N_2O_4 ตัวออกซิไดส์เหล่านี้เป็นก๊าซและให้ผลทันทีเมื่อสัมผัสกับแป้ง

ก๊าซที่ใส่เพื่อออกซิไดส์แป้งมีผลในการฟอกสีแป้งแตกต่างกัน แต่มีผลดีต่อการปรับคุณภาพของผงฟู คลอรีนไดออกไซด์ฟอกสีแป้งได้เพียงเล็กน้อยแต่ทำให้ได้มีคุณภาพดี ก๊าซคลอรีนซึ่งมักจะประกอบด้วยไนโตรซิลคลอไรด์ปริมาณเล็กน้อย เป็นสารที่ใช้กันแพร่หลายในการฟอกสีและปรับคุณภาพของแป้งทำขนมเค้ก กรดไฮโดรคลอริกที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคลอรีนมีผลทำให้ค่า pH ต่ำลงซึ่งจะช่วยให้คุณสมบัติการอบ (baking properties) ของขนมเค้กดีขึ้น ไนโตรเจนเตตรอกไซด์ (N_2O_4) และออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งเกิดโดยให้อากาศผ่านประกายไฟฟ้า (electric arc) ก๊าซเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการฟอกสีปานกลาง แต่จะทำให้แป้งมีคุณสมบัติที่ดีในการอบ

3. สารออกซิไดส์ที่ช่วยปรับคุณภาพของโดเพียงอย่างเดียวได้แก่ โพแทสเซียมโบรเมท (KBrO_3), โพแทสเซียมไอโอเดท (KIO_3), แคลเซียมไดโอเดท [$\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$] และแคลเซียมเปอร์ออกไซด์ (CaO_2)

สารออกซิไดส์ที่ใช้ปรับคุณภาพของโดอาจใส่ลงไปในแป้ง (10 - 40 ppm) ที่โรงสีหรือบ่อยครั้งอาจผสมเข้ากับส่วนผสมที่ใช้ปรับสภาพของโด (dough conditioner) ซึ่งประกอบด้วยเกลืออนินทรีย์เป็นจำนวนมากแล้วจึงใส่ลงในแป้งที่โรงงานทำขนมปัง

โพแทสเซียมโบรเมทเป็นสารออกซิไดส์ที่ใช้กันแพร่หลายในการปรับคุณภาพของโด มันจะไม่รบกวนต่อปฏิกิริยาจนกว่าการหมักของยีสต์ (yeast fermentation) จะทำให้ pH ของโดต่ำลงเพียงพอที่จะทำให้มันว่องไวขึ้น ผลก็คือ มันจะเกิดปฏิกิริยาก่อนข้างช้า และช่วยเพิ่มปริมาณของขนมปัง, ปรับความสมมาตรของก้อนขนมปัง และปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมปังให้ดีขึ้น

เกลืออนินทรีย์ที่ใส่ในโด ได้แก่ แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl), แอมโมเนียมซัลเฟต [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$], แคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4), แอมโมเนียมฟอสเฟต [$(\text{NH}_3)_3\text{PO}_4$], และแคลเซียมฟอสเฟต (CaHPO_4) ซึ่งจะช่วยในการเจริญเติบโตของยีสต์และช่วยควบคุม pH ด้วย เกลือแอมโมเนียมเป็นแหล่งของไนโตรเจนซึ่งใช้ในการเจริญเติบโตของยีสต์ เกลือฟอสเฟตช่วยปรับคุณภาพของโดโดยเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ทำให้ pH ต่ำกว่าปกติเล็กน้อยซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากถ้าหากน้ำที่ใช้มีฤทธิ์เป็นด่าง

สารอื่น ๆ ที่ใช้ปรับคุณภาพของโดในโรงงานทำขนมปังคือ แคลเซียม สเตียริล-2-แลกติกเลท [$(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOC}(\text{CH}_2)\text{HCOOC}(\text{CH}_3)\text{HCOO})_2\text{Ca}$] และสารทำให้เกิดอิมัลชัน (emulsifier) อื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกันจะต้องใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย (0.5%) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของโด และเพิ่มปริมาณของขนมปังที่อบแล้ว ไฮโดรคอลลอยด์กัม (Hydrocolloid gums) ที่ใช้ในโรงงานทำขนมปังใช้เพื่อปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำของโด และช่วยปรับปรุงคุณภาพของโดและผลิตภัณฑ์ขนมอบ ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของโดคือ คาร์ราจีแนน (carrageenan), คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose), โลคัสต์บีนกัม (locust bean gum) และเมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) เป็นต้น เมทิลเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทำให้ขนมปังเสียซาลง และยังช่วยทำให้การระเหยของน้ำมาอยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์ขนมอบซาลงในระหว่างที่เก็บ คาร์ราจีแนน (0.1%) ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบนุ่มไม่แห้งและไม่แตกเป็นเศษเล็ก ๆ ไฮโดรคอลลอยด์หลายตัว เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีความ

เข้มข้น 0.25% เป็นต้น สามารถใส่ผสมในการทำโดนัทเพื่อช่วยลดปริมาณน้ำมันที่จะถูกดูดซึมโดยโดนัทระหว่างการทอด

9.4 สารแอนติเค้กกิง (anticaking agents)

สารแอนติเค้กกิงเป็นสารที่ใช้ใส่ในอาหารที่มีลักษณะเป็นเม็ดและเป็นผงและมีคุณสมบัติดูดความชื้นได้ง่ายเพื่อให้อาหารเหล่านี้สามารถกระจายและไหลได้อย่างอิสระไม่จับเป็นก้อน สารแอนติเค้กกิงเป็นสารที่ปราศจากน้ำ (anhydrous substance) ซึ่งจะดูดน้ำไว้โดยตัวมันเองไม่เปียก สารเหล่านี้อาจเป็นเกลือที่ปราศจากน้ำ (anhydrous salts) ซึ่งสามารถจับกับน้ำเกิดเป็นไฮเดรตหรืออาจเป็นสารที่ยึดน้ำไว้ที่ผิว แต่ตัวมันยังคงไหลได้อย่างอิสระ สารประกอบที่มีคุณสมบัติดังกล่าวอาจแยกออกได้เป็นดังนี้

1. เกลือของกรดไขมันโซ่ยาว ได้แก่ กรดไมริสติก [$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$], กรดพาล์มิติก [$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$] และกรดสเตียริก [$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$] ส่วนเกลือของกรดไขมันที่อนุญาตให้ใช้ได้คือ เกลืออะลูมิเนียม, แอมโมเนียม, แคลเซียม, โพแทสเซียมและโซเดียม
2. แคลเซียมฟอสเฟต
3. โพแทสเซียมและโซเดียมเฟอโรไซยาไนด์
4. แมกนีเซียมออกไซด์
5. เกลือของกรดซิลิซิก (silicic acid) ได้แก่ เกลืออะลูมิเนียม, แคลเซียม และเกลือผสมแคลเซียมอะลูมิเนียม (mixed calcium aluminium salt)

เกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมของกรดไขมันโซ่ยาวได้จากไขสัตว์ (tallow) ใช้เป็นสารปรับสภาพ (conditioning agents) สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เช่น ผักแห้ง, เกล็ดแกง, หัวหอม และกระเทียมผง (garlic salt) ตลอดจนส่วนผสมของอาหารอื่น ๆ และผสมกันในลักษณะเป็นผง แคลเซียมสเตียเรท (calcium stearate) ใช้ใส่ในอาหารที่เป็นผงเพื่อป้องกันการจับเป็นก้อน และช่วยให้เทออกได้ง่ายระหว่างประกอบอาหาร และระหว่างที่เก็บอาหารเหล่านี้ไว้ ก็ช่วยป้องกันมิให้อาหารเหล่านี้จับเป็นก้อน แคลเซียมสเตียเรทไม่ละลายน้ำแต่เกาะติดกับอนุภาคของสารได้ และเป็นเกราะหุ้มอนุภาคของสารมิให้น้ำมาจับที่ผิว ผงสเตียเรทที่มีจำหน่ายอยู่มีความหนาแน่นสูงมาก (ประมาณ 20 ปอนด์ต่อตารางฟุต) และมีพื้นที่ผิวมากซึ่งช่วยให้มันเป็นสารปรับสภาพ (0.5-2.5%) ที่ดี เช่น แคลเซียมสเตียเรท (1%) ใช้เคลือบผิวของขนมหวานที่อัดเป็นเม็ดได้

สารแอนติเค้กกิงอื่น ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ โซเดียมซิลิโคอะลูมิเนท (sodium

silicoaluminate), ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (tri-calcium phosphate), แมกนีเซียมซิลิเคท (magnesium silicate) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต สารเหล่านี้จำเป็นต้องเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณที่ใช้ก็คล้ายคลึงกับสารแอนติค็อกกิ้งอื่น ๆ เช่น โซเดียมซิลิโคอะลูมิเนท 1% ใช้ใสในน้ำตาลที่เป็นผง, แคลเซียมซิลิเคทใช้ป้องกันการจับเป็นก้อนของแป้งทำขนมอบ (ใช้ได้ถึง 5%), เกลือ (ใช้ได้ถึง 2%) และอาหารอื่น ๆ ผงแคลเซียมซิลิเคทดูดซึมน้ำในปริมาณมากถึง $2\frac{1}{2}$ เท่าของน้ำหนักของมันแต่มันก็ยังสามารถไหลได้อย่างอิสระ แคลเซียมซิลิเคทนอกจากจะดูดน้ำแล้วยังดูดน้ำมันและสารอินทรีย์ที่ไม่โพลาร์อื่น ๆ ได้อีก ดังนั้นมันจึงใช้ใสในเครื่องเทศต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันระเหยอิสระ (free essential oils) ได้ ปริมาณของสารแอนติค็อกกิ้งที่ใสในอาหารในระดับนี้ไม่เป็นพิษเป็นภัย และบางชนิดอาจถูกเมตาโบไลส์ได้ (เช่น พวกลูทีน)

9.5 สารที่ช่วยให้เนื้อแน่นและกรอบ (Firming and Crisping agents)

ความร้อนและการแช่แข็งมักจะทำให้ผักอ่อนนุ่มหรือเละเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ การที่เนื้อเยื่อจะยังคงดีสมบูรณ์ขึ้นกับการรักษาเซลล์ไว้และมีพันธะที่มั่นคงระหว่างองค์ประกอบของผนังเซลล์ สารเพกติก (pectic substances) มีส่วนช่วยให้โครงสร้างของผักอยู่ตัวโดยการเกิดครอสลิงค์ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิกที่อิสระของไขมันกับโพลีเวเลนต์-แคทไอออน (polyvalent cations) แม้ว่าโพลีเวเลนต์แคทไอออนจะมีอยู่ในธรรมชาติในผักและผลไม้ แต่นิยมแช่ผักและผลไม้ในสารละลายเกลือแคลเซียม (0.1 - 0.25%) เพื่อให้ผักและผลไม้มีเนื้อแน่นและกรอบเพราะวิธีนี้จะช่วยเพิ่มครอสลิงค์ และการเกิดแคลเซียมเพกติน (calcium pectinate) และแคลเซียมเพกเตต (calcium pectate) ที่ไม่ละลายน้ำ สารเหล่านี้ทำให้โครงสร้างของเซลล์มั่นคง และช่วยค้ำจุนเนื้อเยื่อทำให้อยู่ตัวแม้จะผ่านขบวนการความร้อน ผลไม้ เช่น มะเขือเทศ เบอร์รี่ และแอปเปิ้ลตัดเป็นแว่น ๆ ก่อนจะบรรจุกระป๋องหรือแช่แข็ง จะแช่ในเกลือแคลเซียมก่อน เกลือที่ใช้มากที่สุดคือ แคลเซียมคลอไรด์, แคลเซียมซิเตรต, แคลเซียมซัลเฟต, แคลเซียมแลกเตตและโมโนแคลเซียมฟอสเฟต เกลือแคลเซียมส่วนใหญ่ละลายน้ำได้น้อยและบางชนิดยังมีรสขมด้วย

เกลือของสารส้มซึ่งเป็นกรด (acidic alum salts) เช่น โซเดียมอะลูมิเนียมซัลเฟต $[\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$, โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต, แอมโมเนียมอะลูมิเนียมซัลเฟต, และอะลูมิเนียมซัลเฟต $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}]$ ใช้ใสในแตงกวาดองเพื่อให้มันกรอบและเนื้อแน่น ไตรเวเลนต์อะลูมิเนียมไอออนช่วยให้ผลไม้และผักกรอบโดยการเกิดสารเชิงซ้อนกับสารเพกติก อย่างไรก็ตามสิ่งที่ค้นพบเมื่อไม่นานนี้คือ อะลูมิเนียมซัลเฟตทำให้ของดอง (pickles) ที่บรรจุใหม่และพาสเจอร์ไรส์แล้วมี

เนื้อนุ่มขึ้น จึงไม่ควรใส่สารนี้ในของหมักดอง การที่อะลูมิเนียมซัลเฟตทำให้อาหารมีเนื้อนุ่มขึ้น ยังไม่ทราบเหตุผลที่แน่นอน แต่การมีอะลูมิเนียมซัลเฟตอยู่ แทนที่จะทำให้อาหารมีเนื้อแน่นกลับทำให้อาหารมีเนื้อนุ่มขึ้น เว้นเสียแต่ว่าจะมีการปรับ pH ให้ใกล้ 3.8 โดยใช้กรดน้ำส้มและกรดแลกติก การรักษาความแน่นเนื้อและเนื้อสัมผัสที่ดีของผักและผลไม้สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้วัตถุเจือปนโดยตรง เช่น เอ็นไซม์เพ็กตินเมธีลเอสเทอเรส (pectin methylesterase) จะคงมีฤทธิ์อยู่โดยการลวกผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ (70 - 82°C เป็นเวลา 3 - 15 นาที) แทนที่จะลวกที่อุณหภูมิปกติ (88 - 100°C เป็นเวลา 3 นาที) ซึ่งจะทำลายเอ็นไซม์ได้ เอ็นไซม์เพ็กตินเมธีลเอสเทอเรสไฮโดรไลส์หมู่เมทอกซี (methoxyl group) จากหมู่คาร์บอกซิลของเพ็กตินเกิดเป็นกรดเพ็กติกและกรดเพ็กติก เพ็กตินมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระอยู่น้อย ทำให้มันละลายน้ำได้มากและอิสระที่จะเคลื่อนออกจากผนังเซลล์ ในทางตรงข้าม กรดเพ็กติกและกรดเพ็กติกมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระอยู่มากและมันละลายน้ำได้น้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีแคลเซียมไอออนอยู่ ผลก็คือมันจะยังคงอยู่ในผนังเซลล์ระหว่างที่ต้มผักและผลไม้ ทำให้เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้แน่นและกรอบกว่า เราสามารถทำให้ผักและผลไม้มีเนื้อแน่นขึ้นโดยการแอกติเวท (activation) เอ็นไซม์เพ็กติน เมธีลเอสเทอเรส เอ็นไซม์เพ็กติน เมธีลเอสเทอเรสพบในถั่วปากอ้า, มันฝรั่ง, ดอกกะหล่ำและเชอร์รี่เปรี้ยว (sour cherries) การเติมแคลเซียมไอออนพร้อมกับการแอกติเวท-เอ็นไซม์ จะทำให้ผักและผลไม้มีเนื้อแน่นยิ่งขึ้น

9.6 สารที่ทำให้ใส (Clarifying agents)

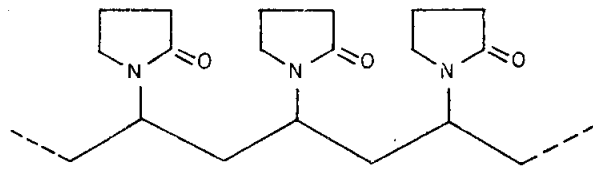
ในเบียร์ ไวน์และน้ำผลไม้จำนวนมากจะมีลักษณะขุ่นและเสียเนื่องจากถูกออกซิไดส์เมื่อตั้งทิ้งไว้ สารฟีนอลที่เป็นตัวการที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เหล่านี้ ได้แก่ แอนโทไซยานิน, แพลโวนอยด์, ลิวโคแอนโทไซยาโนเจนและแทนนิน โปรตีนและสารเพ็กติกมีส่วนร่วมกับการเกิดฟีนอล (polyphenols) ในการทำให้เกิดสารพวกคอลลอยด์ที่ทำให้ขุ่น การใช้เอ็นไซม์เฉพาะบางตัวเพื่อไฮโดรไลส์โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและสารเพ็กติกบางส่วน จะลดแนวโน้มที่จะเกิดความขุ่น แต่ในบางกรณี เอ็นไซม์ที่มีมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียแก่คุณสมบัติอื่น เช่น การเกิดฟองของเบียร์

เบนโทไนท์ (Bentonite) ซึ่งเป็นดินเหนียวมอนต์โมริลโลไนท์ (montmorillonite clay) ใช้เป็นสารที่ทำให้ใสได้ มอนต์โมริลโลไนท์เป็นอะลูมิเนียมซิลิเคทไฮเดรตที่ซับซ้อน (complex hydrated aluminium silicate) ประกอบด้วยแคทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งมักจะเป็นโซเดียม-

ไอออน เบนโทไนท์ที่แขวนลอยในสารละลายเอเควีเอสเป็นซิลิเกต (silicate) ที่มีลักษณะเป็นแผ่นเล็ก ๆ (small platelets) และไม่ละลายน้ำ แผ่นเล็ก ๆ ของเบนโทไนท์ที่มีประจุลบและมีพื้นที่ผิวมาก ประมาณ 750 ตารางเมตรต่อกรัม เบนโทไนท์เป็นตัวดูดซับที่มักจะเลือกดูดซับแต่โปรตีน และการดูดซับเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างประจุบวกของโปรตีนและประจุลบของซิลิเกต อุณหภูมิของเบนโทไนท์ที่ปกคลุมด้วย โปรตีนที่ถูกดูดซับจะดูดซับสารพวกแทนนินอยู่บนโปรตีนหรือพร้อมกับโปรตีน เบนโทไนท์ใช้สำหรับทำให้ไวน์ใสโดยป้องกันการตกตะกอนของโปรตีน ปริมาณที่ใช้เพียงไม่กี่ปอนด์ต่อ 1,000 แกลลอน ปกติจะลดปริมาณโปรตีนของไวน์จาก 50 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตรไปเป็นปริมาณคงที่คือน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เบนโทไนท์จะทำให้ตกตะกอนที่เนื้อแน่นและมักจะใส่ตอนกรองครั้งสุดท้ายเพื่อกำจัดพวกคอลลอยด์ที่ตกตะกอน

สารที่ทำให้ใสซึ่งเลือกจับเฉพาะแทนนิน ลิวโคแอนโทไซยาโนเจน (leucoanthocyanogens) และสารโพลีฟีนอล (polyphenols) อื่น ๆ ได้แก่ โปรตีนและเรซินสังเคราะห์ (synthetic resin) บางชนิด เช่น โพลีเอไมด์ (polyamides) และโพลีไวนิลไพร์โรลิโดน (polyvinylpyrrolidone หรือ PVP) เจลาติน และไอซิงกลาส (isinglass) (เป็นวัสดุที่ได้จากกระเพาะปลา) เป็นโปรตีนที่ใช้มากที่สุดในการทำให้เครื่องดื่ม (beverages) ใส พันธะระหว่างแทนนินและโปรตีนเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของฟีนอลและพันธะเอไมด์ (amide bonds) ในโปรตีน การเติมเจลาตินเพียงเล็กน้อย (1.5 - 6.0 ออนซ์ต่อ 100 แกลลอน) ไปที่น้ำแอปเปิ้ล (apple juice) จะทำให้เกิดสารเชิงซ้อนเจลาติน-แทนนิน ซึ่งรวมตัวกันแล้วตกตะกอน ซึ่งจะจับพวกของแข็งที่แขวนลอยตกตะกอนลงมาด้วย น้ำผลไม้ที่ประกอบด้วยโพลีฟีนอลปริมาณน้อยจะมีการเติมแทนนินหรือกรดแทนนิก (0.005 - 0.01%) เพื่อช่วยให้เกิดฟล็อกคิวเลชัน (flocculation) หรือการตกตะกอนของเจลาติน

เรซินสังเคราะห์ (โพลีเอไมด์และ PVP) ช่วยทำให้ไวน์อยู่ตัว โดยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของไวน์ขาว และป้องกันมิให้เบียร์ขุ่น โพลีเมอร์เหล่านี้มีทั้งรูปที่ละลายได้และละลายไม่ได้ แต่เนื่องจากต้องการมิให้มีโพลีเมอร์เหลืออยู่ในเครื่องดื่ม หรือให้เหลือน้อยจึงมักนิยมใช้โพลีเมอร์รูปที่เกิดครอสลิงค์ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular weight crosslinked forms) และไม่ละลาย เรซินสังเคราะห์มีประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงงานทำเบียร์ ปัญหาในการผลิตเบียร์คือ ความขุ่นซึ่งเกิดจากการแช่เย็น (chill haze) และความขุ่นที่เกิดอย่างถาวรซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นออกซิไดส์ (oxidized flavors) ด้วย ปัญหานี้เกิดจากสารเชิงซ้อนระหว่างโปรตีน และ ลิวโคแอนโทไซยาโนเจนจากข้าวบาร์เลย์ (malted barley) การกำจัดโปรตีนออกมากเกินไปจะ



polyvinylpyrrolidone (PVP)

ทำให้เกิดฟองซึ่งเป็นผลเสีย แต่การเลือกกำจัดพวกสารโพลีฟีนอลออกไป จะช่วยให้เบียร์คงตัว มีการใช้โพลีเอมีด (ในลอน 66) ในระยะแรก ๆ แต่ตัวที่ให้ประสิทธิผลดีกว่าคือ โพลีไวนิลไพร์โรลิโดนที่เกิดครอสลิงค์ (crosslinked polyvinylpyrrolidone) โดยการใช้ PVP ที่ไม่ละลาย 3 - 5 ปอนด์ต่อ 100 บาร์เรล (barrels) ของเบียร์จะช่วยควบคุมความขุ่นได้และทำให้เบียร์คงทนต่อการเก็บ PVP จะใส่หลังจากหมักและก่อนหน้าที่จะกรอง มันจะดูดซับสารโพลีฟีนอลอย่างรวดเร็ว สารที่ดูดซับแทนินจะช่วยกำจัดโปรตีนบางส่วนพร้อมกับสารฟีนอลด้วย

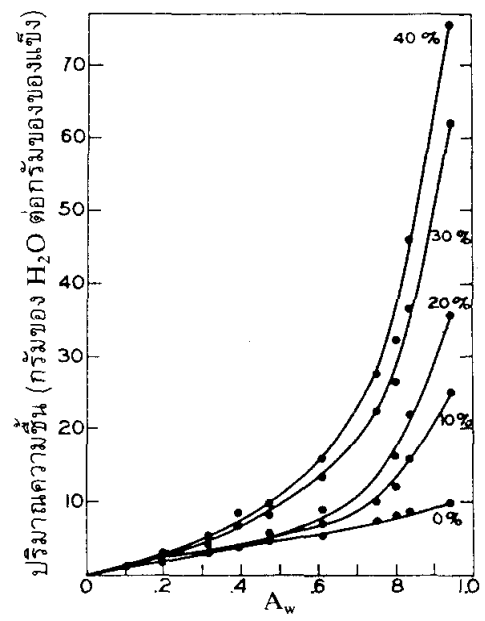
นอกจากนี้พวกถ่าน (activated charcoal) สามารถใช้ดูดซับโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น พวกสารที่ให้กลิ่นรสและรงควัตถุพร้อม ๆ กับสารประกอบขนาดใหญ่ที่ทำให้ขุ่น

9.7 โพลีไฮดริคแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohols)

โพลีไฮดริคแอลกอฮอล์เป็นสารพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันนัล (functional group) เป็นหมู่ไฮดรอกซิล สารพวกนี้จะละลายน้ำได้ดี และดูดความชื้นได้ง่าย ถ้าสารเหล่านี้ละลายน้ำจนมีความเข้มข้นสูง จะมีความหนืดปานกลาง สารโพลีไฮดริคใช้เป็นสารที่ให้ความชื้นแก่อาหาร เรียกว่า ฮิวเมกแตนต์ (humectants) โครงสร้างของโพลีไฮดริคแอลกอฮอล์ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่ ทำให้มันสามารถจับกับน้ำได้ดี และคุณสมบัตินี้เองที่ทำให้มันใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ควบคุมความหนืดและเนื้อสัมผัสของอาหาร ช่วยรักษาความชื้นของอาหาร ทำให้อาหารไม่แห้งและมีเนื้อนุ่มขึ้น แม้ว่าจะมีสารโพลีไฮดริคแอลกอฮอล์อยู่มาก แต่มีเพียงบางชนิดที่มีความสำคัญในทางอาหาร ซึ่งได้แก่ โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol, $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_3$), กลีเซอรอล ($\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$), ซอร์บิทอล (sorbitol) และแมนนิทอล (mannitol) [สาร 2 ตัวนี้เป็นเอพิเมอร์ (epimers) ของ $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CHOH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$] โพลีไฮดริคแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่เกิดในธรรมชาติ ยกเว้นโพรพิลีนไกลคอลและไซลิตอล (xylitol)

อาหารที่มีความชื้นปานกลาง (intermediate moisture หรือ IM foods) เช่น ขนมปัง, แยม, เยลลี่, เค้ก เป็นต้น มีความชื้นประมาณ 15-30% อาหารเหล่านี้เก็บไว้ได้นานพอควร โดยไม่ต้องแช่เย็น แอคติวิตีของน้ำสำหรับอาหารที่มีความชื้นปานกลางคือ 0.7-0.85 อาหารที่มีแอคติวิตีของน้ำเท่ากับ 0.85 นี้ พวกราและยีสต์ยังคงเจริญเติบโตได้และทำให้อาหารเสียได้ การผลิตอาหารเหล่านี้ต้องใช้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อและต้องใส่สารกันบูดด้วย วิธีผลิตอาหารประเภทนี้โดยไม่จำเป็นต้องใส่สารเคมี เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ก็คือ การใส่สารพวกฮิวเมคแทนท์เพื่อลดแอคติวิตีของน้ำ โดยที่ไม่ต้องลดปริมาณของน้ำในอาหาร รูปที่ 9.1 แสดงประสิทธิภาพของการใช้โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ คือ กลีเซอรอลในระบบโมเดลของเซลลูโลส (cellulose model system) จากรูปจะเห็นได้ว่า ถ้าใช้กลีเซอรอล 10% แอคติวิตีของน้ำเท่ากับ 0.9 จะมีปริมาณน้ำในอาหารเท่ากับ 25 กรัมต่อ 100 กรัมของของแข็งเท่านั้น แต่ถ้าใช้กลีเซอรอล 40% แอคติวิตีของน้ำเท่ากับ 0.9 เช่นกัน จะมีปริมาณน้ำในอาหารมากถึง 75 กรัมต่อ 100 กรัมของแข็ง แต่ปริมาณของกลีเซอรอลที่ใช้ต้องคำนึงถึงผลของมันที่มีต่อรสชาติของอาหารด้วย

โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่จะให้รสหวาน แต่หวานน้อยกว่าซูโครส โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์โซ่สั้น ๆ มีรสขมเล็กน้อย เช่น โพรพิลีนไกลคอล ถ้าใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อย (2-10%) จะไม่มีปัญหาในเรื่องรสชาติของอาหาร แต่ถ้าใช้ในปริมาณมาก จะมีผลต่อรสชาติของอาหาร



รูปที่ 9.1 Moisture sorption isotherm ของระบบโมเดลของเซลลูโลส สำหรับปริมาณของกลีเซอรอลต่าง ๆ กันที่ 37 องศาเซลเซียส

โพสไฟไตรกลีเซอไรด์แอลกอฮอล์ที่ใช้มากที่สุดคือ กลีเซอรอลซึ่งได้จากขบวนการซาฟอนิฟิเคชันของไขมัน (saponification of fat) และยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหมักผลไม้เพื่อทำไวน์ (wine) และจากการทำเบียร์

ซอร์บิทอลซึ่งเกิดในธรรมชาติในผลไม้หลายชนิด เช่น สาลี่ (pears), แอปเปิ้ล, ลูกพรุน (prunes), เชอร์รี่และพีช (peach) ซอร์บิทอลนอกจากจะมีคุณสมบัติเป็นอิมัลชันแล้ว ยังมีรสหวานด้วย ใช้ใส่น้ำเชื่อมแก้ไอ (cough syrup), น้ำยาล้างปากและยาสีฟัน ซอร์บิทอลไม่ถูกหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ จึงไม่ทำให้ฟันผุ ซอร์บิทอลยังใช้ใสในขนมหวานที่ปราศจากน้ำตาล (sugar-free candies) (ซอร์บิทอล 40%) อาหารที่ใส่ซอร์บิทอลเหมาะสำหรับคนเป็นโรคเบาหวาน เพราะซอร์บิทอลส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นฟรุคโตส โดยเอ็นไซม์จากตับในร่างกาย และฟรุคโตสไม่ขึ้นกับอินซูลิน (insulin) สำหรับเมตาโบลิซึมของมัน

แมนนิทอลเป็นสารที่เกิดในธรรมชาติในพืชหลายชนิด ในสาหร่ายและรา ใช้ใสในหมากฝรั่ง (chewing gum) พวดยาและอาหารบางชนิด

ไซลิทอลเกิดในธรรมชาติในผลไม้และผักหลายชนิด มันเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในคนและสัตว์ ไซลิทอลให้รสหวานและยังให้รสเย็นด้วย มันไม่ถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์เป็นสารที่มีความคงตัว ใช้ใสในหมากฝรั่งและไม่ทำให้ฟันผุ

9.8 เอ็นไซม์

เอ็นไซม์มีอยู่ในอาหารและอาจให้ผลดีหรือผลเสียต่ออาหารก็ได้ เอ็นไซม์ที่ไม่ต้องการในอาหารจะต้องทำลายให้หมดฤทธิ์ ส่วนเอ็นไซม์ที่มีประโยชน์ต่ออาหารจะใช้เติมในอาหารเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ เช่น เอ็นไซม์ปาเปน (papain) จากมะละกอ จะใช้ใสในสเต็ก (steak) เพื่อให้เนื้อนุ่ม เอ็นไซม์หลายชนิดมีประโยชน์ต่อขบวนการผลิตอาหาร และเป็นเอ็นไซม์ที่เกิดจากพวกจุลินทรีย์ ดังนั้น จึงอาจใส่จุลินทรีย์ลงในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อให้ผลิตเอ็นไซม์ที่ต้องการในอาหารนั้น เช่น ยีสต์มักจะถูกใช้ในขบวนการผลิตขนมปัง เบียร์หรือเนยแข็ง

การใช้เอ็นไซม์เป็นวัตถุเจือปนไม่มีปัญหาแต่อย่างใด เพราะเอ็นไซม์เป็นสารที่เกิดในธรรมชาติ ไม่เป็นพิษ และเมื่อการใช้ประโยชน์จากเอ็นไซม์เสร็จสมบูรณ์แล้ว สามารถทำลายได้ เอ็นไซม์ที่ใช้ประโยชน์ได้ในทางอาหาร คือ

1. อะมิเลส (Amylase) เป็นเอ็นไซม์ที่ใช้ร่วมกับกรด เพื่อไฮโดรไลสแบ่งในการผลิตน้ำเชื่อม น้ำตาลและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

2. อินเวอร์เทส (Invertase) เป็นเอนไซม์ที่ทำให้น้ำตาลซูโครสแตกตัวเป็นกลูโคส และเลวูโลส (levulose) เอนไซม์อินเวอร์เทสใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ป้องกันการตกผลึกของซูโครส ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับการผลิตสุรา (liquors) ถ้าปราศจากอินเวอร์เทส สุราจะมีลักษณะขุ่น

3. เพกตินเนส (Pectinase) เป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกสลายของเพกติน ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชโดยเฉพาะผลไม้ เพกตินช่วยทำให้อนุภาคที่แพร่กระจายสามารถแขวนลอยอยู่ได้ตั้งเช่น ในน้ำมะเขือเทศ เพื่อให้สารสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำมะเขือเทศ ไม่ตกตะกอนลงมา เพกตินเนสในมะเขือเทศจึงต้องถูกทำลายโดยความร้อนก่อน ในทางตรงข้ามการผลิตน้ำแอปเปิ้ลต้องการสารละลายที่ใส จึงมีการใส่เพกตินเนสเพื่อย่อยสลายเพกติน ทำให้สุรต่าง ๆ ที่แขวนลอยอยู่ตกตะกอนลงมา ซึ่งเมื่อแยกออกแล้วจะได้น้ำแอปเปิ้ลที่ใส การผลิตยีสี่ที่ใสจากผลไม้ ก่อนอื่นจะต้องใส่เอนไซม์เพกตินเนสเพื่อทำลายเพกตินในผลไม้ได้น้ำผลไม้ที่ใสเสียก่อน เมื่อได้น้ำผลไม้ที่ใสแล้ว จึงใส่เพกตินเนสไปเพื่อทำให้น้ำผลไม้ขุ่นขึ้นเป็นยีสี่ เอนไซม์เพกตินเนสที่ใสในตอนแรก จะต้องทำลายฤทธิ์เสียก่อน มิฉะนั้นเอนไซม์นี้อาจจะย่อยสลายเพกตินที่ใส่เข้าไปในตอนหลัง เพื่อทำให้น้ำผลไม้ขุ่น

เซลลูเลส (Cellulase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุด ในธรรมชาติ เซลลูโลสจะไม่ถูกย่อยในร่างกายคนและสัตว์หลายชนิด สัตว์เคี้ยวเอื้องมีเซลลูโลสในกระเพาะซึ่งสามารถย่อยเซลลูโลสได้ เซลลูเลสใช้ทำให้ฝักและพืชที่มีเส้นใยมากมีเนื้อนุ่มขึ้น ใช้มากในการผลิตอาหารสัตว์

โปรตีเอส (Protease) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีน โพลีเปปไทด์และเปปไทด์ มีเอนไซม์โปรตีเอสอยู่มากมายหลายชนิดที่จะทำให้โมเลกุลของโปรตีนแตกออกที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ซึ่งทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ กัน โปรตีเอสใช้ในการทำชีอิ้วจากการหมักถั่วเหลือง ใช้ทำเนยแข็งจากนมและโด (dough) ของขนมปังจากแป้ง นอกจากนี้ยังใช้ในเบียร์เพื่อให้เบียร์ใส โดยการไฮโดรไลส์โปรตีนในเบียร์แล้วแยกออกไป และยังใช้ทำให้เนื้อสัตว์นุ่ม

กลูโคสออกซิเดส (glucose oxidase) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลูโคสไปเป็นกรดกลูโคนิก ปฏิกิริยานี้สำคัญต่อการป้องกันเกิดสีน้ำตาลในอาหาร เอนไซม์นี้ใช้ในผลิตภัณฑ์ไข่โดยเฉพาะไข่ขาวก่อนหน้าที่จะทำไข่ผง เอนไซม์นี้ใช้เพื่อกำจัดกลูโคสออกซิเดสจากไข่ เพื่อมิให้ไข่ผงเกิดสีน้ำตาลในช่วงที่เก็บไว้ ในบางกรณีเอนไซม์นี้อาจใส่เพื่อกำจัดออกซิเจนที่มีอยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพของอาหารเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา

ออกซิเดชัน ตัวอย่างอาหารที่ใช้เอ็นไซม์นี้เพื่อกำจัดออกซิเจน คือ เครื่องดื่มที่บรรจุขวดและกระป๋อง เช่น เบียร์, น้ำมะนาว, น้ำส้ม และมายองเนส (Mayonnaise)

แคทาเลส (Catalase) เป็นเอ็นไซม์ที่ย่อยสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ต้องการ โดยการเปลี่ยนเป็นน้ำและออกซิเจน แคทาเลสใช้เอนไซม์เพื่อทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ที่ไม่ต้องการ เช่น การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สำหรับฟอกสีแล้ว จะต้องกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกจากระบบ และการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อถนอมนมที่ไม่ได้ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ หรือการเก็บนมในแหล่งที่ไม่มีตู้แช่ และในการผลิตเนยแข็งจากนมที่มีได้ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ สามารถใช้แคทาเลสกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ต้องการออก

9.9 แอนติออกซิแดนท์ (Antioxidants)

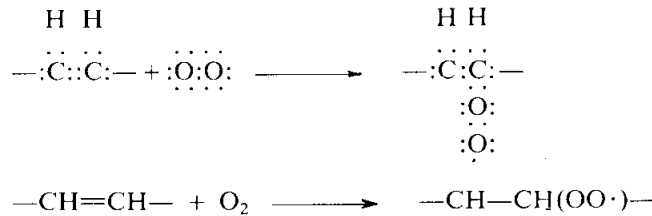
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction reactions) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั่วไปในระบบทางชีววิทยาและในอาหาร ปฏิกิริยาออกซิเดชันบางประเภทก็มีประโยชน์ต่ออาหาร บางประเภทก็ทำให้เกิดความเสียหาย เช่น ออกซิเดชันที่ทำให้เกิดการแตกสลายของวิตามิน รังควาญต่าง ๆ และลิวติงซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่ดี การควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชันอาจใช้ขบวนการควบคุม หรือใช้เทคนิคในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งกำจัดออกซิเจนออกจากระบบ หรือโดยการเติมสารเคมีที่ช่วยกำจัดสารที่ทำให้เกิดออกซิเดชัน

แอนติออกซิแดนท์ คือ สารที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยไม่คำนึงถึงว่าจะเกิดกลไกแบบใด ตัวอย่างเช่น กรดแอสคอร์บิกก็เป็นแอนติออกซิเดชันซึ่งใช้ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลบนผิวของผลไม้และผัก (บทที่ 5) ในกรณีนี้ กรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) โดยการย้ายไฮโดรเจนอะตอมกลับไปยังควิโนน (quinones) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ในระบบอื่น กรดแอสคอร์บิกยังทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และยังเป็นตัวกำจัดออกซิเจนด้วย ในทำนองเดียวกัน กรดซัลฟูรัสและซัลไฟต์จะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายในระบบอาหาร ไปเป็นซัลโฟเนตและซัลเฟต และทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ที่มีประสิทธิภาพดีในอาหารประเภทผลไม้แห้ง

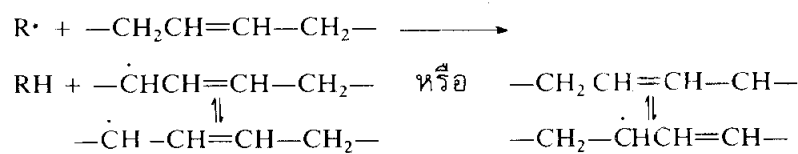
เมื่อเก็บไขมันและน้ำมันไว้นาน ๆ จะเกิดกลิ่นเหม็นหืน (rancidity) เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้น,

ปริมาณของอากาศที่สัมผัสกับไขมันหรือน้ำมัน, แสงอัลตราไวโอเล็ต, โลหะ เช่น เหล็กหรือทองแดงและชนิดของไขมันและน้ำมัน

กลไกปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้มี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นริเริ่ม (initiation) และขั้นโพรพาเกชัน (propagation) ขั้นริเริ่มนี้เป็นขั้นที่เกิดเรดิคัลอิสระ (free radical) ซึ่งไม่เสถียรและว่องไวต่อปฏิกิริยา ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

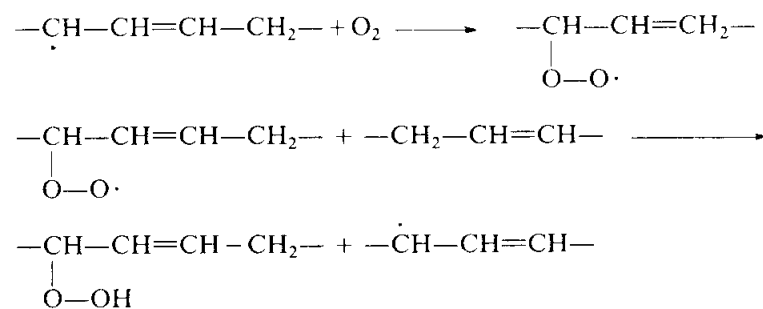


เรดิคัลอิสระอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่ติดกับพันธะคู่ เพื่อเกิดเรดิคัลอิสระอีก



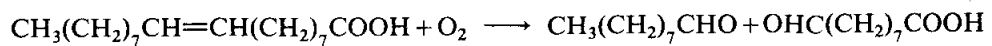
เนื่องจากเรดิคัลอิสระซึ่งเกิดมี 2 รูป แต่ละรูปมีเรโซแนนซ์ไฮบริด (resonance hybrid) ได้ 2 รูป จึงมีอยู่ 4 ตำแหน่งบนเรดิคัลอิสระ ที่โมเลกุลของออกซิเจนสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้

ถ้าไม่มีแอนติออกซิแดนท์ ขั้นโพรพาเกชันจะดำเนินต่อไปเป็น 2 ขั้นตอน ซึ่งจะเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และเกิดเรดิคัลอิสระขั้นใหม่ ดังตัวอย่างสมการต่อไปนี้ :



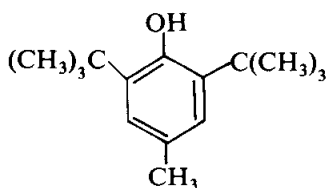
ปฏิกิริยาเช่นเดียวกันนี้ จะเกิดกับเรดิคัลอิสระรูปอื่น ๆ เรดิคัลที่เกิดใหม่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอีก และเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์และเรดิคัลอิสระขั้นใหม่ เป็นเช่นนี้เรื่อยไป ปฏิกิริยาที่เกิดจึงเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งจะยุติได้ก็ต่อเมื่อเรดิคัลอิสระมาทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันโดยบังเอิญเท่านั้น และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นไม่เสถียร จะแตกสลายไป

เป็นสารประกอบคาร์บอนิล เช่น อัลดีไฮด์หรือคีโตน ตัวอย่างการแตกสลายของกรดโอเลอิก (oleic acid) เป็นดังนี้

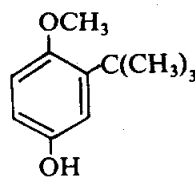


สารประกอบคาร์บอนิลเหล่านี้ เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี วิธีป้องกันการเกิดกลิ่นหืนทำได้โดยการเก็บน้ำมันและไขมันในภาชนะที่บดแสง หรือในขวดสีชาซึ่งปิดสนิท และเก็บไว้ในที่เย็นและแห้ง ถ้าหากใส่แอนติออกซิแดนท์ด้วย จะช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ดี อย่างไรก็ตาม ถ้าเก็บน้ำมันและไขมันในขวดใสธรรมดา และเก็บที่อุณหภูมิห้องโดยไม่มี การควบคุมความชื้น แม้จะใส่แอนติออกซิแดนท์ในน้ำมันและไขมัน ก็ไม่อาจป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นหืน แต่จะกลับทำให้หืนเร็วขึ้น

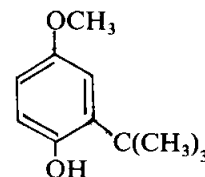
แอนติออกซิแดนท์ที่เป็นสารธรรมชาติ ได้แก่ tocopherols, coniferyl alcohol (พบในพืช), กรดแอสคอร์บิก, กรดซิตริก, guaiacnic acid และ guaiacic acid (จาก gum guaiac) เป็นต้น ส่วนแอนติออกซิแดนท์สังเคราะห์ ได้แก่ butylated hydroxyanisole (BHA,) butylated hydroxytoluene (BHT), propyl gallate, octyl gallate, dodecyl gallate และ di-t-butyl-hydroquinone (TBHQ) เป็นต้น Nordihydroguaiaretic acid (NDGA) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างคล้ายกับองค์ประกอบบางตัวของ gum guaiac เป็นแอนติออกซิแดนท์ที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ยังมีข้อสงสัยเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้สารนี้โดยตรงในอาหาร สารฟีนอลเหล่านี้ใช้เป็นตัวยุติปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยจะช่วยกำจัดเรดิคัลอิสระที่เกิดขึ้น ด้วยการเข้าร่วมในปฏิกิริยา โดยมีการเกิดเรดิคัลอิสระที่เสถียรโดยเรโซแนนซ์ (resonance-stabilized free-radical forms)

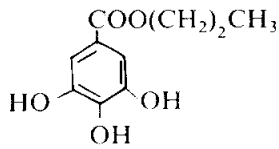


Butylated hydroxytoluene (BHT)
(2, 6-di-t-butyl-4-methylphenol)

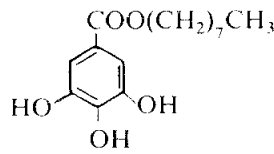


Butylated hydroxyanisole (BHA)
(สารผสมของ 2- และ 3-t-butyl-4-hydroxyanisole)

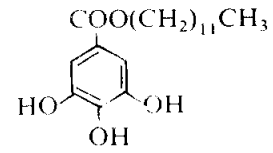




Propyl gallate



Octyl gallate



Dodecyl gallate

9.10 กรด เบส และบัฟเฟอร์ (Acids, Bases and Buffers)

กรด เบส และบัฟเฟอร์ในหัวข้อนี้ อาจจัดเป็นวัตถุเจือปนชนิดที่ใช้สำหรับควบคุม pH (pH controllers) ในอาหาร

กรดทั้งกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์มีอยู่ในระบบธรรมชาติ และมีหน้าที่สำคัญหลายอย่าง ตั้งแต่เป็นเมตาโบไลต์ตลอดจนเป็นองค์ประกอบของระบบบัฟเฟอร์ในธรรมชาติ กรดอินทรีย์หลายชนิดเกิดโดยธรรมชาติในอาหาร เช่น กรดซิตริกในส้มและมะนาว กรดมัลลิกในแอปเปิ้ลและมะเขือเทศ กรดออกซาลิกในกะหล่ำปลีและผักโขม และกรดทาร์ทาริกในองุ่น ถือว่าเป็นระบบบัฟเฟอร์ธรรมชาติ ซึ่งมักทำงานควบกับเกลือฟอสเฟตในการควบคุม pH ในผักและผลไม้เหล่านี้ ในเนื้อเยื่อของสัตว์มีกรดแลกติกและเกลือฟอสเฟต ตลอดจนโปรตีนซึ่งสำคัญสำหรับควบคุม pH ของเนื้อ

กรดและเกลือของกรดใช้ใส่ในอาหารและขบวนการผลิต เพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ ดังนี้

1. ช่วยควบคุม pH ในอาหาร เมื่อใส่กรดในอาหารจะมีผลทำให้ pH ของอาหารลดลง กรดและเกลือของกรดใช้เป็นระบบบัฟเฟอร์ เพื่อควบคุม pH ของอาหารได้
2. กรดบางชนิดใช้ถนอมอาหารโดยสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เช่น กรดซอร์บิก (sorbic acid) และกรดเบนโซอิก (benzoic acid)
3. กรดอินทรีย์หลายชนิดเป็นสารคีเลต (chelating agents) ที่ดี โดยสามารถใช้กำจัดออกซิเจนและโลหะไอออน ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร กรดเหล่านี้ได้แก่ กรดซิตริก, กรดทาร์ทาริก, กรดออกซาลิกและกรดซัคซินิก
4. ในการทำแยมและเยลลี่ กรดช่วยปรับ pH ให้อยู่ในช่วงที่พอเหมาะ ซึ่งจะช่วยให้เกิดเจล (gel) ได้ดีขึ้น
5. ในขบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นมหลายชนิด ต้องใช้กรดเพื่อตกตะกอนโปรตีนในนม เช่น ขบวนการผลิตครีมเปรี้ยวและเนยแข็ง ในขบวนการผลิตครีมเปรี้ยว กรดแลกติกซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ เช่น สเตรปโตคอคคัส (streptococcus) และสเตรปโตบาซิลลัส (Streptobacillus)

ช่วยลด pH จนใกล้จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) ของเคซีนในนม ซึ่งจะทำให้เคซีนตกตะกอน ส่วนการทำเนยแข็ง การตกตะกอนโปรตีน อาจใช้วิธีเติมเอ็นไซม์เรนเนทและกรด เช่น กรดซิตริกและกรดไฮโดรคลอริก รายละเอียดเกี่ยวกับขบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นมเหล่านี้ อยู่ในบทที่ 7

6. กรดเป็นสารที่ให้กลิ่นรสที่สำคัญในอาหารหลายชนิด กรดส่วนใหญ่จะให้รสเปรี้ยว เพราะไฮโดรเจนไอออนหรือไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) เป็นตัวก่อให้เกิดการตอบสนองต่อรสเปรี้ยวของต่อมรับรส (บทที่ 4) กรดไขมันโซ่สั้น ๆ ($C_2 - C_{12}$) มีส่วนสำคัญต่อกลิ่นรสของอาหาร เช่น กรดบิวทีริก (butyric acid) ซึ่งถ้ามีความเข้มข้นสูง จะมีผลทำให้เกิดกลิ่นหืน แต่ถ้ามีความเข้มข้นต่ำจะให้กลิ่นรสเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์นม เช่น เนยแข็งและเนยเหลว, น้ำส้มสายชู (กรดอะซิติก) เป็นองค์ประกอบสำคัญในการทำผักดองและผลไม้ดอง กรดนี้ นอกจากจะช่วยเพิ่มกลิ่นรสให้แก่ผักดองและผลไม้ดองแล้ว ยังช่วยถนอมผลิตภัณฑ์เหล่านี้ด้วย เพราะการลด pH จะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่จะทำให้อาหารเน่าเสีย

7. กรดและเกลือของกรดเป็นองค์ประกอบของสารที่ทำให้ขึ้นฟู (leavening agents) ผงฟู (baking powder) ที่ใช้กันทั่วไป ประกอบด้วยสารผสมของสารประกอบที่สามารถทำปฏิกิริยากัน ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งสามารถทำให้ขนมอบขึ้นฟูได้ (รายละเอียดเกี่ยวกับหน้าที่ของกรดเหล่านี้อยู่ในหัวข้อ “สารที่ทำให้ขึ้นฟู”)

กรดอินทรีย์เป็นจำนวนมากที่ใช้ได้ในระบบอาหาร และที่ใช้กันมาก ได้แก่ กรดอะซิติก (CH_3COOH), กรดแลกติก ($CH_3-CHOH-COOH$), กรดซิตริก ($HOOC-CH_2-COH(COOH)-CH_2-COOH$), กรดมาลิก ($HOOC-CH(OH)-CH_2-COOH$), กรดฟิวมาริก ($HOOC-CH=CH-COOH$), กรดซัคซินิก ($HOOC-CH_2-CH_2-COOH$) และกรดทาร์ทาริก ($HOOC-CH(OH)-CH(OH)-COOH$) กรดฟอสฟอริกเป็นกรดอินทรีย์ที่ใช้ในน้ำอัดลม (carbonated beverages) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโคล่าและรูทเบียร์ (root beer) กรดอินทรีย์ เช่น HCl , H_2SO_4 เป็นกรดแก่ซึ่งแตกตัวมาก ไม่เหมาะสำหรับใช้กับอาหาร

เบสเป็นสารประกอบที่ใช้ควบคุม pH ได้เช่นเดียวกับกรด นอกจากนี้เบสยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ดังนี้

1. เบสใช้สำหรับควบคุม pH ทำให้อาหารมี pH สูงขึ้น และเกลือของด่างมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ ใช้ควบคุม pH ได้ เกลือของด่าง (alkaline salts) เช่น ไดโซเดียมฟอสเฟต (disodium phosphate), ไตรโซเดียมฟอสเฟต (trisodium phosphate) และโซเดียมซิเตรต (sodium

citrate) ใช้ในการทำเนยแข็งเพื่อเพิ่ม pH (5.7-6.3) และช่วยในการกระจายตัวของโปรตีนเกล็ดของด่างยังทำปฏิกิริยากับโปรตีนในเนยแข็ง เพื่อให้เกิดอิมัลชันได้ดีขึ้น และเพิ่มความสามารถของโปรตีนในการจับกับน้ำ

2. เกลือคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตเป็นสารประกอบสำคัญของสารที่ทำให้ขึ้นฟู เพราะมันสามารถให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3. ด่างใช้ใส่ในอาหารเพื่อเพิ่มสีและกลิ่นรส ผลโอลิฟ (olive) ที่สุก ถ้าแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.25-2.0%) จะช่วยกำจัดรสขมและช่วยให้สีเข้มขึ้น ขนมปังเค็ม (Pretzels) ที่จุ่มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25% ที่ 85-88 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะนำไปอบ จะช่วยเปลี่ยนแปลงโปรตีนและแป้ง ทำให้ผิวเรียบและมีสีน้ำตาลเข้มระหว่างที่อบ โซเดียมไบคาร์บอเนตยังใช้ในขบวนการผลิตโกโก้เพื่อให้เกิดสีน้ำตาลเข้มของช็อกโกแลต pH ที่สูงขึ้น จะช่วยให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเกิดได้ดีขึ้น ผลก็คือทำให้ช็อกโกแลตมีกลิ่นรสดีขึ้น ลดความเป็นกรด มีสีเข้มขึ้นและช่วยให้ละลายได้ดีขึ้นเล็กน้อย

4. ในการทำเนยเหลวหมัก (cultured butter) ก่อนหน้าที่จะปั่น (churning) ครีมนจะถูกหมักโดยแบคทีเรียกรดแลคติก (lactic acid bacteria) ซึ่งจะก่อให้เกิดกรดแลคติก การเติมด่างจะช่วยลดความเป็นกรด และช่วยให้ประสิทธิภาพในการปั่นดีขึ้น ทั้งยังลดการเกิดกลิ่นที่ไม่ดีเนื่องจากออกซิเดชัน

5. เบสแก่ (strong bases) ช่วยในการลอกเปลือกผักและผลไม้ได้ โดยให้ผลไม้หรือผักได้สัมผัสกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ประมาณ 3%) ที่ร้อน (60-82 องศาเซลเซียส) และถูหรือขัดเพียงเบา ๆ เปลือกจะหลุดออกได้ง่าย

ในบางกรณี การใช้กรดปริมาณมากในอาหาร อาจทำให้เกิดกลิ่นรสของกรดแรงมากซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ การทำให้กรดเป็นกลางอาจทำให้กลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไปได้ วิธีแก้ไขคือ ใช้ระบบบัฟเฟอร์ซึ่งประกอบด้วยเกล็ดของกรดอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ระบบบัฟเฟอร์เกิดจากเกล็ดของกรดอินทรีย์ประกอบด้วยไอออนตัวหนึ่งเหมือนกับในกรดอินทรีย์ เมื่อเติมเกล็ดของกรดอินทรีย์ลงในกรดอินทรีย์ เกล็ดของกรดอินทรีย์จะแตกตัวทันที ซึ่งจะยับยั้งการแตกตัวเป็นไอออนของกรด ทำให้ความเป็นกรดลดลง และทำให้ pH คงตัวไม่เปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น การเติมกรดแก่ เช่น HCl ลงในระบบกรดอะซิติก-โซเดียมอะซิเตต ทำให้ไฮโดรเจนไอออนทำปฏิกิริยากับอะซิเตตไอออน ซึ่งจะมีผลทำให้กรดอะซิติกแตกตัวเป็นไอออนได้มากขึ้นเล็กน้อย ดังนั้น pH จึงค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

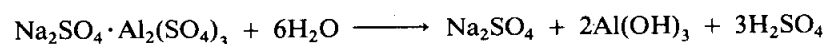
ถ้าเป็นระบบบัฟเฟอร์ที่เป็นกรดอ่อน กรดอ่อนจะแตกตัวเพียงบางส่วนในน้ำ เกิดไฮโดรเจนไอออน ซึ่งเป็นตัวกำหนด pH ของระบบและไอออนลบ การแตกตัวของกรดจะถึงจุดสมดุล ถ้าเติมด่างแก่ซึ่งแตกตัวได้สมบูรณ์ลงไปในระบบนี้ ด่างจะทำปฏิกิริยากับไอออนบวกของกรดอ่อนจนเป็นกลาง เพื่อให้บรรลุจุดสมดุลอีกครั้งหนึ่ง กรดอ่อนจะต้องแตกตัวมากขึ้นเพื่อให้เกิดสภาวะสมดุลอีก pH จึงคงที่ (ค่าของ pH ขึ้นกับไฮโดรเจนไอออน) นี่คือนิยามการทำงานของระบบบัฟเฟอร์ เพราะถ้าไม่มีระบบนี้ การเติมด่างจะทำให้ pH เพิ่มขึ้น

ระบบบัฟเฟอร์ใช้มากในอุตสาหกรรมทำขนมอบ ซึ่งจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นตัวการสำคัญในการทำให้ขนมขึ้นฟู และในอุตสาหกรรมน้ำอัดลม เพื่อใช้ควบคุมความเป็นกรดของอาหารเหล่านี้

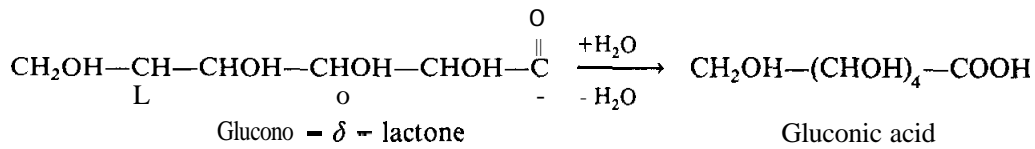
เกลือของกรดกลูโคนิก, กรดอะซิติก, กรดซิตริกและกรดฟอสฟอริก ใช้กันแพร่หลายในการควบคุม pH และป้องกันการเกิดกลิ่นแรงของกรดแก่ ในอุตสาหกรรมอาหารกรดซิตริกเป็นกรดที่นิยมใช้มากกว่ากรดฟอสฟอริก กรดซิตริกให้รสเปรี้ยวที่ไม่จัดเกินไป ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่ต้องการให้มีโซเดียมอยู่ อาจใช้เกลือโพแทสเซียมเป็นบัฟเฟอร์แทนได้ แต่ปกติจะไม่ใช้เกลือแคลเซียม เพราะมันละลายยากและไม่เข้ากับองค์ประกอบอื่น ๆ ในระบบระบบบัฟเฟอร์ที่ให้ผลในช่วง pH ต่าง ๆ ได้แก่ กรดซิตริก-เกลือซิเตรตในช่วง pH 2.1-4.7 และกรดอะซิติก-เกลืออะซิเตตในช่วง pH 3.6-5.6

9.11 สารที่ทำให้ขึ้นฟู (Leavening agents)

สารที่ช่วยให้ขึ้นฟู (leavening agents) ประกอบด้วยสารผสมของสารประกอบที่สามารถทำปฏิกิริยาแล้วให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้ขนมขึ้นฟู กรดที่ช่วยให้ขึ้นฟู (leavening acids) ได้แก่ สารที่ให้ไฮโดรเจนไอออน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับเกลือคาร์บอเนตหรือเกลือไบคาร์บอเนตให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา กรดที่ช่วยให้ขึ้นฟู ได้แก่ โพแทสเซียมแอสซิดทาร์เทรต (potassium acid tartrate), อะลูมิเนียมซัลเฟต, กลูโคโน-แลคโตน (glucono-δ-lactone), ออร์โทฟอสเฟตและไพโรฟอสเฟต เช่น แคลเซียมฟอสเฟต, โซเดียมแอมโมเนียมฟอสเฟตและโซเดียมแอสซิดไพโรฟอสเฟตเป็นต้น พวกฟอสเฟตและโพแทสเซียมแอสซิดทาร์เทรตเป็นเกลือโลหะของกรดที่ถูกทำให้เป็นกลางบางส่วน โซเดียมอะลูมิเนียมซัลเฟตทำปฏิกิริยากับน้ำได้กรดซัลฟูริก

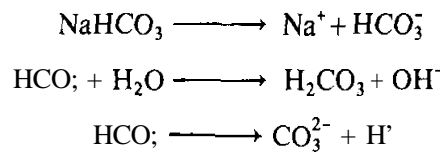


ส่วนกลูโคโน-แลคตา-แลกโตนสามารถถูกไฮโดรไลส์อย่างช้า ๆ ในน้ำ หรือระบบ เอควีเอสได้กรดกลูโคนิก

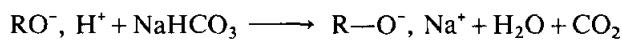


ส่วนเกลือคาร์บอเนตและเกลือไบคาร์บอเนตที่ใช้ คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งใช้กันมากที่สุด แอมโมเนียมคาร์บอเนตและแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต อาจใช้ในการทำคุกกี้ (cookies) เกลือแอมโมเนียมจะสลายตัวที่อุณหภูมิที่ใช้อบขนม (Baking temperature) จึงไม่ต้องการกรดที่ช่วยให้ขึ้นฟู โพแทสเซียมไบคาร์บอเนตใช้ได้ในกรณีที่อาหารนั้นไม่ต้องการให้มีแคลเซียม แต่ไม่นิยมใช้โพแทสเซียมไบคาร์บอเนตนัก เพราะมันดูดความชื้น และมีรสขมเล็กน้อย

โซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นสารที่ช่วยให้ขึ้นฟูที่ใช้มากที่สุด มันละลายได้ในน้ำ (619 กรัม 100 มิลลิลิตรของน้ำ) และสามารถแตกตัวเป็นไอออนได้หมด ดังสมการต่อไปนี้



ปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดเฉพาะในน้ำ แต่ในระบบโด (dough system) โปรตีนและไอออนอื่น ๆ ที่เกิดในธรรมชาติมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาดังนี้ เมื่อมีไฮโดรเจนไอออนที่ได้จากกรดที่ทำให้ขึ้นฟูและบางส่วนมาจากโด โซเดียมไบคาร์บอเนตจะทำปฏิกิริยาให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกปล่อยออกมาในระหว่างอบขนม พร้อมกับมีการขยายตัวของอากาศและไอน้ำ ทำให้ขนมอบมีลักษณะโป่งฟู



ความสมดุลของกรดและโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นสิ่งจำเป็น เพราะถ้ามีโซเดียมไบคาร์บอเนตมากเกินไป จะทำให้มีรสชาติของสบู่ในขนมอบได้

9.12 สารที่ช่วยให้เกิดอิมัลชันหรืออิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers)

สารใดก็ตามที่สามารถช่วยให้สาร 2 ชนิด ซึ่งไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถผสมเข้ากันได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น สารที่ช่วยให้ น้ำและน้ำมันผสมเข้ากันได้ดีในน้ำสลัด เราเรียกสารที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้ว่า อิมัลซิไฟเออร์ อิมัลซิไฟเออร์จะช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลวสองชนิด ทำให้ของเหลวสองชนิดสามารถผสมเข้ากันได้ ถ้าปราศจากอิมัลซิไฟเออร์ น้ำและน้ำมันในน้ำสลัดจะแยกตัวออกจากกัน อิมัลซิไฟเออร์สำคัญต่ออุตสาหกรรมทำขนมปัง ขนมเค้ก อิมัลซิไฟเออร์ทำให้ขนมปังและขนมเค้กมีปริมาตรดีขึ้นและมีเนื้อละเอียด สำหรับเค้กบางชนิดการเติมอิมัลซิไฟเออร์จะช่วยให้ใส่น้ำตาลลงในส่วนผสมได้มากขึ้น โดยปริมาตรของเค้กไม่ลดลง ทำให้เค้กมีกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสดีขึ้น อิมัลซิไฟเออร์ยังช่วยยืดอายุการเก็บขนมปังด้วย โดยขนมปังไม่แห้งและแข็งเร็วเกินไป พวกผลิตภัณฑ์นม เช่น ไอศกรีม จะมีการผสมอิมัลซิไฟเออร์ในส่วนผสมเพื่อช่วยให้ส่วนผสมเข้ากันดี ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ในส่วนผสมที่ใช้ทำขนมหวาน (candies) เพื่อช่วยให้น้ำมันหอมระเหย (essential oil) และกลิ่นรสต่าง ๆ ที่ไม่ละลายน้ำ สามารถกระจายและผสมเข้ากับน้ำได้ดี

อิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้คือ เลซิธิน (lecithin), โมโนกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์ ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมัน (มาเชื่อมต่อกันโดยพันธะเอสเทอร์) ต่อไปนี้คือ กรดอะซิติก (CH_3COOH), กรดแลกติก ($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$), กรดซิตริก ($\text{HOOCCH}_2\cdot\text{HOCCOOH}\cdot\text{CH}_2\text{COOH}$), หรือ กรดไดอะซิติกทาร์ทาริก ($\text{HOOC}\cdot\text{HCOOCCH}_3\cdot\text{HCOOCCH}_3\cdot\text{COOH}$) อิมัลซิไฟเออร์ล้วนประกอบด้วยหมู่ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic group) และหมู่ไฮโดรฟิลิก (hydrophilic group) อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน

9.13 สารที่ช่วยให้อยู่ตัว (Stabilizers) และสารที่ทำให้ข้น (Thickeners)

สารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ใช้มากในอาหาร สำหรับทำให้อาหารอยู่ตัวไม่ว่าอาหารจะอยู่ในรูปอิมัลชันหรือแขวนลอยอยู่หรือเกิดฟอง ทั้งยังทำให้อาหารข้นขึ้นด้วย สารเหล่านี้บางครั้งจัดเป็นพวกกัม (gums) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ สารที่ช่วยให้อยู่ตัวและข้นขึ้นหลายชนิด เป็นพวกโพลีแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) เช่น กัมอะราบิก (gum arabic), กวาร์กัม (guar gum), คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose), คาร์ราจีแนน (carrageenan), อะการ์ (agar), แป้งและเพกติน นอกจากนี้ยังมีเจลาตินซึ่งเป็นโปรตีนที่ได้จากคอลลาเจน สาร

ประกอบเหล่านี้เป็นสารที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และกระจายอยู่ในสารละลายเป็นคอลลอยด์ จึงมักจะเรียกว่า ไฮโดรคอลลอยด์ ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประโยชน์ประกอบด้วยคุณสมบัติต่อไปนี้ คือ ละลายน้ำได้, สามารถเพิ่มความหนืด และในบางกรณีสามารถเกิดเจลได้ หน้าที่ของพวก ไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ การทำให้เนื้อสัมผัสของอาหารอยู่ตัวและดีขึ้น ยับยั้งการเกิดผลึก (น้ำตาล, น้ำแข็ง) ทำให้มีกลิ่นและฟองอยู่ตัว ลดความเหนียวเหนอะของน้ำตาลไอซิ่ง (icings) บนขนมอบ และดูดกลิ่นไว้ด้วย ความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ประมาณ 2% หรือน้อยกว่านี้ เพราะสารเหล่านี้มีการกระจายตัวที่จำกัด และสารเหล่านี้จะให้ผลดีสำหรับความเข้มข้นระดับนี้ ประสิทธิภาพของการเกิดคอลลอยด์จะขึ้นโดยตรงกับความสามารถของมันที่จะเพิ่มความหนืด นี่เป็นกลไกที่ไฮโดรคอลลอยด์ทำให้มีกลิ่นของน้ำมันในน้ำอยู่ตัว มันไม่สามารถใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดอิมัลชันที่แท้จริง เพราะมันขาดคุณสมบัติไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) และไลโปฟิลิก (lipophilic) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นต้องมีร่วมกันในการเกิดอิมัลชัน

9.14 ก๊าซ

ก๊าซมีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร เช่น ก๊าซไฮโดรเจนใช้ไฮโดรจีเนต (hydrogenate) ไขมันหรือน้ำมันที่ไม่อิ่มตัว เพื่อให้ไขมันหรือน้ำมันเปลี่ยนจากสภาพของเหลวไปเป็นของแข็งได้ไขมันที่เรียกว่า Shortening, ก๊าซคลอรีนใช้ฟอกสีแป้งและฆ่าเชื้อเครื่องมือต่าง ๆ, ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องกับผลไม้แห้ง (บทที่ 5) และใช้ถนอมอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บ (หัวข้อที่ 9.1) ก๊าซเอทิลีนใช้ในการบ่มผลไม้เพื่อให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น (บทที่ 5) และเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) ใช้สำหรับฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในเครื่องเทศต่าง ๆ (หัวข้อที่ 9.1) ในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะก๊าซเฉื่อย (inert gases) ที่ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร

การกำจัดออกซิเจนจากผลิตภัณฑ์อาหาร อาจใช้ก๊าซเฉื่อยได้ เช่น ก๊าซไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ การบรรจุอาหารในถุงทำด้วยพลาสติกหรืออะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) มักจะดูดอากาศออกและอัดด้วยก๊าซไนโตรเจนแล้วจึงปิดสนิท วิธีนี้จะช่วยป้องกันการปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้อาหารเสีย และมีประโยชน์ต่อการเก็บอาหารประเภทที่มีไขมันสูง เช่น มันฝรั่งกรอบ ทั้งยังป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแอโรบิก (aerobic bacteria) แต่แบคทีเรียแอนแอโรบิก (anaerobic bacteria) สามารถขึ้นได้ กรณีนี้อาจเป็นอันตราย เพราะถ้าหากเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคสามารถเจริญเติบโตในสภาวะไร้อากาศ และเจริญเร็วกว่า

เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสีย ผลที่เกิดขึ้นคือ เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งมากขึ้น จนถึงขั้นอันตราย' แต่อาหารนั้นก็ยังไม่มียลักษณะที่แสดงถึงการเน่าเสีย ด้วยเหตุนี้ การบรรจุอาหารโดยใช้ก๊าซเฉื่อยจะเหมาะสำหรับอาหารซึ่งไม่ใช่แหล่งเจริญเติบโตที่ดีของเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ พวกอาหารแห้ง เช่น มันฝรั่งที่เป็นแผ่นทอดกรอบ, ไข่ผง หรืออาหารที่มีปริมาณเกลือสูง เช่น เบคอน

การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในผลิตภัณฑ์อาหารเหลว เรียกว่า คาร์โบเนชัน (carbonation) เช่น น้ำอัดลม เบียร์ ไวน์บางชนิดและน้ำผลไม้บางชนิด จะทำให้เครื่องดื่มเหล่านี้เกิดฟอง มีกลิ่นรสแรงและเสถียรเล็กน้อย ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ และวิธีการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ เบียร์มักจะประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ 3-4 ปริมาตร (1 ปริมาตรของเบียร์ที่ 60 องศาฟาเรนไฮต์ และ 1 ความดันบรรยากาศ ประกอบด้วย 3-4 ปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน) คาร์โบเนชันมักจะทำที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) และเพิ่มความดันเพื่อเพิ่มการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ การที่คาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในสารละลายได้ที่ความดันบรรยากาศเป็นการดูดซับก๊าซที่ผิว (surface adsorption) โดยสารคอลลอยด์และเป็นการเกิดพันธะเคมี โดยมี การค้นพบว่าในผลิตภัณฑ์บางชนิดจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ และหมู่อะมิโนอิสระของกรดอะมิโนและโปรตีน เกิดสารประกอบคาร์บามิโน (Carbamino compound) นอกจากนี้การเกิดกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) และไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ก็ช่วยทำให้ระบบคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ตัวในสารละลาย