บทที่ 9
วัตถุเจือปนในอาหาร
(FOOD ADDITIVES)

วัตถุเจือปนในอาหารได้แก่ สารหรือสารผสมเคมีที่ใส่ในอาหารในปริมาณที่ควบคุมและรู้ปริมาณแน่นอน มีจุดประสงค์เพื่อช่วยในขบวนการผลิต ถนอมอาหารหรือปรับปรุงกลิ่นรส เนื้อสัมผัสหรือลักษณะภายนอกของอาหาร แต่ไม่รวมถึงสารที่ปนเปื้อนมากับอาหารโดยบังเอิญ

วัตถุเจือปนในอาหารอาจจะว่องไวหรือไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาต่าง ๆ อาจมีคุณค่าทางโภชนาการหรือไม่ก็ได้ แต่จะต้องไม่เป็นพิษเป็นภัยต่อสุขภาพ วัตถุเจือปนในอาหารจำนวนมากจัดอยู่ในจำพวก GLAS ("Generally Regarded As Safe" แปลว่าโดยทั่วไปถือว่าปลอดภัย) วัตถุเจือปนในอาหารที่เป็นจำพวก GLAS คือ วัตถุเจือปนที่ถูกใช้มานานโดยไม่เป็นอันตรายก่อนที่จะมีการควบคุมทางกฎหมาย ได้แก่ ผงฟู(โซเดียมไบคาร์บอเนต) โมโนแคลเซียมฟอสเฟต กรดผลไม้ เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดฟอสฟอริก กัมคารายา(gum karaya) agar-agar โมโนกลีเซอไรด์ และ ไดกลีเซอไรด์ เป็นต้น

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

CM 480 347

ความเป็นพิษ และผลทางสรีรวิทยาของสารนั้นที่มีต่อสัตว์ทดลอง วัตถุเจือปนในอาหารที่ได้รับ

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

สารที่ใช้เป็นสิ่งเจือปนในอาหารได้นั้น จะต้องผ่านการทดสอบดังนี้

1. ตรวจสอบกรรมวิธีในการผลิตสารและความบริสุทธิ์ของสารนั้น

2. หาคุณสมบัติทางเคมีของสารนั้น

3. ตรวจสอบความเป็นพิษของสารนั้น

4. ทดลองหาผลทางชีววิทยาที่มีต่อสัตว์ทดลอง โดยตรวจดูปริมาณและระยะเวลาที่จะทำให้เกิดโรคในสัตว์ และอวัยวะส่วนใดที่เกิดโรคและลักษณะของโรคที่เกิด การทดลองนี้ควรทำกับสัตว์ต่าง ๆ อย่างน้อย 3 ชนิดขึ้นไป

5. ทดลองหาปริมาณของสารนั้นที่ควรมีในผลิตภัณฑ์อาหารสุดท้าย

6. ศึกษาวิถีที่สารนั้นจะถูกเมตาโบไลส์ในคนและสัตว์

7. ศึกษาการทำงานของสารนั้นในอุตสาหกรรมอาหาร

วัตถุเจือปนในอาหารสามารถนำไปใช้เพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. เพื่อสงวนหรือเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

2. เพื่อถนอมอาหารและป้องกันการเสื่อมสภาพของอาหารในระหว่างเก็บ

3. เพื่อรักษาคุณภาพของอาหารช่วยให้อาหารมีสี กลิ่นรสและเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม โดยมิใช่เพื่อหลอกลวงผู้บริโภค

4. เพื่อช่วยในกรรมวิธีการผลิต

วัตถุเจือปนที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ สารกันบูด, สารที่ช่วยเสริมคุณค่าทางโภชนาการ, สีของอาหาร, สารปรุงกลิ่นรส, สารที่ช่วยควบคุมความเป็นกรดและด่างของอาหาร, แอนติออกซิแดนท์ (antioxidants), เอ็นไซม์, สารช่วยให้เกิดอิมัลชัน (emulsifying agents), สารที่ทำให้ข้น (Thickeners) เป็นต้น

ในการใช้วัตถุเจือปนในอาหาร เราควรจะถือหลักต่อไปนี้คือ

1. วัตถุเจือปนในอาหารควรเป็นสารที่ให้ผลทางเทคโนโลยี (technological effective)

2. วัตถุเจือปนในอาหารควรจะปลอดภัยในการใช้

3. วัตถุเจือปนในอาหารไม่ควรใช้เกินกว่าปริมาณที่จำเป็น

4. วัตถุเจือปนในอาหารไม่ควรใช้เพื่อจุดประสงค์ในการหลอกลวงผู้บริโภคเกี่ยวกับธรรมชาติและคุณภาพของอาหาร

5. การใช้วัตถุเจือปนที่มิใช่สารอาหารควรใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุด

9.1 สารต้านเชื้อจุลินทรีย์หรือสารกันบูด (Antimicrobial agents or Preservatives)

1. ซัลไฟต์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ถูกใช้สำหรับถนอมอาหารมาเป็นเวลาช้านานแล้ว รูปที่ใช้คือ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเกลือโซเดียมหรือโพแทสเซียมของซัลไฟต์ ไบซัลไฟต์หรือเมตาไบซัลไฟต์ ในสารละลายเอเควียส ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือซัลไฟต์เกิดเป็นกรดซัลฟุรัสและไอออนของไบซัลไฟต์และซัลไฟต์

$$SO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_3 \qquad \text{.....(1)}$$

$$2H_2SO_3 \rightleftharpoons H^+, SO_3^- + 2H^+, SO_3^{2-} \qquad \text{.....(2)}$$

อัตราส่วนสัมพัทธ์ของแต่ละรูปขึ้นกับ pH ของสารละลาย และที่ pH 4.5 หรือต่ำกว่านี้จะมี HSO_3^- ไอออนและกรดซัลฟุรัสที่ไม่แตกตัวอยู่มาก ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใช้เป็นสารกันบูดที่มีประสิทธิผลดีที่สุดในตัวกลางที่เป็นกรด ผลดังกล่าวนี้เชื่อกันว่าเป็นผลจากกรดซัลฟุรัสที่ไม่แตกตัว ซึ่งเป็นรูปที่มีมากที่สุดที่ pH ต่ำกว่า 3.0 กรดซัลฟุรัสสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ ราและแบคทีเรีย แต่ผลของการยับยั้งอาจไม่เท่ากัน เช่น ที่ pH สูง HSO_3^- ไอออนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียแต่ไม่ยับยั้งยีสต์ การที่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลในการยับยั้งสูงที่ pH ต่ำอาจเนื่องมาจากผลของกรดซัลฟรุัสซึ่งสามารถเจาะทะลุผนังเซลล์ได้ง่าย

นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังเป็นสารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องในอาหาร กลไกของการยับยั้งยังไม่กระจ่างนัก แต่อาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไบซัลไฟต์กับหมู่คาร์บอนิลที่ว่องไว ไบซัลไฟต์รวมกับน้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) และแอลดิไฮด์อินเทอร์มิเดียทแบบผันกลับได้และรวมอย่างแน่นหนากว่ากับ α – ไดคาร์บอนิล และ α, β-unsaturated aldehydes ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลช้าลง เมื่อควบกับคุณสมบัติการฟอกสีของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อรงควัตถุเมลานอยดิน ทำให้มีผลในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังช่วยยับยั้งปฏิกิริยาที่มีเอ็นไซม์เป็นตัวเร่ง นั่นคือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องด้วย การเกิดรงควัตถุโดยการออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลซึ่งมีเอ็นไซม์เป็นตัวเร่งสามารถก่อให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ผลไม้และผักสด อย่างไรก็ตามการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือเมตาซัลไฟต์พ่นใส่ หรือใช้วิธีแช่โดยอาจจะใส่กรดซิตริกหรือไม่ใส่ก็ได้มีผลในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องในมันฝรั่ง แครอท

และแอปเปิ้ลที่ปอกหรือหั่นแล้ว

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังใช้เป็นแอนติออกซิแดนท์ (antioxidants) ในระบบอาหารหลายประเภท แต่มันมักไม่ถูกนำไปใช้เพื่อจุดประสงค์ดังกล่าวนี้ เมื่อเบียร์รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะช่วยยับยั้งกลิ่นออกซิไดส์ได้ในช่วงการเก็บเบียร์ไว้ การรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อสดยังช่วยรักษาสีแดงของเนื้อสดไว้ได้ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติไม่อนุญาตให้ใช้เพราะอาจจะไปบดบังสภาพที่แท้จริงของเนื้อที่เน่าเสียแล้ว

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

ก่อนที่จะนำผลไม้มาอบแห้งมักจะให้ผ่านก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อน และในทางปฏิบัติบางครั้งจะทำโดยมีสารบัฟเฟอร์ (buffering agent) คือ $NaHCO_3$ อยู่ การทำเช่นนี้จะช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและช่วยฟอกสีของรงควัตถุแอนโธไซยานิน (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

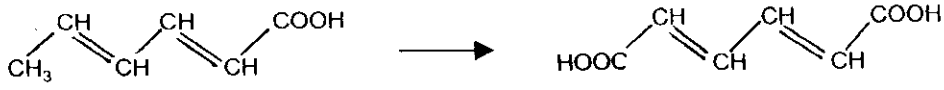
จุลินทรีย์ของไนไตรต์ยังไม่ทราบแน่นอน แต่มีผู้เสนอแนะว่าไนไตรต์ทำปฏิกิริยากับหมู่ซัลไฟดริล (sulfhydryl groups) ของโปรตีนในเนื้อเกิดสารประกอบซึ่งไม่อาจถูกเมตาโบไลส์โดยเชื้อจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ เคยมีผู้พบว่าไนไตรต์เกี่ยวข้องกับการเกิดไนโตรซามีนปริมาณเล็กน้อยและอาจจะเป็นพิษในเนื้อบ่ม ส่วนเกลือไนเตรตยังเกิดตามธรรมชาติในอาหารหลายประเภท เช่น ในผักขม (spinach) เป็นต้น การสะสมไนเตรตปริมาณสูงในผักซึ่งปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยปริมาณมาก จะต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษ โดยเฉพาะผักที่นำมาทำอาหารสำหรับเด็กอ่อน การขจัดไนไตรต์ออกจากเนื้อบ่มไม่ใช่สิ่งที่ทำได้ง่ายนัก เพราะไนเตรต์เป็นสารสำคัญที่ให้สีของเนื้อบ่ม และเป็นตัวยับยั้งการแพร่เชื้อ clostridium botulinum ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดพิษในเนื้อบ่มได้ ดังนั้น การใช้ไนไตรต์และไนเตรตในเนื้อบ่มจึงยังคงเป็นปัญหาอยู่ในขณะนี้ อย่างไรก็ตาม ตราบใดที่เนื้อบ่มมิได้ก่อให้เกิดพิษของอาหารอันเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์ ก็ยังไม่มีการคัดค้านเกี่ยวกับการใช้ไนไตรต์และไนเตรตในเนื้อบ่ม

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%) สารนี้ในปริมาณที่ใช้(0.3% โดยน้ำหนัก)ไม่มีกลิ่นและรสที่ส่งผลกระทบต่อกลิ่นรสของอาหาร วิธีการใส่อาจผสมโดยตรง เคลือบผิวอาหารหรือผสมในสิ่งที่ใช้หุ้มห่ออาหาร

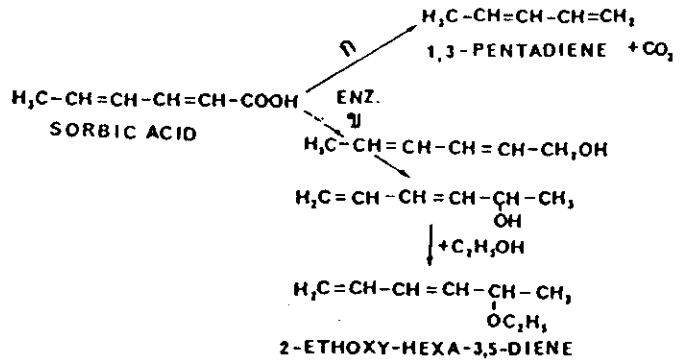
กรดซอร์บิกรวมทั้งเกลือโซเดียมและโพแตสเซียมของกรดนี้ใช้ยับยั้งการแพร่ของราและยีสต์ได้ แต่มีผลน้อยต่อแบกทีเรีย ฤทธิ์ของกรดซอร์บิกจะเพิ่มขึ้นขณะที่ pH ลดลง แสดงว่า รูปที่ไม่แตกตัวมีผลยับยั้งดีกว่ารูปที่แตกตัว ปกติ กรดซอร์บิกใช้ได้ผลจนถึง pH 6.5

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



Sorbic acid Trans, trans-muconic acid

การเสื่อมคุณสมบัติการต้านเชื้อราของกรดซอร์บิกเกิดขึ้นได้ทั้งทางเคมีและเกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาที่เกิดคือ :



ปฏิกิริยา(ก) เกิดจากราโดยเฉพาะเกิดจาก Penicillium roqueforti โดยกรดซอร์บิกเกิด decarboxylation ไปเป็น 1,3-pentadiene ซึ่งมีกลิ่นคล้ายแกสโซลีน(gasoline) กลิ่นนี้เกิดเมื่อมีราชนิดดังกล่าวเกิดในเนยแข็งที่เคลือบผิวด้วยซอร์เบท

ถ้าไวน์ใส่กรดซอร์บิกเกิดเสียในขวดเนื่องจาก Lactic acid bacteria จะเกิดกลิ่นไม่ดีคล้ายกลิ่นของใบ geranium โดยLactic acid bacteria จะริดิวส์กรดซอร์บิกไปเป็น sorbyl alcohol และเนื่องจากอยู่ในสภาวะกรด Sorbyl alcohol จะจัดตัวใหม่ไปเป็น secondary alcoholและสุดท้ายจะได้ ethoxylated hexadiene ซึ่งมีกลิ่นของใบ geranium [ปฏิกิริยา(ข)]

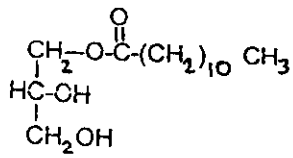
กรดซอร์บิกและเกลือของกรดซอร์บิกใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อราในขนมอบ เนยแข็ง เครื่องดื่ม(น้ำผลไม้, ไวน์) มาร์มาเลด(marmalades) เยลลี่ และของหมักดอง(pickles)

จากผลการวิจัยเมื่อไม่นานนี้พบว่า กรดซอร์บิกยังสามารถต้านแบกทีเรียได้หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการบูดเสียของเป็ดไก่ ปลาและเนื้อสด โดยเฉพาะใช้ได้ผลกับการชลอมิให้อาหารเป็นพิษเนื่องจาก Clostridium botulinum ในเบคอนและปลาสดที่บรรจุภายใต้บรรยากาศต่างๆ

3. กลีเซอริล เอสเทอร์ (Glyceryl esters)

กรดไขมันและโมโนกลีเซอไรด์หลายชนิดมีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์แกรมบวกและยีสต์บางชนิด สารกลุ่มนี้ที่ไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะพวกที่มี 18 คาร์บอนอะตอมมีฤทธิ์ต้านเชื้อสูงเช่นเดียวกับกรดไขมัน ส่วนพวกที่มีความยาวโซ่ปานกลาง(12 คาร์บอนอะตอม)มีฤทธิ์ยับยั้งสูงสุด

เมื่อเอสเทอริไฟด์เข้ากับกลีเซอรอล กลีเซอริลโมโนโลเรท(Glyceryl monolaurate)ซึ่งมีชื่อทางการค้าคือ"Monolaurin" มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อประเภท strephylococus และ streptococus เมื่อมีความเข้มข้น 15-250 ppm สารนี้ใช้ทั่วไปในเครื่องสำอาง และเนื่องจากธรรมชาติของสารนี้คล้ายลิปิด จึงสามารถใช้ในอาหารบางชนิด



Glyceryl monolaurate

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

4. **กรดโพรพิโอนิก** (Propionic acid)

กรดโพรพิโอนิค (CH_3CH_2COOH) รวมทั้งเกลือโซเดียมและโพแทสเซียมของมันมีฤทธิ์ต้านเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดได้ กรดโพรพิโอนิกเกิดในเนยแข็งสวิส (Swiss Cheese) (มีมากถึง 1% โดยน้ำหนัก) และเกิดจาก Propionibacterium shermanii กรดโพรพิโอนิกใช้กันแพร่หลายในขนมอบ กรดโพรพิโอนิกไม่เพียงแต่ยับยั้งการเจริญเติบโตของราได้ดีมันยังมีผลต่อต้านเชื้อ Bacillus mesentericus ที่ทำลายขนมปังด้วย ระดับที่ใช้ปกติจะประมาณ 0.3% โดยน้ำหนัก กรดโพรพิโอนิกที่ไม่แตกตัวจะเป็นรูปที่แอกติฟและใช้ได้ผลจนถึง pH 5.0 กรดโพรพิโอนิกมีผลในการฆ่าเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดเกิดจากการที่จุลินทรีย์เหล่านี้ไม่สามารถเมตาโบไลส์สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นคาร์บอนอะตอม 3 ตัว ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม กรดโพรพิโอนิกจะถูกเมตาโบไลส์ในลักษณะเดียวกับกรดไขมันอื่น ๆ และสำหรับปริมาณที่ใช้อยู่ไม่ปรากฏว่ามีอันตรายแต่อย่างไร

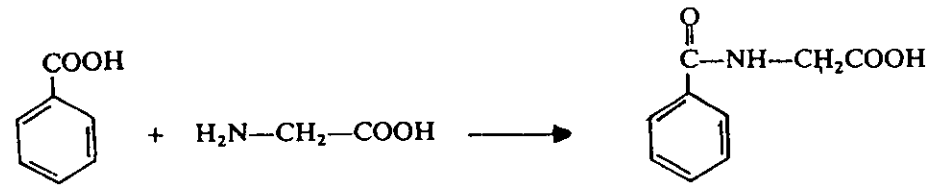
5. **กรดอะซิติก** (Acetic acid)

การถนอมอาหารด้วยกรดน้ำส้มในรูปของน้ำส้มสายชูเป็นวิธีที่ใช้กันมานานแล้ว นอกจากน้ำส้มสายชู (4% กรดน้ำส้ม) และกรดน้ำส้มแล้ว ยังมีสารอีกหลายตัวที่ใช้ได้คือ โซเดียมอะซิเตด โพแทสเซียมอะซิเตด แคลเซียมอะซิเตด และโซเดียมดีอะซิเตด (sodium deacetate คือ $CH_3COONa.CH_3COOH.\frac{1}{2}H_2O$) เกลือเหล่านี้ใช้ในขนมปังและพวกขนมอบ (Baked goods) (0.1 - 0.4%) เพื่อป้องกันมิให้ขนมปังแยกเป็นเส้น ๆ (ropiness) และป้องกันการเจริญเติบโตของรา แต่ไม่รบกวนยีสต์ในขนมปัง น้ำส้มสายชูและกรดอะซิติกใช้ในการดองเนื้อและผลิตภัณฑ์ปลา กรดนี้ใช้กับอาหาร เช่น ซ๊อสมะเขือเทศ(catshup), 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 เครื่องดื่มคาร์บอเนต (carbonated beverages) ของหมักดองและกะหล่ำปลีดองของเยอรมัน (sauerkraut) เกลือโซเดียมของกรดเบนโซอิกละลายน้ำได้มันจึงมักถูกนำมาใช้ในรูปของเกลือ เมื่อละลายเกลือโซเดียมของกรดเบนโซอิกในผลิตภัณฑ์อาหาร เกลือบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดซึ่งจะแสดงฤทธิ์ออกมา มันจะมีผลต่อยีสต์และแบคทีเรียแต่มีผลน้อยมากต่อรา กรดเบนโซอิกมักจะใช้ควบคู่กับกรดซอร์บิกหรือพาราเบนส์ (parabens) และระดับที่ใช้มักจะอยู่ในช่วง 0.05 - 0.1% โดยน้ำหนัก

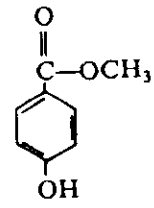
กรดเบนโซอิกไม่เป็นอันตรายถ้าใช้ในปริมาณน้อย มันจะถูกกำจัดออกจากร่างกายโดยคอนจูเกตกับไกลซีน (glycine) ไปเป็นกรดฮิปปุริค (hippuric acid) หรือเบนโซอิลไกลซีน (benzoylglycine) วิธีนี้จะช่วยมิให้มีการสะสมกรดเบนโซอิกในร่างกาย



Benzoic acid glycine Hippuric acid

7. **พารา-ไฮดรอกซีเบนโซอิก อัลกิล เอสเทอร์** (p – Hydroxybenzoic alkyl esters) **หรือพาราเบนส์** (Parabens)

พาราเบนส์เป็นกลุ่มอัลกิลเอสเทอร์ของกรดพารา-ไฮดรอกซีเบนโซอิก (p-hydroxybenzoic acid) ซึ่งใช้กันแพร่หลายเป็นสารป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร ในผลิตภัณฑ์ยาและในเครื่องสำอาง เมธิล, โพรพิลและเฮปทิลเอสเทอร์ของกรดนี้ใช้กันในสหรัฐอเมริกา และในบางแห่งเอธิลและบิวทิวเอสเทอร์ของกรดนี้ก็มีใช้เช่นกัน



methyl p – hydroxybenzoate (parabens)

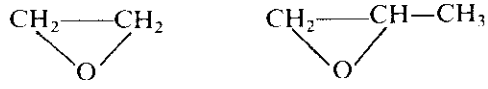
พาราเบนส์ใช้เป็นสารถนอมอาหารพวกขนมอบ, เครื่องดื่ม, เบียร์, น้ำมันโอลิฟ (olive), ของหมักดอง, แยม, เยลลี่และน้ำเชื่อม มันมีผลต่อกลิ่นรสน้อยมากและยับยั้งการเจริญของเชื้อราและยีสต์ได้ ปริมาณที่ใช้คือ 0.05 - 0.1% โดยน้ำหนัก แต่มีผลน้อยต่อแบคทีเรียโดยเฉพาะพวกแบคทีเรียประเภทแกรม-ลบ (gram – negative bacteria) ฤทธิ์ของพาราเบนส์เพิ่มขึ้นตามความยาวของโซ่อัลกิล (alkyl chain) ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อโซ่อัลกิลยาวขึ้นจะทำให้มันละลายน้ำได้น้อยลง ด้วยเหตุนี้ พาราเบนส์ที่มีโซ่อัลกิลสั้นจึงมีใช้มากกว่า ซึ่งแตกต่างจากสารป้องกันราประเภทอื่น พาราเบนส์จะมีฤทธิ์สูงที่ pH 7 หรือสูงกว่านี้ ทั้งนี้เพราะว่ามันอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวที่ pH เป็นกลาง หมู่ฟีนอลทำให้มันมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน พันธะเอสเทอร์ทนต่อการไฮโดรไลส์แม้ในอุณหภูมิรีทอร์ท (retort temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูง

พาราเบนส์มีคุณสมบัติหลายอย่างคล้ายกับกรดเบนโซอิกและมักจะใช้ร่วมกันเสมอ พาราเบนส์ไม่เป็นพิษเป็นภัย และสามารถถูกกำจัดออกทางปัสสาวะหลังจากการไฮโดรไลส์หมู่เอสเทอร์และถูกเมตาโบไลส์ในที่สุด

CM 480 355

8. อีพอกไซด์ (Epoxides)

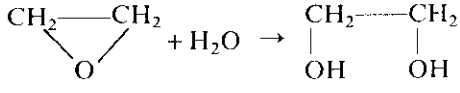
สารต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารส่วนใหญ่จะใช้ในปริมาณเพียงเพื่อยับยั้งการเจริญ-เติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เท่านั้น แต่ไม่ถึงกับใช้ในปริมาณที่ฆ่าเชื้อเหล่านี้จนหมด อย่างไรก็ตาม เอธิลีนและโพรพีลินออกไซด์เป็นข้อยกเว้น สารประกอบอีพอกไซด์เหล่านี้ใช้ในอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำ เพื่อให้สารเหล่านี้สัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์อย่างทั่วถึง มันจึงถูกใช้ในรูปของก๊าซ หลังจากอาหารได้รับก๊าซเหล่านี้ในปริมาณที่พอเพียงแล้ว ก๊าซส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยาจะถูกกำจัดออกโดยการฉีดทำลายด้วยน้ำ (flushing) และปล่อยออกไป (evacuation) อีพอกไซด์เหล่านี้เป็นไซคริกอีเธอร์ที่ว่องไวสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด รวมทั้งสปอร์และแม้แต่ไวรัสด้วย กลไกของการทำงานของอีพอกไซด์เหล่านี้ยังไม่เป็นที่ทราบกัน



ethylene oxide propylene oxide

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

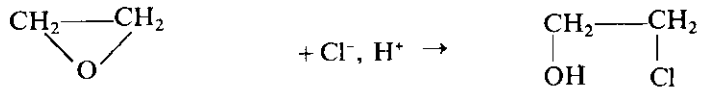
อีพอกไซด์ยังทำปฏิกิริยากับน้ำได้เกิดเป็นไกลคอล (glycol)



ไกลคอลมีพิษน้อยกว่าเอธีลีนออกไซด์มากจึงไม่มีผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

อีพอกไซด์ส่วนใหญ่ที่ยังมีฤทธิ์อยู่จะถูกกำจัดออกจากอาหารโดยเปลี่ยนเป็น glycols ซึ่งมีพิษน้อย อีพอกไซด์เหล่านี้มีที่ใช้จำกัดเฉพาะพวกอาหารแห้ง เช่น nutmeats และเครื่องเทศ เครื่องเทศมักจะมีเชื้อจุลินทรีย์อยู่มากและถ้าใส่ในอาหารอาจทำให้อาหารเสียได้ การใช้วิธีสเตอริไลส์ไม่เหมาะเพราะเครื่องเทศประกอบด้วยสารประกอบที่ให้กลิ่นรสซึ่งระเหยง่ายและมักจะไม่เสถียร ดังนั้น การใช้อีพอกไซด์กับอาหารประเภทนี้จึงเหมาะสำหรับการลดจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์

การเกิดสารพิษคือ คลอโรไฮดรินอาจเป็นไปได้จากปฏิกิริยาของอีพอกไซด์กับคลอไรด์ในสารอนินทรีย์ ดังสมการต่อไปนี้



ethylene oxide Inorganic chloride ethylene chlorohydrin

อย่างไรก็ตามจากรายงานต่าง ๆ ไม่พบว่า คลอโรไฮดรินที่มีปริมาณเล็กน้อยในอาหารจะเป็นอันตรายแต่อย่างใด

การใช้อีพอกไซด์ยังอาจทำลายวิตามินบางชนิด เช่น ไรโบแฟลวิน, ไนอาซินและไพริดอกซีน

เอธีลีนออกไซด์มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อสูงกว่าโพรพีลีนออกไซด์ และมันระเหยง่ายกว่าและติดไฟง่ายกว่าด้วย ดังนั้น ในการใช้เอธีลีนออกไซด์มักจะใช้เป็นก๊าซผสมคือ 10% เอธีลีนออกไซด์และ 90% คาร์บอนไดออกไซด์ ผลิตภัณฑ์อาหารที่จะรมก๊าซจะใส่ในห้องที่ปิดสนิท (chamber) ห้องนี้จะสูบอากาศออกให้เป็นสุญญากาศ และอัดก๊าซผสมระหว่างเอธีลีนและคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไป 30 ปอนด์ ความดันนี้เป็นความเข้มข้นของอีพอกไซด์ ที่ต้องการเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในช่วงเวลาที่เหมาะสม แต่ถ้าใช้โพรพีลีนออกไซด์จะต้องให้ความร้อนด้วยเพื่อให้อีพอกไซด์นี้อยู่ในรูปของก๊าซ

9. สารปฏิชีวนะ (Antibioties)

สารปฏิชีวนะประกอบด้วยกลุ่มสารกันบูดซึ่งสร้างขึ้นในธรรมชาติโดยจุลินทรีย์ สารปฏิชีวนะใช้สำหรับควบคุมเชื้อจุลินทรีย์บางประเภทที่ทำให้เกิดโรคในสัตว์และคนได้ จึงมีผู้พยายามทดลองใช้สารเหล่านี้ในการถนอมอาหาร อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความหวั่นเกรงว่าการใช้สารปฏิชีวนะเป็นประจำจะทำให้เชื้อจุลินทรีย์เกิดการดื้อสารเหล่านี้ได้ ดังนั้นในสหรัฐอเมริกาจึงไม่อนุญาตให้ใช้สารปฏิชีวนะเป็นสารกันบูดในอาหาร ถ้าเกิดเชื้อจุลินทรีย์ที่ดื้อสารปฏิชีวนะชนิดใดจะมีปัญหาถ้าหากสารปฏิชีวนะนั้นถูกนำไปใช้ในทางการแพทย์ด้วย

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

ไก่ เป็นผลิตภัณฑ์ที่เสียง่ายจึงอาจใช้สารปฏิชีวนะเพื่อให้เสียช้าลงและยืดอายุการเก็บในตู้แช่ ความจริงเมื่อหลายปีก่อนในสหรัฐอเมริกากองอาหารและยา (FDA) อนุญาตให้ชุบเนื้อเป็ดไก่ ที่สดในสารละลายของ chlortetracycline และ oxytetracycline ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บ-(shelf life) ของเป็ดและไก่ และสารปฏิชีวนะส่วนที่เหลือ ทำลายได้โดยการต้ม

Nisin ได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการถนอมอาหาร สารปฏิชีวนะตัวนี้เป็นโพลี-เปปไทด์และใช้ต้านเชื้อจุลินทรีย์แกรม-บวก (gram – positive organisms) ได้ดี สารปฏิชีวนะนี้ไม่ใช้ในทางการแพทย์ Nisin ผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์ lactic streptococci และในบางส่วนของโลกใช้ Nisin เป็นสารกันบูดในผลิตภัณฑ์นม เช่น ในเนยแข็งและนมระเหย เป็นต้น Nisin ไม่มีผลในการต้านเชื้อจุลินทรีย์แกรม-ลบ และ Clostridia บางประเภทดื้อต่อสารตัวนี้ อย่างไรก็ตาม Nisin ไม่เป็นพิษเป็นภัยต่อมนุษย์ ไม่มีผลทำให้เกิดการดื้อยาปฏิชีวนะอื่นที่ใช้ในทางการแพทย์ และจะแตกหักและถูกทำลายในลำไส้โดยไม่มีอันตรายต่อผู้บริโภคแต่อย่างใด

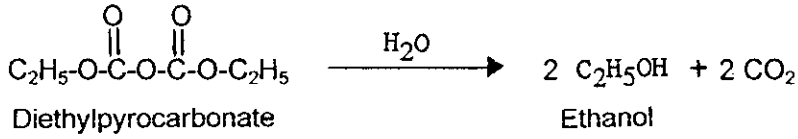
Pimaricin เป็นสารกันเชื้อเห็ดราและมีโครงสร้างประกอบด้วยวงแลกโตน (lactone ring) ต่อกับส่วนที่เป็นน้ำตาลโดยพันธะไกลโคไซด์ (glycoside linkage) ความเป็นพิษของมันมีน้อยและมีผลต่อเชื้อจุลินทรีย์ในความเข้มข้น 10 - 100 ppm เฉพาะบางประเทศเท่านั้นที่อนุญาตให้ใช้สารตัวนี้ได้และการใช้จำกัดเฉพาะใช้หุ้มผิวนอกของเนยแข็งเท่านั้น

10. ไดเอธีลไพโรคาร์บอเนตและไดเมธีลไพโรคาร์บอเนต

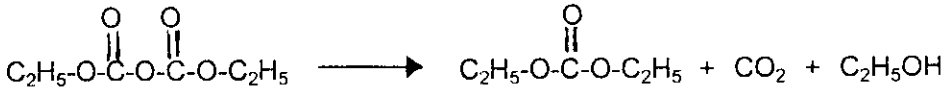
(Diethyl Pyrocarbonate and Dimethyl Pyrocarbonate)

ไดเอธีลไพโรคาร์บอเนตเป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายผลไม้หรือเอสเธอร์ ใช้เป็นสารกันบูดในน้ำผลไม้ ไวน์และเบียร์ ปริมาณที่ใช้คือ 120-300 ppm ในเครื่องดื่มที่เป็นกรด (pH 4.0) ขบวนการนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นการพาสเจอไรส์แบบเย็น (cold pastreurization)ซึ่งสามารถทำลายยีสต์ได้หมดภายใน 60 นาที แต่มีผลน้อนต่อ lactic acid bacteria ซึ่งต้องกำจัดออกโดยขบวนการสเตอริไลเซชัน ปริมาณที่ใช้นี้จะได้ผลต่อเมื่อมีแบกทีเรียอยู่น้อย (~500 ต่อมิลลิลิตร)และ pH ต้องต่ำกว่า 4.0 ค่า pH ต่ำทำให้การสลายตัวของไดเอธีลไพโรคาร์บอเนตช้าลง แต่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น

ไดเอธีลไพโรคาร์บอเนตถูกไฮโดรไลส์ง่ายไปเป็นเอธานอล และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้

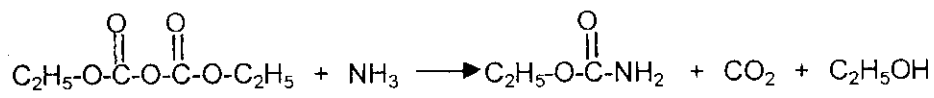


หรือทำปฏิกิริยากับสารในอาหาร เช่น ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล จะเกิดไดเอธิลคาร์บอเนต (diethyl carbonate) เล็กน้อย ดังสมการต่อไปนี้



Diethyl carbonate

ข้อเสียของไดเอธิลไพโรคาร์บอเนต คือ ถ้าเข้มข้นเป็นสารที่ทำให้คัน ในเครื่องดื่มกรด สารนี้จะถูกไฮโดรไลส์ได้หมดภายใน 24 ชั่วโมง จึงไม่ก่อให้เกิดพิษดังกล่าว ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ สารนี้สามารถทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียหรือเกลือของแอมโมเนียเกิดเอธิลยูเรเธน (ethyl urethane)ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังสมการต่อไปนี้



Ethyl urethane

ปฏิกิริยานี้ขึ้นกับpH จากการทดลองโดยใช้ sensitive isotope dilution technique แสดงให้เห็นว่า ในน้ำส้ม เบียร์ และไวน์ที่ใช้ไดเอธิลไพโรคาร์บอเนต 250-500 ppm จะเกิดไดเอธิลยูเรเธน 0.17-2.6 ppm เนื่องจากแอมโมเนียมีอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ การใช้สารกันบูดนี้จึงเป็นการเสี่ยงที่จะมีไดเอธิลยูเรเธนเกิดขึ้นในอาหาร ด้วยเหตุนี้ สารนี้จึงไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ต่อไปในสหรัฐอเมริกา แต่ได้เปลี่ยนมาใช้ไดเมธิลไพโรคาร์บอเนตแทน เพราะไดเมธิลยูเรเธนที่เกิดไม่เป็นสารก่อมะเร็ง

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 และกรดซักซินิก

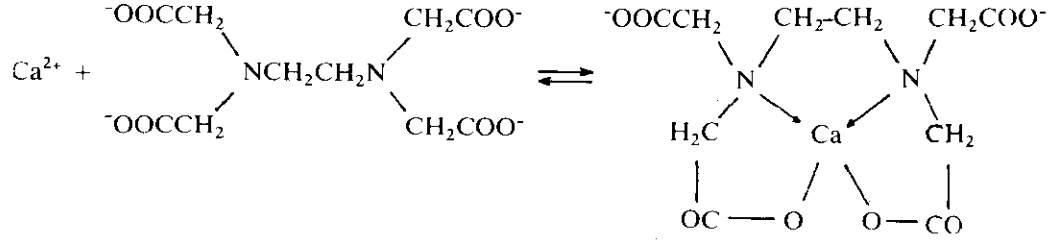
(2) กรดโพลีฟอสฟอริก ได้แก่ อะดีโนซีนไตรฟอสเฟตและไพโรฟอสเฟต

(3) โมเลกุลขนาดยักษ์ (Macromolecules) ได้แก่ พอร์ไฟรีนและโปรตีน เป็นต้น

โลหะหลายตัวที่อยู่ในสภาวะคีเลท (chelated state) ในธรรมชาติ เช่น แมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ ทองแดง สังกะสีและแมงกานีสในเอ็นไซม์หลายชนิด เหล็กในโปรตีนคือ เฟอร์ริทีน

(ferritin) และเหล็กในวงพอร์ไฟรีนของเฮโมโกลบินของเลือด เมื่อโลหะไอออนเหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกมาโดยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสหรือปฏิกิริยาการแตกหัก (degradation reactions) มันจะสามารถทำปฏิกิริยาต่าง ๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี เกิดกลิ่นหืน ความขุ่นและการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของอาหาร สารคีเลทจึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะไอออนเหล่านี้และช่วยทำให้อาหารคงคุณภาพไว้ได้

โมเลกุลหรือไอออนใดที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวสามารถโคออดิเนท (coordinate) หรือเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะไอออน ดังนั้นสารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชันนัล เช่น —OH, —SH, —COOH, $—PO_3H_2$, —C═O, $—NR_2$, —S— และ —O— อยู่ในตำแหน่งที่สัมพันธ์กันและเหมาะสมสามารถจะเกิดคีเรชัน (chelation) กับโลหะในสภาวะที่เหมาะสม กรดซิตริกและอนุพันธ์ของมัน, พวกเกลือฟอสเฟต และเกลือของกรดเอธีลีนไดเอมีนเตตตระอะซิติก (ethylenediamine tetraacetic acid หรือ EDTA) เป็นสารคีเลทที่ใช้มากที่สุดในอาหาร ปกติความสามารถของสารคีเลท (หรือลิแกนด์) ที่จะเกิดวงห้าหรือหกเหลี่ยม (five – or six – membered ring) กับโลหะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดคีเลชัน (chelation) ที่เสถียร ตัวอย่างเช่น EDTA สามารถเกิดคีเลชันที่เสถียรกับแคลเซียมโดยการเกิดพันธะโคออกดิเนทกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของไนโตรเจนและกับอิเล็กตรอนคู่อิสระของแอนไอออนิคออกซิเจนอะตอมของหมู่คาร์บอซิล 2 ใน 4 หมู่ของ EDTA ดังสมการต่อไปนี้



pH ก็มีส่วนในการเกิดโลหะคีเลท การเพิ่ม pH ที่เหมาะสมจะช่วยให้เกิดการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลและทำให้เกิดคีเลชันได้ดีขึ้น เพราะคาร์บอกซิเลตไอออนเกิดคีเลชันได้ดีกว่ากรดคาร์บอกซิลิกที่ไม่แตกตัว

ในบางกรณี หมู่ไฮดรอกซิลอาจแข่งขันกับสารคีเลทในการทำปฏิกิริยากับโลหะไอออน ทำให้สารคีเลทมีประสิทธิภาพในการเกิดคีเลชันน้อยลง

จุดประสงค์ในการใช้สารคีเลทในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ คือ

1. การใช้สารคีเลทเพื่อช่วยทำให้น้ำมันและไขมันคงตัว

สารคีเลทไม่ใช่แอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) แต่ทำหน้าที่เสริมกับแอนติออกซิแดนท์ เช่น ทองแดงหรือเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ สารคีเลทจะคีเลทกับพวกโลหะเหล่านี้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันก็จะเกิดช้าลง อย่างไรก็ตาม สารคีเลทจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อมันละลายได้ในไขมันและน้ำมัน เช่น กรดซิตริกและซิเตรตเอสเทอร์ (citrate esters) (20-200 ppm) ในสารละลายโพรพีลีน-ไกลคอล (propylene glycol) ละลายในไขมันและน้ำมันได้ จึงสามารถใช้กับระบบลิปิดได้ทุกระบบ ส่วน Na_2EDTA และ Na_2Ca – EDTA ซึ่งละลายในไขมันได้น้อยจึงใช้ไม่ได้กับระบบไขมันบริสุทธิ์ อย่างไรก็ตามเกลือ EDTA (จนถึง 500 ppm) ใช้เป็นแอลติออกซิแดนท์ที่ได้ผลในระบบอิมัลชัน (emulsion system) เช่น น้ำเคล้าสลัด (salad dressings), มายองเนส (mayonnaise) และมาร์การีน (margarine) เพราะมันสามารถทำงานได้ดีในวัฏภาคเอเควียส (aqueous phase)

2. การใช้สารคีเลทในอาหารทะเล

โพลีฟอสเฟต (polyphosphates) และ EDTA ใช้ในอาหารทะเลกระป๋อง เพื่อป้องกันการเกิดผลึกคล้ายแก้ว (glassy crystals) คือ สตรูไวท์ (struvite) หรือแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) อาหารทะเลมีแมกนีเซียมไอออนอยู่ปริมาณมากพอควรซึ่งอาจจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมฟอสเฟตระหว่างช่วงการเก็บเกิดเป็นผลึกซึ่งอาจทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นแก้วปนเปื้อนอยู่ สารคีเลทจะเกิดคีเลชันกับแมกนีเซียม และลดการเกิดผลึกคล้ายแก้วดังกล่าว

สารคีเลทยังสามารถใช้ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็ก, ทองแดง และสังกะสีในอาหารทะเลเพื่อป้องกันปฏิกิริยาโดยเฉพาะกับซัลไฟด์ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเปลี่ยนสีได้

3. การใช้สารคีเลทในผัก

การใส่สารคีเลทลงไปในผักก่อนลวก (blanching) สามารถยับยั้งการเปลี่ยนสีที่เหนี่ยวนำโดยโลหะ และสามารถกำจัดแคลเซียมจากสารเพ็กติก (pectic substances) ในผนังเซลล์และช่วยทำให้ผักนิ่ม

4. การใช้สารคีเลทในเครื่องดื่ม

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

5. การใช้สารคีเวทเพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพของวิตามินในอาหาร

วิตามินที่มีอยู่ตามธรรมชาติในอาหารและที่เติมลงไปในผลิตภัณฑ์อาหารมักจะสูญเสียไปได้ง่ายระหว่างขบวนการผลิตและระหว่างการเก็บ ปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินคือ โลหะ ดังนั้น การใส่สารคีเลทซึ่งจะเกิดคีเลชันกับโลหะเหล่านี้ทำให้วิตามินเหล่านี้ยังคงอยู่ในอาหารไม่ถูกทำลายไป

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

9.3 สารฟอกสีแป้ง (Flour bleaching) และสารช่วยปรับคุณภาพของขนมปัง (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 เบนโซอิลเปอออกไซด์ [benzoyl-peroxide. $[(C_6H_5CO)_2O_2]$

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

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

ก๊าซที่ใส่เพื่อออกซิไดส์แป้งมีผลในการฟอกสีแป้งแตกต่างกัน แต่มีผลดีต่อการปรับคุณภาพของผงฟู คลอรีนไดออกไซด์ฟอกสีแป้งได้เพียงเล็กน้อยแต่ทำให้โดมีคุณภาพดี ก๊าซคลอรีนซึ่งมักจะประกอบด้วยไนโตรซิลคลอรีนปริมาณเล็กน้อย เป็นสารที่ใช้กันแพร่หลายในการฟอกสีและปรับคุณภาพของแป้งทำขนมเค้ก กรดไฮโดรคลอริกที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคลอรีนมีผลทำให้ค่า pH ต่ำลงซึ่งจะช่วยให้คุณสมบัติการอบ (baking properties)ขนมเค้กดีขึ้น ไนโตรเจนเตตรอกไซด์ (N_2O_4) และออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งเกิดโดยให้อากาศผ่านประกายไฟฟ้า (electric arc) ก๊าซเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการฟอกสีปานกลาง แต่จะทำให้แป้งมีคุณสมบัติที่ดีในการอบ

CM 480

3. สารออกซิไดส์ที่ช่วยปรับคุณภาพของโดเพียงอย่างเดียวได้แก่ โพแทสเซียมโบรเมท ($KBrO_3$), โพแทสเซียมไอโอเดท (KIO_3), แคลเซียมไดโอเดท [$Ca(IO_3)_2$] และแคลเซียมเปอร์ออกไซด์ (CaO_2)

สารออกซิไดส์ที่ใช้ปรับคุณภาพของโดอาจใส่ลงไปในแป้ง (10 - 40 ppm) ที่โรงสี หรือบ่อยครั้งอาจผสมเข้ากับส่วนผสมที่ใช้ปรับสภาพของโด (dough conditioner) ซึ่งประกอบด้วยเกลืออนินทรีย์เป็นจำนวนมากแล้วจึงใส่ลงในแป้งที่โรงงานทำขนมปัง

โพแทสเซียมโบรเมทเป็นสารออกซิไดส์ที่ใช้กันแพร่หลายในการปรับคุณภาพของโด มันจะไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาจนกว่าการหมักของยีสต์ (yeast fermentation) จะทำให้ pH ของโดต่ำลงเพียงพอที่จะทำให้มันว่องไวขึ้น ผลก็คือ มันจะเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างช้า และช่วยเพิ่มปริมาตรของขนมปัง, ปรับความสมมาตรของก้อนขนมปัง และปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมปังให้ดีขึ้น

เกลืออนินทรีย์ที่ใส่ในโด ได้แก่ แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl), แอมโมเนียมซัลเฟต [$(NH_4)_2SO_4$], แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$), แอมโมเนียมฟอสเฟต [$(NH_3)_3PO_4$], และแคลเซียม-ฟอสเฟต ($CaHPO_4$) ซึ่งจะช่วยในการเจริญเติบโตของยีสต์และช่วยควบคุม pH ด้วย เกลือ-แอมโมเนียมเป็นแหล่งของไนโตรเจนซึ่งใช้ในการเจริญเติบโตของยีสต์ เกลือฟอสเฟตช่วยปรับคุณภาพของโดโดยเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ทำให้ pH ต่ำกว่าปกติเล็กน้อยซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากถ้าหากน้ำที่ใช้อยู่มีฤทธิ์เป็นด่าง

สารอื่น ๆ ที่ใช้ปรับคุณภาพของโดในโรงงานทำขนมปังคือ แคลเซียม สเตียริล-2-แลกติเลท [$(C_{17}H_{35}COOC(CH_3)HCOOC(CH_3)HCOO)_2Ca$] และสารทำให้เกิดอิมัลชัน (emulsifier) อื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกันจะต้องใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย (0.5%) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของโด และเพิ่มปริมาตรของขนมปังที่อบแล้ว ไฮโดรคอลลอยด์กัม (Hydrocolloid gums) ที่ใช้ในโรงงานทำขนมปังใช้เพื่อปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำของโด และช่วยปรับปรุงคุณภาพของโดและผลิตภัณฑ์ขนมอบ ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของโด คือ คาร์รากีแนน (carrageenan), คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose), โลคัสต์บีนกัม (locust bean gum) และเมธิลเซลลูโลส (methyl cellulose) เป็นต้น เมธิลเซลลูโลสและคาร์บอกซี-เมธิลเซลลูโลสทำให้ขนมปังเสียช้าลง และยังช่วยทำให้การระเหยของน้ำมาอยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์ขนมอบช้าลงในระหว่างที่เก็บ คาร์รากีแนน (0.1%) ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบนิ่มไม่แห้งและไม่แตกเป็นเศษเล็ก ๆ ไฮโดรคอลลอยด์หลายตัว เช่น คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสที่มีความ

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 $[CH_3(CH_2)_{12}COOH]$, กรดพาล์มิติก $[CH_3(CH_2)_{14}COOH]$ และกรดสเตียริก $[CH_3(CH_2)_{16}COOH]$ 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, เกลือแกง, หัวหอมและกระเทียมผง (garlic salt) ตลอดจนส่วนประกอบของอาหารอื่น 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 ปริมาณที่ใช้ก็คล้ายคลึงกับสารแอนติเค้กกิงอื่น ๆ เช่น โซเดียมซิลิโคอะลูมิเนท 1% ใช้ใส่ในน้ำตาลที่เป็นผง, แคลเซียมซิลิเคทใช้ป้องกันการจับเป็นก้อนของแป้งทำขนมอบ (ใช้ได้ถึง 5%), เกลือ (ใช้ได้ถึง 2%) และอาหารอื่น ๆ ผงแคลเซียมซิลิเคทดูดซึมน้ำในปริมาณมากถึง $2\frac{1}{2}$ เท่าของน้ำหนักของมันแต่มันก็ยังสามารถไหลได้อย่างอิสระ แคลเซียมซิลิเคทนอกจากจะดูดน้ำแล้วยังดูดน้ำมันและสารอินทรีย์ที่ไม่โพลาอื่น ๆ ได้อีก ดังนั้นมันจึงใช้ใส่ในเครื่องเทศต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันระเหยอิสระ (free essential oils) ได้ ปริมาณของสารแอนติเค้กกิงที่ใส่ในอาหารในระดับนี้ไม่เป็นพิษเป็นภัย และบางชนิดอาจถูกเมตาโบไลส์ได้ (เช่น พวกสเตียเรท)

9.5 สารที่ช่วยให้เนื้อแน่นและกรอบ (Firming and Crisping agents)

ความร้อนและการแช่แข็งมักจะทำให้ผักอ่อนนุ่มหรือเละเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ การที่เนื้อเยื่อจะยังคงดีสมบูรณ์ขึ้นกับการรักษาเซลล์ไว้และมีพันธะที่มั่นคงระหว่างองค์ประกอบของผนังเซลล์ สารเพ็กติก (pectic substances) มีส่วนช่วยให้โครงสร้างของผักอยู่ตัวโดยการเกิดครอสลิงค์ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิกที่อิสระของมันกับโพลีเวเลนต์-แคทไอออน (polyvalent cations) แม้ว่าโพลีเวเลนต์แคทไอออนจะมีอยู่ในธรรมชาติในผักและผลไม้ แต่นิยมแช่ผักและผลไม้ในสารละลายเกลือแคลเซียม (0.1 - 0.25%) เพื่อให้ผักและผลไม้มีเนื้อแน่นและกรอบเพราะวิธีนี้จะช่วยเพิ่มครอสลิงค์ และการเกิดแคลเซียมเพ็กติเนท (calcium pectinate) และแคลเซียมเพ็กเตต (calcium pectate) ที่ไม่ละลายน้ำ สารเหล่านี้ทำให้โครงสร้างของเซลล์มั่นคง และช่วยค้ำจุนเนื้อเยื่อทำให้อยู่ตัวแม้จะผ่านขบวนการความร้อน ผลไม้ เช่น มะเขือเทศ เบอร์รี่ และแอปเปิ้ลตัดเป็นแว่น ๆ ก่อนจะบรรจุกระป๋องหรือแช่แข็ง จะแช่ในเกลือแคลเซียมก่อน เกลือที่ใช้มากที่สุดคือ แคลเซียมคลอไรด์, แคลเซียมซิเตรต, แคลเซียม-ซัลเฟต, แคลเซียมแลกเตตและโมโนแคลเซียมฟอสเฟต เกลือแคลเซียมส่วนใหญ่ละลายน้ำได้น้อยและบางชนิดยังมีรสขมด้วย

เกลือของสารส้มซึ่งเป็นกรด (acidic alum salts) เช่น โซเดียมอะลูมินัมซัลเฟต [$NaAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$], โพแทสเซียมอะลูมินัมซัลเฟต, แอมโมเนียมอะลูมินัมซัลเฟต, และอะลูมินัมซัล-เฟต [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$] ใช้ใส่ในแตงกวาดองเพื่อให้มันกรอบและเนื้อแน่น ไตรเวเลนต์อะลูมินัมไอออนช่วยให้ผลไม้และผักกรอบโดยการเกิดสารเชิงซ้อนกับสารเพ็กติก อย่างไรก็ตามสิ่งที่ค้นพบเมื่อไม่นานนี้คือ อะลูมินัมซัลเฟตทำให้ของดอง (pickles) ที่บรรจุใหม่และพาสเจอไรส์แล้วมี

เนื้อนุ่มขึ้น จึงไม่ควรใส่สารนี้ในของหมักดอง การที่อะลูมินัมซัลเฟตทำให้อาหารมีเนื้อนุ่มขึ้นยังไม่ทราบเหตุผลที่แน่นอน แต่การมีอะลูมินัมซัลเฟตอยู่ แทนที่จะทำให้อาหารมีเนื้อแน่นกลับทำให้อาหารมีเนื้อนุ่มขึ้น เว้นเสียแต่ว่าจะมีการปรับ pH ให้ใกล้ 3.8 โดยใช้กรดน้ำส้มและกรดแลกติก

การรักษาความแน่นเนื้อและเนื้อสัมผัสที่ดีของผักและผลไม้สามารถจะทำได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้วัตถุเจือปนโดยตรง เช่น เอ็นไซม์เพ็กตินเมธีลเอสเทอเรส (pectin methylesterase) จะคงมีฤทธิ์อยู่โดยการลวกผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ (70 - 82°ซ เป็นเวลา 3 - 15 นาที) แทนที่จะลวกที่อุณหภูมิปกติ (88 - 100°ซ เป็นเวลา 3 นาที) ซึ่งจะทำลายเอ็นไซม์ได้ เอ็นไซม์เพ็กติน-เมธีลเอสเทอเรสไฮโดรไลส์หมู่เมธอกซี (methoxyl group) จากหมู่คาร์บอกซิลของเพ็กตินเกิดเป็นกรดเพ็กตินิกและกรดเพ็กติก เพ็กตินมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระอยู่น้อย ทำให้มันละลายน้ำได้มากและอิสระที่จะเคลื่อนออกห่างจากผนังเซลล์ ในทางตรงข้าม กรดเพ็กตินิกและกรดเพ็กติกมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระอยู่มากและมันละลายน้ำได้น้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีแคลเซียมไอออนอยู่ ผลก็คือมันจะยังคงอยู่ในผนังเซลล์ระหว่างที่ต้มผักและผลไม้ ทำให้เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้แน่นและกรอบกว่า เราสามารถทำให้ผักและผลไม้มีเนื้อแน่นขึ้นโดยการแอกติเวท (activaration) เอ็นไซม์เพ็กติน เมธีลเอสเทอเรส เอ็นไซม์เพ็กติน เมธีลเอสเทอเรสพบในถั่วปากอ้า, มันฝรั่ง, ดอกกะหล่ำและเชอร์รี่เปรี้ยว (sour cherries) การเติมแคลเซียมไอออนพร้อมกับการแอกติเวท-เอ็นไซม์ จะทำให้ผักและผลไม้มีเนื้อแน่นยิ่งขึ้น

9.6 สารที่ทำให้ใส (Clarifying agents)

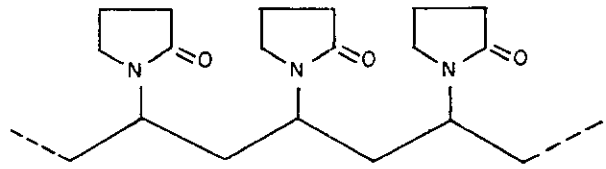
ในเบียร์ ไวน์และน้ำผลไม้จำนวนมากจะมีลักษณะขุ่นและเสียเนื่องจากถูกออก-ซิไดส์เมื่อตั้งทิ้งไว้ สารฟีนอลที่เป็นตัวการที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เหล่านี้ ได้แก่ แอนโธไซยานิน, แฟลโวนอยด์, ลิวโคแอนโธไซยาโนเจนและแทนนิน โปรตีนและสารเพ็กติกมีส่วนร่วมกับสารโพลี-ฟีนอล (polyphenols) ในการทำให้เกิดสารพวกคอลลอยด์ที่ทำให้ขุ่น การใช้เอ็นไซม์เฉพาะบางตัวเพื่อไฮโดรไลส์โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและสารเพ็กติกบางส่วน จะลดแนวโน้มที่จะเกิดความขุ่น แต่ในบางกรณี เอ็นไซม์ที่มีมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียแก่คุณสมบัติอื่น เช่น การเกิดฟองของเบียร์

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

ไอออน เบนโทไนท์ที่แขวนลอยในสารละลายเอเควียสเป็นซิลิเคท (silicate) ที่มีลักษณะเป็นแผ่นเล็ก ๆ (small platelets) และไม่ละลายน้ำ แผ่นเล็ก ๆ ของเบนโทไนท์มีประจุลบและมีพื้นที่ผิวมาก ประมาณ 750 ตารางเมตรต่อกรัม เบนโทไนท์เป็นตัวดูด ซับที่มักจะเลือกดูดซับแต่โปรตีน และการดูดซับเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างประจุบวกของโปรตีนและประจุลบของซิลิเคท อนุภาคของเบนโทไนท์ที่ปกคลุมด้วย โปรตีนที่ถูกดูดซับจะดูดซับสารพวกแทนนินอยู่บนโปรตีนหรือพร้อมกับโปรตีน เบนโทไนท์ใช้สำหรับทำให้ไวน์ใสโดยป้องกันการตกตะกอนของโปรตีน ปริมาณที่ใช้เพียงไม่กี่ปอนด์ต่อ 1,000 แกลลอน ปกติจะลดปริมาณโปรตีนของไวน์จาก 50 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตรไปเป็นปริมาณคงที่คือน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เบนโทไนท์จะทำให้ตกตะกอนที่เนื้อแน่นและมักจะใส่ตอนกรองครั้งสุดท้ายเพื่อกำจัดพวกคอลลอยด์ที่ตกตะกอน

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

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



polyvinylpyrrolidone (PVP)

ทำให้เกิดฟองซึ่งเป็นผลเสีย แต่การเลือกกำจัดพวกสารโพลีฟีนอลออกไป จะช่วยให้เบียร์คงตัว มีการใช้โพลีเอมีด (ไนลอน 66) ในระยะแรก ๆ แต่ตัวที่ให้ประสิทธิผลดีกว่าคือ โพลีไวนิลไพร์-โรลิโดนที่เกิดครอสลิงค์ (crosslinked polyvinylpyrrolidone) โดยการใช้ PVP ที่ไม่ละลาย 3 - 5 ปอนด์ต่อ 100 บาร์เรล (barrels) ของเบียร์จะช่วยควบคุมความขุ่นได้และทำให้เบียร์คงทนต่อการเก็บ PVP จะใส่หลังจากหมักและก่อนหน้าที่จะกรอง มันจะดูดซับสารโพลีฟีนอลอย่างรวดเร็ว สารที่ดูดซับแทนนินจะช่วยกำจัดโปรตีนบางส่วนพร้อมกับสารฟีนอลด้วย

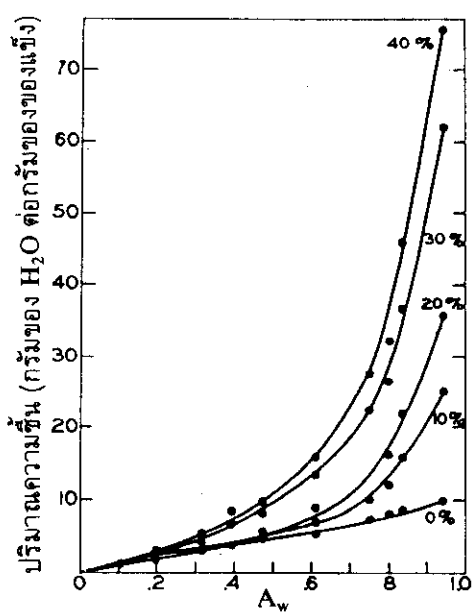
นอกจากนี้พวกถ่าน (activated charcoal) สามารถใช้ดูดซับโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น พวกสารที่ให้กลิ่นรสและรงควัตถุพร้อม ๆ กับสารประกอบขนาดใหญ่ที่ทำให้ขุ่น

9.7 โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohols)

โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์เป็นสารพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันนัล (functional group) เป็นหมู่ไฮดรอกซิล สารพวกนี้ละลายน้ำได้ดี และดูดความชื้นได้ง่าย ถ้าสารเหล่านี้ละลายน้ำจนมีความเข้มข้นสูง จะมีความหนืดปานกลาง สารโพลีไฮดริกใช้เป็นสารที่ให้ความชื้นแก่อาหาร เรียกว่า ฮิว เมกแตนต์ (humectants) โครงสร้างของโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่ ทำให้มันสามารถจับกับน้ำได้ดี และคุณสมบัตินี้เองที่ทำให้มันใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ควบคุมความหนืดและเนื้อสัมผัสของอาหาร ช่วยรักษาความชื้นของอาหาร ทำให้อาหารไม่แห้งและมีเนื้อนุ่มขึ้น แม้ว่าจะมีสารโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์อยู่มาก แต่มีเพียงบางชนิดที่มีความสำคัญในทางอาหาร ซึ่งได้แก่ โพรพีลีนไกลคอล (propylene glycol, $CH_2OH—CHOH—CH_3$), กลีเซอรอล ($CH_2OH—CHOH—CH_2OH$), ซอร์-บิทอล (sorbitol) และแมนนิทอล (mannitol) [สาร 2 ตัวนี้เป็นเอพิเมอร์ (epimers) ของ $CH_2OH—CHOH—CHOH—CHOH—CHOH—CH_2OH$] โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่เกิดในธรรมชาติ ยกเว้นโพรพีลีนไกลคอลและไซลิทอล (xylitol)

อาหารที่มีความชื้นปานกลาง (intermediate moisture หรือ IM foods) เช่น ขนมปัง, แยม, เยลลี่, เค้ก เป็นต้น มีความชื้นประมาณ 15-30% อาหารเหล่านี้เก็บไว้ได้นานพอควรโดยไม่ต้องแช่เย็น แอกติวิตีของน้ำสำหรับอาหารที่มีความชื้นปานกลางคือ 0.7-0.85 อาหารที่มีแอกติวิตีของน้ำเท่ากับ 0.85 นี้ พวกราและยีสต์ยังคงเจริญเติบโตได้และทำให้อาหารเสียได้ การผลิตอาหารเหล่านี้ต้องใช้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อและต้องใส่สารกันบูดด้วย วิธีผลิตอาหารประเภทนี้โดยไม่จำเป็นต้องใส่สารเคมี เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ก็คือ การใส่สารพวกฮิวเมกแตนท์เพื่อลดแอกติวิตีของน้ำ โดยที่ไม่ต้องลดปริมาณของน้ำในอาหาร รูปที่ 9.1 แสดงประสิทธิภาพของการใช้โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ คือ กลีเซอรอลในระบบโมเดลของเซลลูโลส (cellulose model system) จากรูปจะเห็นได้ว่า ถ้าใช้กลีเซอรอล 10% แอกติวิตีของน้ำเท่ากับ 0.9 จะมีปริมาณน้ำในอาหารเท่ากับ 25 กรัมต่อ 100 กรัมของของแข็งเท่านั้น แต่ถ้าใช้กลีเซอรอล 40% แอกติวิตีของน้ำเท่ากับ 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

โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ที่ใช้มากที่สุดคือ กลีเซอรอลซึ่งได้จากขบวนการซาพอนิฟิเคชันของไขมัน (saponification of fat) และยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหมักผลไม้เพื่อทำไวน์ (wine) และจากการทำเบียร์

ซอร์บิทอลซึ่งเกิดในธรรมชาติในผลไม้หลายชนิด เช่น สาลี่ (pears), แอปเปิ้ล, ลูกพรุน (prunes), เชอร์รี่และพีช (peach) ซอร์บิทอลนอกจากจะมีคุณสมบัติเป็นฮิวเมกแตนท์แล้วยังมีรสหวานด้วย ใช้ใส่ในน้ำเชื่อมแก้ไอ (cough syrup), น้ำยาล้างปากและยาสีฟัน ซอร์บิทอลไม่ถูกหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ จึงไม่ทำให้ฟันผุ ซอร์บิทอลยังใช้ใส่ในขนมหวานที่ปราศจากน้ำตาล (sugar – free candies) (ซอร์บิทอล 40%) อาหารที่ใส่ซอร์บิทอลเหมาะสำหรับคนเป็นโรคเบาหวาน เพราะซอร์บิทอลส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นฟรุคโตส โดยเอ็นไซม์จากตับในร่างกาย และฟรุคโตสไม่ขึ้นกับอินซูลิน (insulin) สำหรับเมตาโบลิซึมของมัน

แมนนิทอลเป็นสารที่เกิดในธรรมชาติในพืชหลายชนิด ในสาหร่ายและรา ใช้ใส่ในหมากฝรั่ง (chewing gum) พวกยาและอาหารบางชนิด

ไซลิทอลเกิดในธรรมชาติในผลไม้และผักหลายชนิด มันเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในคนและสัตว์ ไซลิทอลให้รสหวานและยังให้รสเย็นด้วย มันไม่ถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์เป็นสารที่มีความคงตัว ใช้ใส่ในหมากฝรั่งและไม่ทำให้ฟันผุ

9.8 เอ็นไซม์

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

การใช้เอ็นไซม์เป็นวัตถุเจือปนไม่มีปัญหาแต่อย่างใด เพราะเอ็นไซม์เป็นสารที่เกิดในธรรมชาติ ไม่เป็นพิษ และเมื่อการใช้ประโยชน์จากเอ็นไซม์เสร็จสมบูรณ์แล้ว สามารถจะทำลายได้ เอ็นไซม์ที่ใช้ประโยชน์ได้ในทางอาหาร คือ

1. **อะมิเลส** (Amylase) เป็นเอ็นไซม์ที่ใช้ร่วมกับกรด เพื่อไฮโดรไลส์แป้งในการผลิตน้ำเชื่อม น้ำตาลและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

2. อินเวอร์เทส (Invertase) เป็นเอ็นไซม์ที่ทำให้น้ำตาลซูโค่รสแตกตัวเป็นกลูโคสและเลวูโลส (levulose) เอ็นไซม์อินเวอร์เทสใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ป้องกันการตกผลึกของซูโครส ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับการผลิตสุรา (liquors) ถ้าปราศจากอินเวอร์เทส สุราจะมีลักษณะขุ่น

3. เพ็กติเนส (Pectinase) เป็นเอ็นไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกสลายของเพ็กติน ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชโดยเฉพาะผลไม้ เพ็กตินช่วยทำให้อนุภาคที่แพร่กระจายสามารถแขวนลอยอยู่ได้ดังเช่น ในน้ำมะเขือเทศ เพื่อให้สารสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำมะเขือเทศ ไม่ตกตะกอนลงมา เพ็กติเนสในมะเขือเทศจึงต้องถูกทำลายโดยความร้อนก่อน ในทางตรงข้ามการผลิตน้ำแอปเปิ้ลต้องการสารละลายที่ใส จึงมีการใส่เพ็กติเนสเพื่อย่อยสลายเพ็กตินทำให้สารต่าง ๆ ที่แขวนลอยอยู่ตกตะกอนลงมา ซึ่งเมื่อแยกออกแล้วจะได้น้ำแอปเปิ้ลที่ใส การผลิตเยลลี่ที่ใสจากผลไม้ ก่อนอื่นจะต้องใส่เอ็นไซม์เพ็กติเนสเพื่อทำลายเพ็กตินในผลไม้ให้ได้น้ำผลไม้ที่ใสเสียก่อน เมื่อได้น้ำผลไม้ที่ใสแล้ว จึงใส่เพ็กตินลงไปเพื่อทำให้น้ำผลไม้ข้นขึ้นเป็นเยลลี่ เอ็นไซม์เพ็กติเนสที่ใส่ในตอนแรก จะต้องทำลายฤทธิ์เสียก่อน มิฉะนั้นเอ็นไซม์นี้อาจจะย่อยสลายเพ็กตินที่ใส่เข้าไปในตอนหลัง เพื่อทำให้น้ำผลไม้ข้น

เซลลูเลส (Cellulase) เป็นเอ็นไซม์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ เซลลูโลสจะไม่ถูกย่อยในร่างกายคนและสัตว์หลายชนิด สัตว์เคี้ยวเอื้องมีเซลลูโลสในกระเพาะซึ่งสามารถย่อยเซลลูโลสได้ เซลลูเลสใช้ทำให้ผักและพืชที่มีเส้นใยมากมีเนื้อนุ่มขึ้น ใช้มากในการผลิตอาหารสัตว์

โปรตีเอส (Protease) เป็นเอ็นไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีน โพลีเปปไทด์และเปปไทด์ มีเอ็นไซม์โปรตีเอสอยู่มากมายหลายชนิดที่จะทำให้โมเลกุลของโปรตีนแตกออกที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ซึ่งทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ กัน โปรตีเอสใช้ในการทำซีอิ้วจากการหมักถั่วเหลือง ใช้ทำเนยแข็งจากนมและโด(dough)ของขนมปังจากแป้ง นอกจากนี้ยังใช้ใส่ในเบียร์เพื่อให้เบียร์ใสโดยการไฮโดรไลส์โปรตีนในเบียร์แล้วแยกออกไป และยังใช้ทำให้เนื้อสัตว์นุ่ม

กลูโคสออกซิเดส (glucose oxidase) เป็นเอ็นไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลูโคสไปเป็นกรดกลูโคนิก ปฏิกิริยานี้สำคัญต่อการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร เอ็นไซม์นี้ใช้ใส่ในผลิตภัณฑ์ไข่โดยเฉพาะไข่ขาวก่อนหน้าที่จะทำไข่ผง เอ็นไซม์นี้ใช้เพื่อกำจัดกลูโคสออกจากไข่ เพื่อมิให้ไข่ผงเกิดสีน้ำตาลในช่วงที่เก็บไว้ ในบางกรณีเอ็นไซม์นี้อาจใส่เพื่อกำจัดออกซิเจนที่มีอยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพของอาหารเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา

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

แคทาเลส (Catalase) เป็นเอ็นไซม์ซึ่งย่อยสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ต้องการโดยการเปลี่ยนเป็นน้ำและออกซิเจน แคทาเลสใช้ใส่เพื่อทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ที่ไม่ต้องการ เช่น การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สำหรับฟอกสีแล้ว จะต้องกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกจากระบบ และการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อถนอมนมที่ไม่ได้ผ่านการพาสเจอไรส์ หรือการเก็บนมในแหล่งที่ไม่มีตู้แช่ และในการผลิตเนยแข็งจากนมที่มิได้ผ่านการพาสเจอไรส์ สามารถใช้แคทาเลสกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ต้องการออก

9.9 แอนติออกซิแดนท์ (Antioxidants)

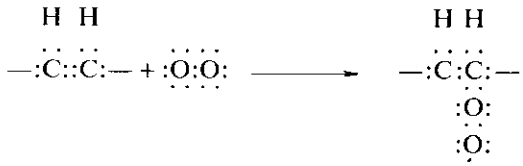
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation – reduction reactions) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั่วไปในระบบทางชีววิทยาและในอาหาร ปฏิกิริยาออกซิเดชันบางประเภทก็มีประโยชน์ต่ออาหาร บางประเภทก็ทำให้เกิดความเสียหาย เช่น ออกซิเดชันที่ทำให้เกิดการแตกสลายของวิตามิน รงควัตถุต่าง ๆ และลิปิดซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่ดี การควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชันอาจใช้ขบวนการควบคุม หรือใช้เทคนิคในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งกำจัดออกซิเจนออกจากระบบ หรือโดยการเติมสารเคมีที่ช่วยกำจัดสารที่ทำให้เกิดออกซิเดชัน

แอนติออกซิแดนท์ คือ สารที่ใช้ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยไม่คำนึงถึงว่าจะเกิดกลไกแบบใด ตัวอย่างเช่น กรดแอสกอร์บิกก็เป็นแอนติออกซิเดชันซึ่งใช้ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลบนผิวของผลไม้และผัก (บทที่ 5) ในกรณีนี้ กรดแอสกอร์บิกทำหน้าที่เป็นสารรีดิวส์ (reducing agent) โดยการย้ายไฮโดรเจนอะตอมกลับไปยังควิโนน (quinones) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ในระบบอื่น กรดแอสกอร์บิกยังทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และยังเป็นตัวกำจัดออกซิเจนด้วย ในทำนองเดียวกัน กรดซัลฟูรัสและซัลไฟต์จะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายในระบบอาหาร ไปเป็นซัลโฟเนตและซัลเฟต และทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ที่มีประสิทธิภาพดีในอาหารประเภทผลไม้แห้ง

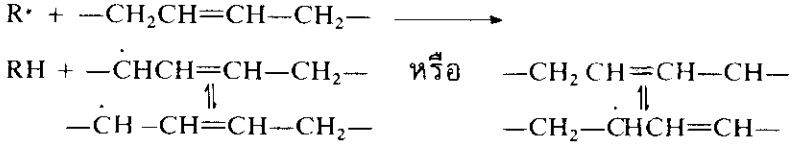
เมื่อเก็บไขมันและน้ำมันไว้นาน ๆ จะเกิดกลิ่นเหม็นหืน (rancidity) เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้น,

ปริมาณของอากาศที่สัมผัสกับไขมันหรือน้ำมัน, แสงอัลตราไวโอเลต, โลหะ เช่น เหล็กหรือทองแดงและชนิดของไขมันและน้ำมัน

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

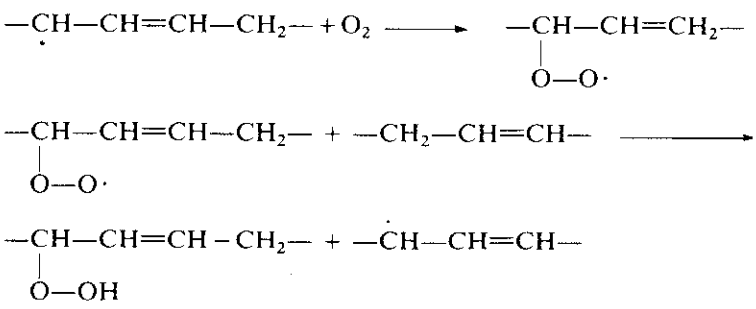


เรดิกัลอิสระอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่ติดกับพันธะคู่ เพื่อเกิดแรดิกัลอิสระอีก



เนื่องจากแรดิกัลอิสระซึ่งเกิดมี 2 รูป แต่ละรูปมีเรโซแนนซ์ไฮบริด (resonance hybrid) ได้ 2 รูป จึงมีอยู่ 4 ตำแหน่งบนแรดิกัลอิสระ ที่โมเลกุลของออกซิเจนสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้

ถ้าไม่มีแอนติออกซิแดนท์ ขั้นโพรพาเกชันจะดำเนินต่อไปเป็น 2 ขั้นตอน ซึ่งจะเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และเกิดแรดิกัลอิสระขึ้นใหม่ ดังตัวอย่างสมการต่อไปนี้ :



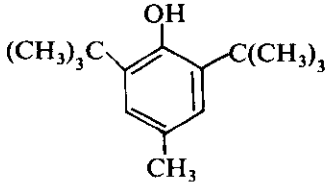
ปฏิกิริยาเช่นเดียวกันนี้ จะเกิดกับแรดิกัลอิสระรูปอื่น ๆ แรดิกัลที่เกิดใหม่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอีก และเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์และแรดิกัลอิสระขึ้นใหม่ เป็นเช่นนี้เรื่อยไป ปฏิกิริยาที่เกิดจึงเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งจะยุติได้ก็ต่อเมื่อแรดิกัลอิสระมาทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันโดยบังเอิญเท่านั้น และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นไม่เสถียร จะแตกสลายไป

เป็นสารประกอบคาร์บอนิล เช่น อัลดิไฮด์หรือคีโตน ตัวอย่างการแตกสลายของกรดโอเลอิก (oleic acid) เป็นดังนี้

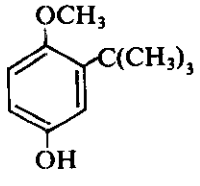
$$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7COOH + O_2 \longrightarrow CH_3(CH_2)_7CHO + OHC(CH_2)_7COOH$$

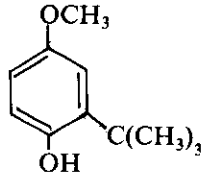
สารประกอบคาร์บอนิลเหล่านี้ เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี วิธีป้องกันการเกิดกลิ่นหืนทำได้โดยการเก็บน้ำมันและไขมันในภาชนะทึบแสง หรือในขวดสีชาซึ่งปิดสนิทและเก็บไว้ในที่เย็นและแห้ง ถ้าหากใส่แอนติออกซิแดนท์ด้วย จะช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ดี อย่างไรก็ตาม ถ้าเก็บน้ำมันและไขมันในขวดใสธรรมดา และเก็บที่อุณหภูมิห้องโดยไม่มีการควบคุมความชื้น แม้จะใส่แอนติออกซิแดนท์ในน้ำมันและไขมัน ก็ไม่อาจป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นหืน แต่จะกลับทำให้หืนเร็วขึ้น

แอนติออกซิแดนท์ที่เป็นสารธรรมชาติ ได้แก่ tocopherols, coniferyl alcohol (พบในพืช), กรดแอสกอร์บิก, กรดซิตริก, guiaconic acid และ guiacic 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 Nordihydroguairetic acid (NDGA) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างคล้ายกับองค์ประกอบบางตัวของ gum guaiac เป็นแอนติออกซิแดนท์ที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ยังมีข้อสงสัยเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้สารนี้โดยตรงในอาหาร สารฟีนอลเหล่านี้ใช้เป็นตัวยุติปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยจะช่วยกำจัดแรดิกัลอิสระที่เกิดขึ้น ด้วยการเข้าร่วมในปฏิกิริยาโดยมีการเกิดแรดิกัลอิสระที่เสถียรโดยเรโซแนนซ์ (resonance – stabilized free – radical forms)

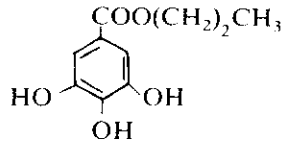


Butylated hydroxytoluene (BHT)
(2, 6 – di – t – butyl – 4 – methylphenol)

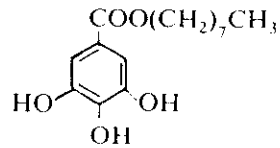




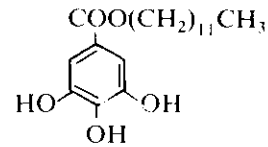
Butylated hydroxyanisole (BHA)
(สารผสมของ 2 – และ 3 – t – butyl – 4 – hydroxyanisole)



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. กรดอินทรีย์หลายชนิดเป็นสารคีเลท (chelating agents) ที่ดี โดยสามารถใช้กำจัดออกซิเจนและโลหะไอออน ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร กรดเหล่านี้ได้แก่ กรดซิตริก, กรดทาร์ทาริก, กรดออกซาลิกและกรดซักซินิก

4. ในการทำแยมและเยลลี่ กรดช่วยปรับ pH ให้อยู่ในช่วงที่พอเหมาะ ซึ่งจะช่วยให้เกิดเจล (gel) ได้ดีขึ้น

5. ในขบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นมหลายชนิด ต้องใช้กรดเพื่อตกตะกอนโปรตีนในนม เช่น ขบวนการผลิตครีมเปรี้ยวและเนยแข็ง ในขบวนการผลิตครีมเปรี้ยว กรดแลกติกซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ เช่น สเตรปโตคอกคัส (streptococcus) และสเตรปโตบาซิลลัส (Streptobacillus)

ช่วยลด pH จนใกล้จุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) ของเคซีนในนม ซึ่งจะทำให้เคซีนตกตะกอน ส่วนการทำเนยแข็ง การตกตะกอนโปรตีน อาจใช้วิธีเติมเอ็นไซม์เรนเนทและกรด เช่น กรดซิตริกและกรดไฮโดรคลอริก รายละเอียดเกี่ยวกับขบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นมเหล่านี้อยู่ในบทที่ 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 กรดนี้นอกจากจะช่วยเพิ่มกลิ่นรสให้แก่ผักดองและผลไม้ดองแล้ว 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 ($HOOC—CH=CH—COOH$), กรดซักซินิก ($HOOC—CH_2—CH_2—COOH$) และกรดทาร์ทาริก ($HOOC—CH(OH)—CH(OH)—COOH$) กรดฟอสฟอริกเป็นกรดอนินทรีย์ที่ใช้ในน้ำอัดลม (carbonated beverages) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโคล่าและรูทเบียร์ (root beer) กรดอนินทรีย์ 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) และช่วยในการกระจายตัวของโปรตีน เกลือของด่างยังทำปฏิกิริยากับโปรตีนในเนยแข็ง เพื่อให้เกิดอิมัลชันได้ดีขึ้น และเพิ่มความสามารถของโปรตีนในการจับกับน้ำ

2. เกลือคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตเป็นสารประกอบสำคัญของสารที่ทำให้ขึ้นฟู เพราะมันสามารถให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3. ด่างใช้ในอาหารเพื่อเพิ่มสีและกลิ่นรส ผลโอลีฟ (olive) ที่สุก ถ้าแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.25-2.0%) จะช่วยกำจัดรสขมและช่วยให้สีเข้มขึ้น ขนมปังเค็ม (Pretzels) ที่จุ่มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25% ที่ 85-88 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะนำไปอบ จะช่วยเปลี่ยนแปลงโปรตีนและแป้ง ทำให้ผิวเรียบและมีสีน้ำตาลเข้มระหว่างที่อบ โซเดียมไบคาร์บอเนตยังใช้ในขบวนการผลิตโกโก้เพื่อให้เกิดสีน้ำตาลเข้มของช็อกโกแลต pH ที่สูงขึ้นจะช่วยให้ปฏิกิริยาต่างๆ เกิดสีน้ำตาลเกิดได้ดีขึ้น และก็ช่วยทำให้ช็อกโกแลตมีกลิ่นรสดีขึ้น ลดความเป็นกรด มีสีเข้มขึ้นและช่วยให้ละลายได้ดีขึ้นเล็กน้อย

4. ในการทำเนยแหลวหมัก (cultured butter) ก่อนที่จะปั่น (churning) ครีมจะถูกหมักโดยแบคทีเรียกรดแลกติก (lactic acid bacteria) ซึ่งจะทำให้เกิดกรดแลกติก การเติมด่างจะช่วยลดความเป็นกรด และช่วยให้ประสิทธิภาพในการปั่นดีขึ้น ทั้งยังลดการเกิดกลิ่นที่ไม่ดีเนื่องจากออกซิเดชัน

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

ในบางกรณี การใช้กรดปริมาณมากในอาหาร อาจทำให้เกิดกลิ่นรสของกรดแรงมากซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ การทำให้กรดเป็นกลางอาจทำให้กลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไปได้ วิธีแก้ไขคือ ใช้ระบบบัฟเฟอร์ซึ่งประกอบด้วยเกลือของกรดอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ระบบบัฟเฟอร์เกิดจากเกลือของกรดอินทรีย์ประกอบด้วยไอออนตัวหนึ่งเหมือนกับในกรดอินทรีย์ เมื่อเติมเกลือของกรดอินทรีย์ลงในกรดอินทรีย์ เกลือของกรดอินทรีย์จะแตกตัวทันที 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 กรดอ่อนจะต้องแตกตัวมากขึ้น เพื่อให้เกิดสภาวะสมดุลอีก pH จึงคงที่ (ค่าของ pH ขึ้นกับไฮโดรเจนไอออน) นี่คือวิธีการทำงานของระบบบัฟเฟอร์ เพราะถ้าไม่มีระบบนี้ การเติมด่างจะทำให้ pH เพิ่มขึ้น

ระบบบัฟเฟอร์ใช้มากในอุตสาหกรรมทำขนมอบ ซึ่งจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นตัวการสำคัญในการทำให้ขนมขึ้นฟู และในอุตสาหกรรมน้ำอัดลม เพื่อใช้ควบคุมความเป็นกรดของอาหารเหล่านี้

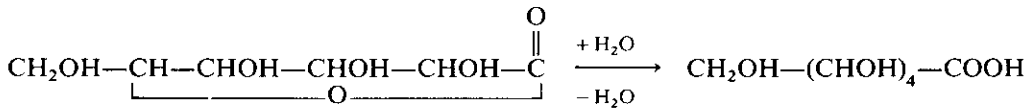
เกลือของกรดกลูโคนิก, กรดอะซิติก, กรดซิตริกและกรดฟอสฟอริก ใช้กันแพร่หลายในการควบคุม pH และป้องกันการเกิดกลิ่นแรงของกรดแก่ ในอุตสาหกรรมอาหารกรดซิตริกเป็นกรดที่นิยมใช้มากกว่ากรดฟอสฟอริก กรดซิตริกให้รสเปรี้ยวที่ไม่จัดเกินไป ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่ต้องการให้มีโซเดียมอยู่ อาจใช้เกลือโพแทสเซียมเป็นบัฟเฟอร์แทนได้ แต่ปกติจะไม่ใช้เกลือแคลเซียม เพราะมันละลายยากและไม่เข้ากับองค์ประกอบอื่น ๆ ในระบบ ระบบบัฟเฟอร์ที่ให้ผลในช่วง 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) ประกอบด้วยสารผสมของสารประกอบ ที่สามารถทำปฏิกิริยาแล้วให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้ขนมขึ้นฟู กรดที่ช่วยให้ขึ้นฟู (leavening acids) ได้แก่ สารที่ให้ไฮโดรเจนไอออน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับเกลือคาร์บอเนตหรือเกลือไบคาร์บอเนตให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา กรดที่ช่วยให้ขึ้นฟู ได้แก่ โพแทสเซียมแอซิดทาร์เทรต (potassium acid tartrate), อะลูมิเนียมซัลเฟต, กลูโคโน-เดลต้า-แลกโตน (glucono-δ-lactone), ออร์โธฟอสเฟตและไพโรฟอสเฟต เช่น แคลเซียมฟอสเฟต, โซเดียมแอมโมเนียมฟอสเฟตและโซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตเป็นต้น พาราฟอสเฟตและโพแทสเซียมแอซิดทาร์เทรตเป็นเกลือโลหะของกรดที่ถูกทำให้เป็นกลางบางส่วน โซเดียมอะลูมิเนียมซัลเฟตทำปฏิกิริยากับน้ำได้กรดซัลฟูริก

$$Na_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \longrightarrow Na_2SO_4 + 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

ส่วนกลูโคโน-เดลต้า-แลกโตนสามารถถูกไฮโดรไลส์อย่างช้า ๆ ในน้ำ หรือระบบเอเควียสได้กรดกลูโคนิก



Glucono – δ – lactone Gluconic acid

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

โซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นสารที่ช่วยให้ขึ้นฟูที่ใช้มากที่สุด มันละลายได้ในน้ำ (619 กรัม 100 มิลลิลิตรของน้ำ) และสามารถแตกตัวเป็นไอออนได้หมด ดังสมการต่อไปนี้

$$NaHCO_3 \longrightarrow Na^+ + HCO_3^-$$

$$HCO_3^- + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 + OH^-$$

$$HCO_3^- \longrightarrow CO_3^{2-} + H^+$$

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

$$RO^-, H^+ + NaHCO_3 \longrightarrow R—O^-, Na^+ + H_2O + CO_2$$

ความสมดุลของกรดและโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นสิ่งจำเป็น เพราะถ้ามีโซเดียมไบคาร์บอเนตมากเกินไป จะทำให้มีรสชาติของสบู่ในขนมอบได้

9.12 สารที่ช่วยให้เกิดอิมัลชันหรืออิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers)

สารใดก็ตามที่สามารถช่วยให้สาร 2 ชนิด ซึ่งไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถผสมเข้ากันได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น สารที่ช่วยให้น้ำและน้ำมันผสมเข้ากันได้ดีในน้ำสลัด เราเรียกสารที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้ว่า อิมัลซิไฟเออร์ อิมัลซิไฟเออร์จะช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลวสองชนิด ทำให้ของเหลวสองชนิดสามารถผสมเข้ากันได้ ถ้าปราศจากอิมัลซิไฟเออร์น้ำและน้ำมันในน้ำสลัดจะแยกตัวออกจากกัน อิมัลซิไฟเออร์สำคัญต่ออุตสาหกรรมทำขนมปังขนมเค้ก 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 (มาเชื่อมต่อโดยพันธะเอสเทอร์) ต่อไปนี้คือ กรดอะซิติก (CH_3COOH), กรดแลกติก ($CH_3CHOHCOOH$), กรดซิตริก ($HOOCCH_2 \cdot HOCCOOH \cdot CH_2COOH$), หรือกรดไดอะซิติลทาร์ทาริก ($HOOC \cdot HCOOCCH_3 \cdot HCOOCCH_3 \cdot COOH$) อิมัลซิไฟเออร์ล้วนประกอบด้วยหมู่ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic group) และหมู่ไฮโดรฟิลิก (hydrophilic group) อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน

9.13 สารที่ช่วยให้อยู่ตัว (Stabilizers) และสารที่ทำให้ข้น (Thickeners)

สารไฮโดรคอลลอยด์(hydrocolloid)ใช้มากในอาหาร สำหรับทำให้อาหารอยู่ตัวไม่ว่าอาหารจะอยู่ในรูปอิมัลชันหรือแขวนลอยอยู่หรือเกิดฟอง ทั้งยังทำให้อาหารข้นขึ้นด้วย สารเหล่านี้บางครั้งจัดเป็นพวกกัม (gums) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ สารที่ทำให้อยู่ตัวและข้นขึ้นหลายชนิด เป็นพวกโพลีแซกคาไลด์ (polysaccharides) เช่น กัมอะราบิก (gum arabic), กวาร์กัม (guar gum), คาร์บอกซิเมธิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose), คาร์รากีแนน (carrageenan), อะการ์ (agar),.แป้งและเพ็กติน นอกจากนี้ยังมีเจลาตินซึ่งเป็นโปรตีนที่ได้จากคอลลาเจน สาร

ประกอบเหล่านี้เป็นสารที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และกระจายอยู่ในสารละลายเป็นคอลลอยด์ จึงมักจะเรียกว่า ไฮโดรคอลลอยด์ ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประโยชน์ประกอบด้วยคุณสมบัติต่อไปนี้ คือ ละลายน้ำได้, สามารถเพิ่มความหนืด และในบางกรณีสามารถเกิดเจลได้ หน้าที่ของพวกไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ การทำให้เนื้อสัมผัสของอาหารอยู่ตัวและดีขึ้น ยับยั้งการเกิดผลึก (น้ำตาล, น้ำแข็ง) ทำให้อิมัลชันและฟองอยู่ตัว ลดความเหนียวเหนอะของน้ำตาลไอซิ่ง (icings) [illegible] ไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ประมาณ 2% หรือน้อยกว่านี้ เพราะสารเหล่านี้มีการกระจายตัวที่จำกัด และสารเหล่านี้จะให้ผลดีสำหรับความเข้มข้นระดับนี้ ประสิทธิภาพของการเกิดคอลลอยด์จะขึ้นโดยตรงกับความสามารถของมันที่จะเพิ่มความหนืด นี่เป็นกลไกที่ไฮโดรคอลลอยด์ทำให้อิมัลชันของน้ำมันในน้ำอยู่ตัว มันไม่สามารถใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดอิมัลชันที่แท้จริง เพราะมันขาดคุณสมบัติไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) และไลโปฟิลิก (lipophilic) [illegible]สมบัติที่จำเป็นต้องมีร่วมกันในการเกิดอิมัลชัน

9.14 ก๊าซ

[illegible] ไฮโดรจีเนต (hydro-[illegible] [illegible] (gases) [illegible]

[illegible] ก๊าซไนโตรเจน [illegible] (aerobic bacteria) แต่ [illegible] เพราะถ้า [illegible]

เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสีย ผลที่เกิดขึ้นคือ เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคมีมากขึ้น จนถึงขั้นอันตราย แต่อาหารนั้นก็ยังไม่มีลักษณะที่แสดงถึงการเน่าเสีย ด้วยเหตุนี้ การบรรจุอาหารโดยใช้ก๊าซเฉื่อยจะเหมาะสำหรับอาหารซึ่งไม่ใช่แหล่งเจริญเติบโตที่ดีของเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ พวกอาหารแห้ง เช่น มันฝรั่งที่เป็นแผ่นทอดกรอบ, ไข่ผง หรืออาหารที่มีปริมาณเกลือสูง เช่น เบคอน

การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในผลิตภัณฑ์อาหารเหลว เรียกว่า คาร์โบเนชัน (carbonation) เช่น น้ำอัดลม เบียร์ ไวน์บางชนิดและน้ำผลไม้บางชนิด จะทำให้เครื่องดื่มเหล่านี้เกิดฟอง มีกลิ่นรสแรงและแสบลิ้นเล็กน้อย 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 โดยมีการค้นพบว่าในผลิตภัณฑ์บางชนิดจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ และหมู่อะมิโนอิสระของกรดอะมิโนและโปรตีน เกิดสารประกอบคาร์บามิโน (Carbamino compound) นอกจากนี้การเกิดกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) และไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3) ก็ช่วยทำให้ระบบคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ตัวในสารละลาย