

บทที่ 5

ผักและผลไม้

(Vegetables and Fruits)

ผักและผลไม้เป็นอาหารสำคัญของมนุษย์มาช้านานแล้ว ผักเป็นส่วนของพืช เช่น ใบ ราก หัว ผัก ผล เมล็ด ดอก ฯลฯ (ตารางที่ 5.1) ที่บริโภคน (สุกหรือดิบ) เป็นอาหารหลักของมืออาหาร ส่วนผลไม้เป็นส่วนผลของพืชที่นิยมใช้เป็นของหวานหรือรับประทานสด ๆ ผลไม้บางอย่างอาจใช้เป็นผักได้แล้วแต่วิธีการใช้ เช่น แดงโมอ่อนใช้ทำแกงส้มได้ มะละกอดิบใช้ทำแกงส้ม ส้มตำหรือผัดก็ได้ สับปะรดเปรี้ยวใช้ทำแกงได้ แต่มะละกอสุก แดงโมสุกและสับปะรดรับประทานเป็นผลไม้ได้

ผักและผลไม้เป็นอาหารที่มีสีสั่น และเนื้อสัมผัสแตกต่างกันมากกว่าอาหารประเภทอื่น ๆ ในทางโภชนาการ ผักและผลไม้ยังเป็นแหล่งของวิตามินและแร่ธาตุ ผักที่ต้มสุกแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงกลิ่น รส และส่วนใหญ่ทำให้กลิ่นรสดีขึ้น ดังนั้น จากผักและผลไม้เราจึงสามารถประกอบอาหารได้มากมายหลายประเภท

5.1 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของผัก

ส่วนประกอบของผักต่าง ๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า ผักทุกชนิดมีน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ผักส่วนใหญ่มีน้ำมากกว่าร้อยละ 80 ขึ้นไป แดงกวา บวบ พริกเขียว และน้ำเต้ามีน้ำมากถึงร้อยละ 95 ผักที่น้ำค่อนข้างน้อย ได้แก่ สะตอ มันเทศ ใบบัวบกมีน้ำเพียงร้อยละ 44 เท่านั้น

ผักเป็นแหล่งของแร่ธาตุ วิตามิน และเซลล์ลูโลส แคลเซียมและเหล็ก เป็นแร่ธาตุที่มีมากในผักโดยเฉพาะผักใบสีเขียว อย่างไรก็ตาม ผักใบสีเขียวบางชนิด เช่น ผักโขม และใบชะพลู แม้จะมีแคลเซียมอยู่มาก แต่กรดออกซาลิก (oxalic acid) ในผักเหล่านี้รวมตัวกับแคลเซียมได้เกิดเป็นแคลเซียมออกซาลาต (calcium oxalate) ซึ่งไม่ละลายในน้ำ มันจึงไม่สามารถถูกดูดซึมในร่างกาย ผักส่วนใหญ่จะให้ปริมาณของแร่ธาตุตามที่ต้องการดังต่อไปนี้ คือ โซเดียม คลอรีน

CM 480

127

CM 480

127

โคบอลต์ ทองแดง แมกนีเซียม แมงกานีส ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

ตารางที่ 5.1 ผักที่มาจากส่วนต่าง ๆ ของพืช

| | |
|----------------------------|---|
| ต้น | หอม กระหล่ำปลม คื่นห้าน้ำ |
| หน่อ (ลำต้นที่ยังอ่อนอยู่) | หน่อไม้ไทย, หน่อไม้ฝรั่ง |
| ใบ | กระหล่ำปลี, ผักกาดขาว, ผักกาดหอม, ใบชะพลู, ใบกระถิน, ใบแค, ตำลึง, ชะอม, ผักโขม, ผักหวาน ฯลฯ |
| ดอก | กระหล่ำดอก, หัวปลี, ดอกหอม, ดอกแค, ขจร, กุยช่าย ฯลฯ |
| ผล | แตงกวา, ฟักทอง, มะเขือเทศ, มะเขือ, ลูกเนย, น้ำเต้า, ถั่วพักยาว, ถั่วแขก, มะรุม, กระจี้บ ฯลฯ |
| เมล็ด | ถั่วลันเตา, กระถิน, สะตอ, ลูกเนียง, ข้าวโพด ฯลฯ |
| หัว | หอม, กระเทียม |
| ลำต้นหรือรากใต้ดิน | เผือก, มัน, มันเทศ, แครอท, มันแกว, หัว ฯลฯ |
| พืชผักน้ำ | |
| ยอดอ่อน | ผักบุ้ง, ผักกาด |
| ก้านดอก | สายบัว |
| ลำต้น | หน่อไม้ |

ตารางที่ 5.2 ส่วนประกอบของผักต่าง ๆ ในส่วนที่กินได้ 100 กรัม

| ผักต่าง ๆ | Moisture | | | | | Protein | | | | | Vitamins | | | | |
|-----------------|----------|------------|----------|----------|-----------|---------|-------|---------|--------|---------|----------|--------------------|--------------------|------------|--------|
| | g. | Cal. Unit. | Fat. gm. | CHO. gm. | Fibre gm. | A gm. | V gm. | Ca. mg. | P. mg. | Fe. mg. | A I.U. | B ₁ mg. | B ₂ mg. | Niacin mg. | C. mg. |
| 1. กะหล่ำดอก | 91.0 | 27 | 0.2 | 5.2 | 1.0 | - | 2.7 | 25 | 56 | 1.1 | 60 | 0.11 | 0.10 | 0.7 | 78 |
| 2. กะหล่ำปลี | 92.4 | 24 | 0.2 | 5.4 | 0.8 | - | 1.3 | 49 | 29 | 0.4 | 130 | 0.05 | 0.05 | 0.3 | 47 |
| 3. กะหล่ำปม | 90.3 | 29 | 0.1 | 6.6 | 1.0 | - | 2.0 | 41 | 51 | 0.5 | 20 | 0.06 | 0.04 | 0.3 | 66 |
| 4. กระเจี๊ยบ | 70.0 | 117 | 0.3 | 23.9 | - | - | 4.7 | 20 | 150 | 0.8 | 20 | - | 0.01 | 0.6 | - |
| 5. กระเจี๊ยบ | 89.1 | 34 | 0.1 | 8.2 | 0.7 | - | 1.8 | 120 | 49 | 0.8 | 240 | 0.08 | 0.09 | 0.8 | 17 |
| 6. กระเทียม, ใบ | 87.3 | 12 | 0.5 | 9.0 | 0.5 | - | 2.1 | 116 | 56 | 0.4 | 1,140 | 0.08 | 0.16 | 0.7 | 38 |
| 7. กุยฉ่าย | 91.0 | 28 | 0.4 | 5.4 | 0.6 | - | 2.2 | 80 | 44 | 1.0 | 520 | 0.06 | 0.11 | 0.9 | 20 |
| 8. ชิง | 90.3 | 37 | 0.9 | 6.9 | 1.0 | - | 1.1 | 32 | 29 | 3.0 | 0 | 0.04 | 0.05 | 0.6 | 4 |
| 9. ขนุนดิบ | 85.2 | 51 | 0.6 | 11.5 | 2.6 | - | 2.0 | 53 | 20 | 0.4 | 30 | 0.12 | 0.05 | 0.5 | 12 |
| 10. ขมิ้น | 84.9 | 63 | 2.7 | 9.1 | 1.0 | - | 2.0 | 24 | 78 | 3.3 | 0 | 0.03 | 0.03 | 0.5 | 1 |
| 11. กั้นฉ่าย | 90.9 | 27 | 0.6 | 4.6 | 1.4 | - | 2.2 | 326 | 51 | 15.3 | 2,685 | 0.08 | 0.12 | 0.6 | 49 |
| 12. แครอท | 85.1 | 55 | 0.4 | 12.4 | 0.9 | - | 1.3 | 60 | 28 | 1.7 | 18,520 | 0.04 | 0.04 | 0.6 | 9 |
| 13. ดอกขจร | 80.5 | 72 | 1.1 | 10.6 | 1.6 | - | 5.0 | 70 | 90 | 1.0 | 3,150 | 0.10 | 0.12 | 1.5 | 45 |
| 14. ดอกแค | 86.4 | 44 | 0.6 | 9.6 | 1.0 | - | 1.8 | 23 | 29 | 0.9 | 105 | 0.13 | 0.08 | 2.8 | 41 |
| 15. ดอกแคฝรั่ง | 85.1 | 52 | 0.0 | 10.0 | 1.3 | - | 3.1 | 17 | 34 | 0.8 | - | 0.14 | 0.08 | 1.0 | 12 |

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

| ตัวอย่าง | Moisture | | | | | Protein | | | | | Vitamins | | | | |
|--------------------------|--------------|----------|---------|----------|------------|---------|-------|--------|--------|---------|----------|--------|--------|------------|-------|
| | Moisture gm. | Cal Unit | Fat gm. | CHO. gm. | Fibrc. gm. | A gm. | V gm. | Ca mg. | P. mg. | Fe. mg. | A I.U. | B1 mg. | B2 mg. | Niacin mg. | C mg. |
| 16. ดอกโสน | 86.0 | 40 | 0.4 | 5.6 | 3.9 | - | 3.6 | 51 | 56 | 8.2 | 3,338 | 0.26 | 0.40 | 2.8 | 12 |
| 17. ต้นหอม, ส่วนหัว | 87.6 | 45 | 0.2 | 10.5 | 1.0 | - | 1.1 | 40 | 39 | 0.6 | Tr. | 0.05 | 0.04 | 0.4 | 25 |
| 18. ต้นหอม, ส่วนยอดเขียว | 91.8 | 27 | 0.4 | 5.5 | 1.3 | - | 1.6 | 56 | 39 | 2.9 | 4,000 | 0.07 | 0.10 | 0.6 | 51 |
| 19. แดงกวา ไม่ออกเปลือก | 95.1 | 15 | 0.1 | 3.4 | 0.6 | - | 0.9 | 25 | 27 | 1.1 | 250 | 0.03 | 0.04 | 0.2 | 11 |
| 20. แดงกวา ออกเปลือก | 95.7 | 14 | 0.1 | 3.2 | 0.3 | - | 0.6 | 17 | 18 | 0.3 | Tr. | 0.03 | 0.04 | 0.2 | 11 |
| 21. ถั่วแขก | 90.5 | 34 | 0.1 | 6.8 | 1.0 | - | 2.0 | 72 | 38 | 0.8 | 526 | 0.07 | 0.10 | 0.7 | 15 |
| 22. ถั่วพู | 90.7 | 29 | 0.3 | 5.6 | 1.3 | - | 2.7 | 64 | 36 | 0.1 | 545 | 0.24 | 0.09 | 1.2 | 15 |
| 23. ถั่วฝักยาว, เขียว | 88.1 | 38 | 0.2 | 8.2 | 1.5 | - | 2.8 | 42 | 46 | 0.9 | 570 | 0.12 | 0.13 | 1.2 | 22 |
| 24. ถั่วลันเตา | 81.9 | 57 | 0.3 | 13.0 | 1.2 | - | 3.3 | 76 | 45 | 1.4 | 305 | 0.14 | 0.09 | 0.9 | 77 |
| 25. หน่อเต้า | 94.8 | 17 | 0.1 | 4.0 | 0.4 | - | 0.6 | 19 | 16 | 0.4 | 20 | 0.04 | 0.03 | 0.4 | 10 |
| 26. บวบงู | 95.2 | 16 | Tr. | 4.0 | 0.5 | - | 0.6 | 23 | 15 | 0.3 | 235 | 0.02 | 0.03 | 0.3 | 12 |
| 27. บวบเหลี่ยม | 94.4 | 18 | 0.1 | 3.7 | - | - | 0.5 | 40 | 40 | 1.6 | 56 | 0.07 | - | - | - |
| 28. บวบหอม | 93.9 | 21 | 0.2 | 4.9 | 0.5 | - | 0.6 | 16 | 24 | 0.6 | 45 | 0.04 | 0.02 | 0.3 | 7 |
| 29. ใบขี้เหล็ก | 57.8 | 157 | 1.9 | 27.3 | 3.7 | - | 7.7 | 156 | 190 | 5.8 | 7,625 | 0.04 | 0.69 | 1.3 | 11 |
| 30. ใบชะพลู | 69.5 | 101 | 2.5 | 14.2 | 4.6 | - | 5.4 | 601 | 30 | 7.6 | 8,824 | 0.13 | 0.11 | 16.2 | 10 |

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

| ชนิดต่างๆ | Moisture | | | | | Protein | | | | | Vitamins | | | | |
|--------------------|----------|-----------|----------|----------|------------|---------|-------|---------|--------|--------|----------|--------------------|--------------------|------------|-------|
| | gm. | Cal. Unit | Fat. gm. | CHO. gm. | Fibre. gm. | A gm. | V gm. | Ca. mg. | P. mg. | Fe mg. | A I.U. | B ₁ mg. | B ₂ mg. | Niacin mg. | C mg. |
| 31. ใบตองเฒ่า | 93.5 | 18 | 0.4 | 2.6 | 0.7 | - | 2.3 | 78 | 30 | 9.4 | 4,850 | 0.08 | 0.18 | 0.6 | 17 |
| 32. ใบทองหลาง | 81.5 | 56 | 0.8 | 7.5 | 4.1 | - | 4.6 | 57 | 40 | 1.8 | 3,853 | 0.24 | 0.17 | 4.7 | 3 |
| 33. ใบบัวบก | 44.0 | 86 | 0.9 | 7.1 | 2.6 | - | 1.8 | 146 | 30 | 3.9 | 10,962 | 0.24 | 0.09 | 0.8 | 4 |
| 34. ใบมันสำปะหลัง | 81.3 | 60 | 1.4 | 8.7 | 2.2 | - | 7.2 | 100 | 106 | 3.5 | 13,155 | 0.25 | 0.43 | 2.0 | 127 |
| 35. ใบมันเทศ | 84.8 | 53 | 0.5 | 10.3 | 2.2 | - | 2.8 | 107 | 65 | 6.0 | 5,565 | 0.12 | 0.20 | 0.9 | 32 |
| 36. ใบมะขามอ่อน | 81.3 | 64 | 1.0 | 13.4 | 2.0 | - | 3.4 | 39 | 71 | 1.1 | 2,515 | 0.18 | 0.15 | 1.7 | 9 |
| 37. ใบแมงลัก | 89.9 | 30 | 1.0 | 2.3 | 2.6 | - | 2.9 | 140 | 40 | 17.2 | 26,000 | 0.12 | 0.28 | 0.6 | 3 |
| 38. ใบยอ | 77.3 | 105 | 7.8 | 3.8 | 4.0 | - | 5.0 | 469 | Tr. | 1.4 | 43,333 | 0.30 | 0.14 | 7.2 | 3 |
| 39. ใบสะระแหน่ | 83.0 | 57 | 0.6 | 8.0 | 2.0 | - | 4.8 | 200 | 80 | 15.6 | 2,700 | - | - | 0.4 | - |
| 40. ใบโหระพา | 85.4 | 44 | 1.0 | 5.5 | 2.5 | - | 3.3 | 336 | - | 22.0 | 20,712 | 0.15 | 0.22 | 0.8 | 3 |
| 41. ผักกะเจต | 89.4 | 32 | 0.4 | 0.8 | 1.8 | - | 6.4 | 387 | 7 | 5.3 | 5,155 | 0.12 | 0.14 | 3.2 | 34 |
| 42. ผักกระถิน | 80.7 | 62 | 0.9 | 5.0 | 3.8 | - | 8.4 | 137 | 11 | 9.2 | 7,883 | 0.33 | 0.09 | 5.4 | 8 |
| 43. ผักกาดขาว | 93.1 | 21 | 0.3 | 3.9 | 0.7 | - | 1.8 | 147 | 33 | 4.4 | 3,600 | 0.07 | 0.13 | 1.0 | 74 |
| 44. ผักกาดเขียวปลี | 92.2 | 22 | 0.3 | 4.0 | 0.8 | - | 2.3 | 220 | 38 | 2.9 | 6,460 | 0.09 | 0.20 | 0.8 | 120 |
| 45. ผักกาดหอม | 93.0 | 23 | 0.4 | 4.6 | 0.5 | - | 1.2 | 83 | 34 | 5.4 | 2,855 | 0.06 | 0.12 | 0.4 | 21 |

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

| ผลิตภัณฑ์ | Moisture | | | | Protein | | | | Vitamins | | | | | |
|----------------------------|--------------|-----------|---------|----------|------------|-------|-------|---------|----------|---------|--------|--------------------|--------------------|--------------|
| | Moisture gm. | Cal. Unit | Fat gm. | CHO. gm. | Fibre. gm. | A gm. | V gm. | Ca. mg. | P. mg. | Fe. mg. | A IU. | B ₁ mg. | B ₂ mg. | Niacin C mg. |
| 46. ผักขมหวาน | 82.1 | 50 | 0.7 | 8.2 | 1.5 | - | 6.0 | 535 | 75 | 2.2 | 11,090 | 0.01 | 0.32 | 1.5 |
| 47. ผักขมสวน | 85.8 | 47 | 0.5 | 5.7 | - | - | 4.9 | 500 | 100 | 21.4 | 6,750 | 0.03 | 0.10 | 0.9 |
| 48. ผักกะหน่ำ, ใบ | 85.9 | 40 | 0.8 | 7.5 | 1.2 | - | 4.8 | 250 | 82 | 1.5 | 9,300 | 0.16 | 0.31 | 1.7 |
| 49. ผักกะหน่ำ, ใบและก้าน | 86.9 | 40 | 0.7 | 7.2 | 0.9 | - | 3.6 | 206 | 63 | 1.0 | 6,500 | 0.20 | 0.31 | 1.7 |
| 50. ผักชะอม | 79.7 | 57 | 0.6 | 3.5 | 5.7 | - | 9.5 | 58 | 30 | 4.1 | 10,066 | 0.35 | 0.24 | 8.5 |
| 51. ผักขี้ | 86.8 | 40 | 0.6 | 8.1 | 1.1 | - | 2.7 | 167 | 122 | 3.2 | 6,800 | 0.12 | 0.32 | 1.6 |
| 52. ผักตำตัง | 90.7 | 35 | 0.4 | 4.5 | 1.0 | - | 3.3 | 126 | 30 | 4.6 | 18,608 | 0.17 | 0.13 | 3.8 |
| 53. ผักบั้งดิบ | 90.0 | 29 | 0.5 | 4.2 | 1.1 | - | 3.9 | 60 | 66 | 5.6 | 4,475 | 0.09 | 0.25 | 1.2 |
| 54. ผักสะเตา | 59.4 | 129 | 1.0 | 22.9 | 6.2 | - | 7.1 | 510 | 80 | 17.1 | - | - | - | 1.4 |
| 55. ผือก | 77.5 | 85 | 0.2 | 19.1 | 0.4 | - | 2.4 | 32 | 64 | 0.8 | Tr. | 0.18 | 0.04 | 0.9 |
| 56. พริกขี้หนู, พริกขี้พ้า | 72.2 | 62 | 0.2 | 9.0 | 1.4 | - | 4.8 | 65 | 89 | 2.3 | 7,010 | 0.31 | 0.25 | 1.8 |
| 57. พริกขี้หนู, เขียว | 93.3 | 23 | 0.2 | 5.4 | 1.5 | - | 0.7 | 12 | 18 | 0.4 | 260 | 0.05 | 0.03 | 0.5 |
| 58. พริกพวยก, เขียว | 89.6 | 35 | 0.5 | 7.5 | 2.3 | - | 1.8 | 15 | 42 | 1.6 | 895 | 0.08 | 0.08 | 0.9 |
| 59. พักเขียว | 95.6 | 15 | 0.2 | 3.5 | 0.7 | - | 0.4 | 18 | 17 | 0.2 | 0 | 0.05 | 0.06 | 0.3 |
| 60. พักทอง | 89.6 | 34 | 0.4 | 7.3 | 0.7 | - | 0.9 | 19 | 35 | 0.5 | 1,065 | 0.08 | 0.07 | 0.9 |

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

| หัตถ์ต่าง ๆ | Moisture | | | | Protein | | | | Vitamins | | | | | | |
|----------------------------|----------|------|----------|----------|------------|-------|-------|---------|----------|---------|--------|--------|--------|------------|-------|
| | gm. | Unit | Fat. gm. | CHO. gm. | Fibre. gm. | A gm. | V gm. | Ca. mg. | P. mg. | Fe. mg. | A I.U. | B1 mg. | B2 mg. | Niacin mg. | C mg. |
| 61. มะเขือขีน, มะเขือเปราะ | 87.9 | 39 | 0.8 | 6.2 | 2.5 | - | 1.8 | 38 | 70 | 1.2 | 292 | 0.07 | 0.16 | 2.4 | 3 |
| 62. มะเขือพวง | 81.9 | 47 | 0.6 | 7.5 | 6.1 | - | 2.8 | 158 | 110 | 7.1 | 564 | 0.17 | 0.09 | 2.6 | 4 |
| 63. มะเขือยาว | 92.5 | 24 | 0.2 | 5.7 | 0.8 | - | 1.0 | 30 | 27 | 0.6 | 130 | 0.10 | 0.05 | 0.6 | 5 |
| 64. มะเขือเทศสุก | 93.5 | 22 | 0.2 | 4.7 | 0.5 | - | 1.1 | 13 | 27 | 0.5 | 900 | 0.06 | 0.04 | 0.7 | 23 |
| 65. มะระจีน | 93.4 | 22 | 0.4 | 4.6 | 0.9 | - | 0.9 | 32 | 32 | 0.9 | 335 | 0.06 | 0.03 | 0.3 | 55 |
| 66. มะระขุ่ม | 73.8 | 89 | 0.4 | 22.2 | 0.9 | - | 2.6 | 32 | 43 | 0.8 | 95 | 0.05 | 0.09 | 0.8 | 233 |
| 67. มะละกอดิบ | 93.2 | 24 | 0.1 | 5.2 | 0.8 | - | 1.0 | 59 | 26 | 0.3 | 0 | 0.03 | 0.02 | 0.2 | 22 |
| 68. มันแกว | 89.5 | 39 | 0.2 | 8.9 | 0.5 | - | 1.1 | 14 | 15 | 0.4 | Tr. | 0.05 | 0.02 | 0.2 | 14 |
| 69. มันเทศขาว | 71.2 | 113 | 0.4 | 26.8 | 0.6 | - | 0.6 | 64 | 42 | 1.0 | 60 | 0.09 | 0.04 | 0.5 | 53 |
| 70. มันเทศเหลือง | 65.0 | 136 | 0.4 | 32.3 | 0.7 | - | 1.1 | 57 | 52 | 0.7 | 900 | 0.10 | 0.04 | 0.6 | 35 |
| 71. มันฝรั่ง | 79.8 | 76 | 0.1 | 17.1 | 0.5 | - | 2. | 7 | 53 | 0.6 | Tr. | 0.10 | 0.04 | 1.5 | 20 |
| 72. มันสำปะหลัง | 64.0 | 141 | 0.1 | 34.3 | 1.0 | - | 0.7 | 24 | 37 | 1.5 | | 0.04 | 0.01 | 0.6 | 41 |
| 73. ยอดแค | 74.4 | 97 | 2.6 | 10.1 | 2.7 | - | 8.3 | 395 | 40 | 41.0 | 12,466 | 0.28 | 0.33 | 2.0 | 19 |
| 74. ยอดผักทอง | 89.2 | 33 | 0.7 | 4.9 | 1.3 | - | 3.8 | 159 | 99 | 1.6 | 2,435 | 0.12 | 1.18 | 1.1 | 19 |
| 75. ยอดมะม่วง | 78.2 | 70 | 0.4 | 16.5 | 1.6 | - | 3.0 | 29 | 72 | 6.2 | 1,490 | 0.04 | 0.06 | 2.2 | 53 |

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

| ผักต่างๆ | Mois- ture gm. | | | Protein | | | Vitamins | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|---------|----------|------------|-------|-------|----------|--------------------|--------------------|------------|-------|------|------|-----|----|
| | Cal. Unit | Fat gm. | CHO. gm. | Fibre. gm. | A gm. | V gm. | A I.U. | B ₁ mg. | B ₂ mg. | Niacin mg. | C mg. | | | | |
| 76. ลูกเหมย | 59.6 | 156 | 0.4 | 29.4 | 1.3 | - | 8.8 | 25 | 52 | 0.7 | 1,084 | 0.19 | 0.01 | 0.4 | 3 |
| 77. สตอ | 70.7 | 150 | 8.1 | 11.4 | 0.5 | - | 8.0 | 78 | 83 | 0.7 | 734 | 0.11 | 0.01 | 1.0 | 6 |
| 78. หน่อไม้ | 92.2 | 27 | 0.7 | 4.5 | 0.7 | - | 2.0 | 19 | 26 | 0.2 | 0 | 0.03 | 0.05 | 0.2 | 3 |
| 79. หัวผักกาด | 93.5 | 21 | 0.1 | 5.3 | 0.6 | - | 0.6 | 32 | 21 | 0.6 | Tr. | 0.02 | 0.03 | 0.3 | 25 |
| 80. หัวปลี | 90.2 | 28 | 0.2 | 5.0 | 1.9 | - | 1.5 | 30 | 50 | 0.1 | - | - | - | 0.6 | - |
| 81. เห็ดสด | 87.7 | 39 | 0.1 | 6.9 | 1.2 | - | 3.8 | 3 | 94 | 1.7 | - | 0.11 | 0.17 | 8.3 | 5 |
| 81. เห็ดหูหนู | 87.1 | 42 | 0.1 | 9.0 | 1.8 | - | 1.4 | 60 | Tr. | 6.1 | 0 | 1.04 | 0.71 | 2.8 | - |

อดีตคณะอนุกรรมการสาขาโภชนศาสตร์ ตำราโภชนกรรม โรงพิมพ์คุรุสภา-2517 หน้า 243-247

วิตามินเอในผักอยู่ในรูปของโปรวิตามินเอ ได้แก่ แคโรทีน (carotene) ซึ่งมีสีแสดและจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอที่ผนังลำไส้เล็ก โปรวิตามินเอมีมากในผักที่มีใบสีเขียว เช่น ผักคะน้า ผักขม ผักชี ตำลึง ผักบุ้ง ชะอม ฯลฯ และในผักที่มีสีเหลืองหรือส้ม เช่น แครอท พริกชี้หนู พริกชี้ฟ้า พักทอง ฯลฯ ผักใบสีเขียวและเหลืองเข้มมีแคโรทีนมากกว่าผักสีจาง ผักที่แก่จัดจนสุกแล้วจะมีโปรวิตามินเอมากกว่าผักที่ดิบ เช่น มะเขือเทศสุกจะมีโปรวิตามินเอมากกว่ามะเขือเทศดิบ

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกมีมากในผักใบสีเขียว เช่น ผักชี ผักคะน้า ผักขม ฯลฯ และในพริกหยวก มะรุม กะหล่ำดอก กะหล่ำปลีและมะเขือเทศ นอกจากนี้ยังมีในผักที่กำลังงอก เช่น ถั่วงอก และมีมากในส่วนยอดของผัก เช่น ยอดกระถินและยอดมะม่วง วิตามินซีในผักมีมากในใบมากกว่าก้าน และมีในใบอ่อนมากกว่าใบแก่

นอกจากวิตามินเอและซีแล้ว ผักส่วนใหญ่จะมีวิตามินบีหนึ่งและไนอะซินน้อย ส่วนวิตามินบีสองมีมากปานกลางโดยเฉพาะในผักใบสีเขียวจะมีวิตามินชนิดนี้ค่อนข้างสูง การกินผักหลายชนิดโดยเฉพาะผักใบสีเขียวจะช่วยให้ได้วิตามินบีสอง ประจำวันเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย

ผักส่วนใหญ่มีโปรตีนอยู่น้อย ผักชะอมมีโปรตีนร้อยละ 9.5 ลูกเนียงร้อยละ 8.8 ผักกระถินมีร้อยละ 8.4 ยอดแคมีร้อยละ 8.3 ส่วนผักอื่น ๆ ส่วนใหญ่มีปริมาณน้อยกว่านี้มาก นอกจากนี้โปรตีนในผักยังจัดเป็นโปรตีนที่ไม่สมบูรณ์ทางด้านโภชนาการ โปรตีนที่ไม่สมบูรณ์นี้ร่างกายสามารถใช้ประโยชน์ได้แต่จะต้องเสริมด้วยโปรตีนจากเนื้อสัตว์ด้วย ดังนั้นผักจึงไม่ใช่แหล่งโปรตีนที่สำคัญ

ผักส่วนใหญ่มีไขมันน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย ผักที่มีไขมันมากพอควรมีใบยอด ซึ่งมีร้อยละ 7.8 และสะตอมีร้อยละ 8.1 เท่านั้น

คาร์โบไฮเดรตในผักได้แก่ แป้ง (starch) กลูโคส (glucose) เซลลูโลส และสารจำพวกเพกติน (pectic substances) ผักที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงได้แก่ มันสำปะหลัง มันเทศเหลือง มันเทศขาว เซลลูโลสเป็นโครงสร้างของผักมีมากที่เปลือก ใบและก้านของผัก ร่างกายคนไม่สามารถย่อยเซลลูโลส มันจึงเหลือเป็นกาก ช่วยกระตุ้นให้เกิดการบีบตัวของลำไส้ ทำให้อาหารเคลื่อนที่ผ่านลำไส้ได้ นี่เป็นเหตุผลที่ผักช่วยในการขับถ่ายได้

พลังงานจากผักส่วนใหญ่มาจากคาร์โบไฮเดรต ดังนั้น ผักที่มีคาร์โบไฮเดรตมากจึงให้พลังงานสูง เช่น มันสำปะหลังและมันเทศ ผักที่มีน้ำมากมักมีคาร์โบไฮเดรตน้อยจึงให้

พลังงานต่ำ ผู้ที่ต้องการลดความอ้วนจึงควรเลือกรับประทานผักที่มีน้ำมากหรือผักใบสีเขียวได้ โดยไม่จำกัดปริมาณ

ผักต่างชนิดกันจะให้คุณค่าทางโภชนาการต่างกัน แม้แต่ผักชนิดเดียวกันอาจให้สารอาหารปริมาณต่างกัน คุณค่าทางโภชนาการของผักแต่ละชนิดจะมีมากขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของผัก สภาวะการเจริญเติบโต ความแก่อ่อน วิธีการเก็บ ตลอดจนวิธีการเตรียมเป็นอาหาร

สภาวะการเจริญเติบโตเกี่ยวข้องกับปริมาณของเกลือแร่ธรรมชาติในดิน การใส่ปุ๋ยและดินฟ้าอากาศที่ดี ดินที่อุดมสมบูรณ์ย่อมให้ผลผลิตที่ดี ปริมาณไอโอดีนในดินมีผลต่อปริมาณไอโอดีนในผักที่ปลูกในดินนั้น นอกจากนี้ดินที่ขาดโบรอน (Boron) จะทำให้ปริมาณของแคโรทีนและไรโบฟลาวินในผักลดน้อยลง

ปริมาณน้ำฝนและแสงแดดระหว่างที่ปลูกมีอิทธิพลต่อปริมาณของกรดแอสคอร์บิกในผัก เช่น มะเขือเทศที่ปลูกอยู่กลางแจ้งจะมีวิตามินซีมากกว่าที่ปลูกในที่ร่ม

ปริมาณของน้ำฝน แสงแดด และฤดูกาลของปีก็มีผลต่อปริมาณของแคโรทีน เช่น ผักใบสีเขียวซึ่งใบชั้นนอกมีสีเขียวจัดจะมีแคโรทีนมากกว่าใบชั้นในที่มีสีเขียวอ่อน เพราะใบชั้นนอกถูกแดดมากกว่าใบชั้นใน

5.2 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้

ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้แสดงอยู่ในตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่า ผลไม้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำปริมาณมาก แดงโมมีน้ำถึงร้อยละ 92 ผลไม้ส่วนใหญ่มีน้ำประมาณร้อยละ 80-90 ผลไม้แห้งก็ยังมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 25 ของน้ำหนักผลไม้ส่วนที่รับประทานได้ น้ำส่วนใหญ่อยู่ในแควิวโอล ในน้ำมีสารละลายต่าง ๆ อยู่ ได้แก่ น้ำตาล แร่ธาตุ วิตามิน กรดอินทรีย์ และรงควัตถุที่ละลายในน้ำ

ผลไม้เป็นแหล่งของเกลือแร่และวิตามินเช่นเดียวกับผัก วิตามินสำคัญที่สุดในผลไม้ ได้แก่ วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก ผลไม้พวกซิตรัส (citrus fruits) มีวิตามินซีอยู่มาก เช่น ส้มเกลี้ยง ส้มโอ ส้มเขียวหวานและมะนาว ผลไม้ไทยที่มีวิตามินซีสูงที่สุดคือ มะขามป้อม รองลงมาคือ มะขามเทศและฝรั่ง ผลไม้อื่นที่มีวิตามินซีสูงคือ สตรอเบอร์รี่และมะละกอ จากการทดลองพบว่าผลไม้ที่สุกช้าในช่วงปลายฤดูกาลมีวิตามินซีน้อยกว่าผลไม้ที่สุกก่อน นอกจากนี้ผลไม้ที่เก็บจากส่วนกลางของต้นจะมีวิตามินซีน้อยกว่าที่เก็บจากปลายของกิ่ง

ตารางที่ 5.8 ส่วนประกอบของผลไม้ต่าง ๆ ในส่วนที่กินได้ 100 กรัม

| ผลไม้ต่าง ๆ | Moisture | | | | Protein | | | | Vitamins | | | | | | |
|----------------------------------|----------|---------|----------|-----------|---------|-------|---------|--------|----------|-------|--------------------|--------------------|------------|-------|------|
| | Cal. gm. | Fat gm. | CHO. gm. | Fibre gm. | A gm. | V gm. | Ca. mg. | P. mg. | Fe. mg. | A IU. | B ₁ mg. | B ₂ mg. | Niacin mg. | C mg. | |
| 1 กล้วยนาว้า | 66.5 | 119 | 0.4 | 31.2 | 0.6 | - | 1.0 | 11 | 24 | 0.7 | 540 | 0.02 | 0.23 | 0.1 | 12 |
| 2 ขนน | 72.0 | 100 | 0.4 | 25.7 | 0.8 | - | 1.2 | 22 | 20 | 1.0 | 175 | 0.09 | 0.05 | 0.9 | 4 |
| 3 ชมพู่มะเหมียว, ชมพูเส้าแทรก | 85.0 | 56 | Tr. | 13.0 | 0.7 | - | 0.6 | 10 | - | 0.5 | Tr. | 0.03 | 0.03 | 0.3 | 15 |
| 4 ชมพู | 84.5 | 56 | 0.3 | 14.2 | 1.1 | - | 0.6 | 29 | 16 | 1.2 | 130 | 0.02 | 0.03 | 0.8 | 22 |
| 5 เชอร์รี่ | 92.0 | 31 | 0.3 | 7.0 | 0.4 | - | 0.4 | 12 | - | 0.5 | 20 | 0.03 | 0.05 | 0.4 | 2000 |
| 6 แดงไทย | 94.3 | 21 | 0.4 | 4.5 | 0.9 | - | 0.3 | 30 | 18 | 0.4 | 370 | 0.02 | 0.02 | 0.3 | 21 |
| 7 แดงโม | 92.2 | 28 | 0.2 | 6.9 | 0.5 | - | 0.5 | 10 | 10 | 0.5 | 360 | 0.03 | 0.03 | 0.2 | 6 |
| 8 ตะลิงปิง | 93.9 | 22 | 0.4 | 4.6 | 0.6 | - | 0.7 | 7 | 13 | 0.8 | 170 | 0.01 | 0.03 | 0.3 | 10 |
| 9 ทับทิม | 83.5 | 58 | 0.4 | 14.3 | 0.2 | - | 0.9 | 11 | 54 | 0.8 | 0 | 0.09 | 0.01 | 0.3 | 7 |
| 10 ทุเรียน | 55.1 | 161 | 0.7 | 41.4 | 1.8 | - | 1.8 | 11 | 43 | 1.0 | 10 | 0.36 | 0.18 | 1.0 | 41 |
| 11 น้อยหน่า | 69.5 | 109 | 0.5 | 28.0 | 1.4 | - | 1.2 | 31 | 41 | 0.8 | 40 | 0.11 | 0.06 | 0.9 | 47 |
| 12 นามะนาว | 90.3 | 40 | 2.4 | 6.3 | 0.3 | - | 0.8 | 17 | 11 | 0.1 | 30 | 0.02 | 0.02 | 0.2 | 52 |
| 13 มังคุดฝรั่ง | 91.4 | 32 | 1.6 | 6.3 | 0.2 | - | 0.5 | 8 | 7 | 0.2 | Tr. | 0.04 | 0.02 | 0.2 | 45 |
| 14 นาส้มจิน | 89.2 | 39 | 0.3 | 9.2 | - | - | 0.9 | 19 | 16 | 0.2 | 420 | 0.07 | 0.03 | 0.2 | 31 |

ตารางที่ 5.8 (ต่อ)

| ผลิตภัณฑ์ต่างๆ | Moisture | | | | Protein | | | | Vitamins | | | | | | |
|---------------------|----------|-----|------|-------|---------|-----|-----|-----|----------|------|----------------|----------------|--------|-----|-----|
| | Cal. | Fat | CHO. | Fibre | A | V | Ca. | P. | Fe. | A | B ₁ | B ₂ | Niacin | C | |
| | gm. | gm. | gm. | gm. | gm. | gm. | gm. | gm. | mg. | I.U. | mg. | mg. | mg. | mg. | |
| 15 เปลือกมะนาว | 68.2 | 0.2 | 26.5 | 2.6 | - | 3.4 | 240 | 52 | 1.4 | 180 | 0.07 | 0.06 | 1.0 | 68 | |
| 16 เปลือกมะนาวฝรั่ง | 79.4 | 0.3 | 18.6 | 2.0 | - | 1.1 | 128 | 16 | 0.9 | 20 | 0.07 | 0.09 | 0.3 | 256 | |
| 17 ฝรั่งเนื้อแดง | 65.4 | 0.4 | 32.5 | 5.7 | - | 1.0 | 33 | 28 | 0.6 | 105 | 0.06 | 0.04 | 2.1 | 126 | |
| 18 ฝรั่งเนื้อขาว | 72.3 | 4.4 | 25.4 | 5.0 | - | 1.2 | 22 | 34 | 0.8 | 65 | 0.07 | 0.04 | 1.6 | 104 | |
| 19 พุทรา | 81.7 | 0.4 | 16.4 | 0.4 | - | 1.0 | 44 | 96 | 1.0 | 110 | 0.01 | 0.02 | 0.7 | 25 | |
| 20 มะกรูด | 93.5 | 28 | 1.4 | 4.2 | 0.8 | - | 0.6 | 27 | 8 | 0.5 | - | 0.04 | 0.02 | 0.1 | 42 |
| 21 มะกอกน้ำ, | | | | | | | | | | | | | | | |
| มะกอกฝรั่ง | 75.0 | 95 | Tr. | 23.0 | 0.6 | - | 1.0 | 20 | - | 1.2 | 50 | 0.10 | 0.04 | 1.0 | 40 |
| 22 มะขามสุก | 33.4 | 233 | 0.6 | 61.4 | 2.9 | - | 2.0 | 94 | 78 | 0.9 | 0 | 0.33 | 0.10 | 1.0 | 4 |
| 23 มะขามเทศ | 72.8 | 79 | 0.4 | 18.2 | 1.2 | - | 3.0 | 13 | 42 | 0.5 | 25 | 0.24 | 0.10 | 0.6 | 133 |
| 24 มะขามป้อม | 73.3 | 59 | 0.1 | 14.1 | 3.4 | - | 0.5 | 50 | 20 | 1.2 | - | - | - | 0.2 | 600 |
| 25 มะม่วงดิบ | 85.1 | 53 | 0.2 | 13.8 | 0.4 | - | 0.5 | 16 | 15 | 0.3 | 135 | 0.08 | 0.04 | 0.2 | 73 |
| 26 มะม่วงสุก | 83.9 | 57 | 0.2 | 15.0 | 0.4 | - | 0.5 | 8 | 17 | 0.5 | 2,580 | 0.09 | 0.05 | 0.7 | 47 |
| 27 มะยม | 90.6 | 36 | 0.8 | 7.4 | 0.8 | - | 0.7 | 34 | 22 | 1.9 | 55 | 0.02 | 0.01 | 0.6 | 4 |
| 28 มะละกอ | 86.4 | 48 | 0.2 | 12.2 | 0.6 | - | 0.6 | 23 | 10 | 0.7 | 425 | 0.03 | 0.03 | 0.4 | 89 |

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

| ผลไม้ต่างๆ | Moisture | | | | | | | | | | Protein | | | | | Vitamins | | | | |
|----------------|----------|------|-----|------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|---------|----------------|----------------|--------|-----|----------|--|--|--|--|
| | g. | Cal. | Fat | CHO. | Fibre | A | V | Ca. | P. | Fe. | A | B ₁ | B ₂ | Niacin | C | | | | | |
| | gm. | Unit | gm. | gm. | gm. | gm. | gm. | gm. | gm. | mg. | I.U. | mg. | mg. | mg. | mg. | | | | | |
| 29 มะเฟือง | 90.1 | 36 | 0.7 | 8.6 | 0.9 | 0.4 | 7 | 16 | 1.0 | 45 | 0.03 | 0.02 | 0.3 | 35 | | | | | | |
| 30 มังคุด | 79.2 | 79 | 1.0 | 18.8 | 1.6 | 0.8 | 10 | 15 | 0.8 | 0 | 0.03 | 0.01 | 0.5 | 3 | | | | | | |
| 31 มังคุดฝรั่ง | 75.3 | 91 | 1.0 | 21.5 | 2.6 | 1.7 | 29 | 9 | 1.3 | 70 | 0.01 | 0.01 | 0.3 | 29 | | | | | | |
| 32 สาลี่ | 84.1 | 56 | 0.2 | 14.3 | 1.0 | 0.9 | 17 | 24 | 1.1 | 0 | 0.07 | 0.04 | 1.0 | 3 | | | | | | |
| 33 ลำไย | 82.4 | 61 | 0.1 | 15.8 | 0.4 | 1.0 | 10 | 42 | 1.2 | - | - | - | - | 6 | | | | | | |
| 34 ลำไย,แห้ง | 17.6 | 286 | 0.4 | 75.0 | 2.0 | 4.9 | 45 | 196 | 5.4 | - | 0.04 | - | - | 28 | | | | | | |
| 35 ลิ้นจี่ | 81.9 | 64 | 0.3 | 16.4 | 0.3 | 0.9 | 8 | 42 | 0.4 | - | - | 0.05 | - | 42 | | | | | | |
| 36 ลูกเกด | 18.0 | 289 | 0.2 | 77.4 | 0.9 | 2.5 | 62 | 101 | 3.5 | 20 | 0.11 | 0.08 | 0.5 | 1 | | | | | | |
| 37 ลูกท้อ | 89.1 | 38 | 0.1 | 9.7 | 0.6 | 0.6 | 9 | 19 | 0.5 | 1,330 | 0.02 | 0.05 | 1.0 | 7 | | | | | | |
| 38 ลูกพลับ | 79.6 | 81 | 0.2 | 19.0 | - | 0.8 | 10 | 10 | 0.3 | 1,710 | - | - | - | - | | | | | | |
| 39 ลูกหวาย | 79.1 | 78 | 1.2 | 16.4 | 0.5 | 0.6 | 19 | 10 | 1.8 | - | 0.06 | 0.01 | 0.9 | 5 | | | | | | |
| 40 สาลี่ | 80.2 | 68 | 0.5 | 16.4 | 1.3 | 2.2 | 29 | 27 | 1.3 | 45 | 0.09 | 0.06 | 1.4 | 52 | | | | | | |
| 41 สาลี่ | 85.8 | 53 | 0.7 | 12.6 | 2.0 | 0.6 | 9 | 8 | 0.4 | - | 0.01 | 0.01 | 0.2 | 2 | | | | | | |
| 42 สับปะรด | 84.9 | 54 | 0.3 | 14.0 | 0.5 | 0.4 | 22 | 8 | 0.4 | 15 | 0.09 | 0.04 | 0.2 | 17 | | | | | | |

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

| เลขที่ต่าง ๆ | Moisture | | | Protein | | | | | | Vitamins | | | | | |
|------------------|----------|-----------|----------|-----------|------------|-------|-------|---------|--------|----------|---------|--------------------|--------------------|--------------|-----|
| | gms. | Cal. Unit | Fat gms. | CHO. gms. | Fibre gms. | A gm. | V gm. | Ca. mg. | P. mg. | Fe. mg. | A. I.U. | B ₁ mg. | B ₂ mg. | Niacin C mg. | |
| 43 ส้มเกลี้ยง | 87.2 | 45 | 0.2 | 11.2 | 0.6 | - | 0.9 | 33 | 23 | 0.4 | 190 | 0.08 | 0.03 | 0.2 | 49 |
| 44 ส้มเขียวหวาน | 91.2 | 24 | 0.1 | 8.0 | 0.2 | - | 0.4 | 33 | 17 | 0.2 | 50 | 0.11 | 0.02 | 0.2 | 20 |
| 45 ส้มจิน | 57.3 | 44 | 0.3 | 10.9 | 1.0 | - | 0.8 | 33 | 23 | 0.4 | 420 | 0.03 | 0.07 | 0.2 | 31 |
| 46 ส้มโอ | 51.0 | 67 | 0.2 | 17.8 | 0.6 | - | 0.5 | 21 | 18 | 0.5 | 10 | 0.02 | 0.01 | 0.2 | 58 |
| 47 สตรอเบอรี่ | 91.3 | 30 | 0.2 | 7.2 | 1.6 | - | 0.8 | 34 | 21 | 1.2 | 15 | 0.03 | 0.03 | 0.3 | 107 |
| 48 แอปเปิ้ลแดง | 83.5 | 59 | 0.2 | 15.2 | 0.7 | - | 0.8 | 8 | 8 | 0.2 | 55 | 0.02 | 0.02 | 0.1 | 2 |
| 49 แอปเปิ้ลเขียว | 84.3 | 56 | 0.1 | 14.6 | 0.7 | - | 0.6 | 10 | 4 | 0.1 | 35 | 0.01 | 0.02 | 0.1 | 2 |
| 50 องุ่น | 78.9 | 76 | 0.4 | 19.9 | 2.3 | - | 0.4 | 5 | 19 | 0.5 | - | 0.06 | 0.02 | 0.2 | 3 |

อดีตคณะอนุกรรมการสาขาโภชนาศาสตร์ ตำราโภชนาการ โรงพิมพ์คุรุสภา 2517 หน้า 247 - 249

นอกจากวิตามินซีแล้วในผลไม้ที่มีสีเหลืองหรือสีส้มจะมีแคโรทีนหรือโปรวิตามินเอสูง เช่น มะม่วงสุก ลูกท้อ มะละกอสุก ส่วนขนุน กัลยน้ำว่า แดงโม แดงไทยและส้มมีวิตามินเอพอควร ใช้เสริมวิตามินเอให้แก่อาหารประจำวันได้

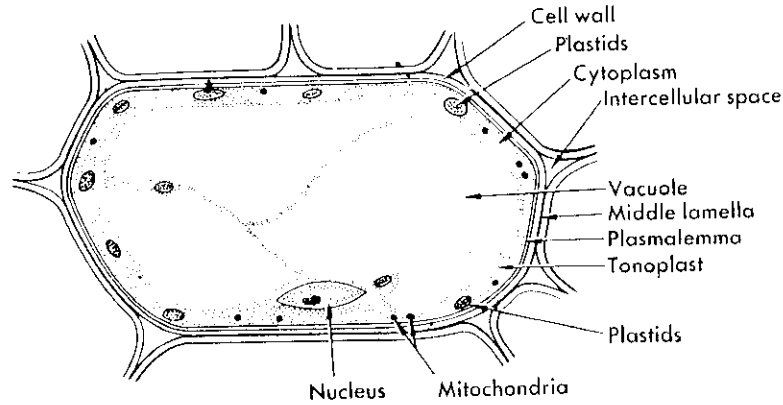
ในผลไม้มีแร่ธาตุหลายชนิด แต่มีเพียงชนิดละเล็กน้อยเท่านั้น ผลไม้แห้งเป็นแหล่งของเหล็ก ถ้าเป็นผลไม้สดจะต้องรับประทานปริมาณมากหน่อย ผลไม้ประเภทส้ม สตรอเบอรี่ มีแคลเซียมมากพอควร ผลไม้สดส่วนใหญ่มีเหล็กอยู่น้อย ผลไม้แห้ง เช่น ลูกเกดและลูกพรุน มีเหล็กมากเป็นพิเศษ

แม้ว่าปริมาณทั้งหมดของคาร์โบไฮเดรตจะคงที่ในผลไม้แต่ละชนิด แต่มันเปลี่ยนรูปได้ขึ้นกับความแก่อ่อนของผลไม้ ผลไม้ที่ยังไม่สุกจะมีปริมาณแป้งมาก ผลไม้ที่สุกแล้วจะมีแป้งน้อย เพราะคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ผลไม้สุกจึงมักมีรสหวาน น้ำตาลเป็นแหล่งของพลังงาน ผลไม้แห้งมีรสหวานจัดจึงให้พลังงานสูงมาก เซลลูโลสและสารจำพวกเพ็คติคก็จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตและเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างของผลไม้ ผลไม้มีเซลลูโลสมากช่วยในการขับถ่ายได้

องค์ประกอบสำคัญในผลไม้ยังมีเอ็นไซม์และกรดอินทรีย์ เอ็นไซม์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลไม้สุก ผลไม้บางชนิดเมื่อสุกจะมีน้ำตาลอินเวท (Invert sugars) อยู่มาก เกิดจากผลการกระทำของเอ็นไซม์ Invertase ต่อซูโครส ผลไม้มีปริมาณของกรดอินทรีย์สูง ความเป็นกรดในผลไม้จะช่วยป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ในผลไม้กระป๋องและผลไม้แช่เย็น

5.3 โครงสร้างของผักและผลไม้

ผักสดและผลไม้สดเป็นกลุ่มเซลล์ที่มีชีวิตซึ่งยังคงมีปฏิกิริยาเมตาโบลิซึมเกิดอยู่ แม้หลังการเก็บเกี่ยวมันถูกตัดจากเนื้อเยื่อของพืชที่ให้น้ำและสารอาหารอื่น ๆ มันก็ยังคงมีชีวิตอยู่ต่อไป เนื้อเยื่อของพืชประกอบด้วยเซลล์หลายชนิด ส่วนที่กินได้ของผักและผลไม้ส่วนใหญ่เป็นเซลล์พาราเนไคมา (parenchyma cell) (รูปที่ 5.1) เซลล์ชนิดนี้มีอยู่ทั่วไปในใบ ผล และลำต้นที่ยังอ่อนอยู่ เซลล์พาราเนไคมามีผนังเซลล์บางอาจมีรูปร่างเป็นรูปหลายเหลี่ยมหรือเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ เซลล์พาราเนไคมาไม่ได้เรียงกันอย่างแน่นอนแต่มักจะแยกโดยมีช่องอากาศคั่นอยู่ เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเซลล์



รูปที่ 5.1 ส่วนประกอบของเซลล์พาราเรโนไมมา

ผนังของเซลล์พาราเรโนไมมาในพืชที่ยังอ่อนอยู่ประกอบด้วยเส้นใยของเซลลูโลสเกือบทั้งหมด เซลล์เหล่านี้ยึดติดกันโดยสารจำพวกซีเมนต์ (cementing substances) ซึ่งในพืชอ่อนจะเป็นสารพวกเพคติก (pectic substances) เมื่อพืชแก่ลงสารจำพวกซีเมนต์เหล่านี้จะเปลี่ยนไปจะมีลิกนิน (lignins) และสารประกอบอื่น ๆ มาพอกอยู่ และชั้นของเซลลูโลสของผนังเซลล์จะหนาขึ้น พืชที่แก่ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นอาหารเพราะมันแข็งและมีกากมากแม้หลังต้มแล้วก็ตาม

สารที่อยู่ภายในผนังเซลล์คือโปรโตพลาสซึมซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมากเกิดเป็นของเหลวชั้นหรือเจล (gel) โมเลกุลบางชนิดละลายได้ในน้ำในโปรโตพลาสซึม แต่โมเลกุลอื่น ๆ เช่น โปรตีน จะกระจายอยู่เป็นคอลลอยด์ (colloidal dispersed) โปรโตพลาสซึมแยกออกได้เป็นหลายส่วน ส่วนที่สำคัญที่สุดคือ นิวเคลียสเชื่อกันว่า นิวเคลียสเป็นตัวควบคุมแอกติวิตีของเซลล์และเซลล์จะมีชีวิตอยู่ไม่ได้ถ้าปราศจากนิวเคลียส เซลล์พาราเรโนไมมาของใบ และในเนื้อเยื่ออื่น ๆ อาจประกอบด้วยเม็ดพลาสติด (plastids) สีเขียวเรียกว่าคลอโรพลาสต์ (chloroplasts) ซึ่งเป็นแหล่งของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ที่สำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืช พลาสติดที่มีสีอื่น ๆ เกิดจากการมีรงควัตถุอื่น ๆ อยู่เรียกว่า คโรโมพลาสต์ (chromoplast) เช่น ในแครอท มันเทศเหลือง ส่วนพลาสติดที่ไม่มีสี เรียกว่า ลิวโคพลาสต์ (leucoplasts) ซึ่งทำหน้าที่สร้างและเก็บแป้ง เช่น ในมันเทศและมันสำปะหลัง

นอกจากพลาสติดแล้วในเซลล์ยังมีแวคิวโอล (vacuoles) ซึ่งเป็นช่องว่างอยู่กลางเซลล์ประกอบด้วยสารละลายของเกลือ น้ำตาลและสารอื่น ๆ ที่ละลายได้ในน้ำ สารละลายนี้บางครั้งเรียกว่า เซลล์แซป (cell sap) ในเซลล์ที่ยังอ่อนอยู่แวคิวโอลจะเล็กและมีเป็นจำนวนมากเมื่อเซลล์เจริญมากขึ้น ขนาดของแวคิวโอลจะใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็วโดยการดูดน้ำและโมเลกุลเล็กอื่น ๆ

ไว้ และจะมารวมกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ แต่มีจำนวนน้อยลง ในเซลล์ที่เจริญเต็มที่ แวกิวโอล จะมารวมกันอยู่กลางเซลล์เพียงอันเดียว เซลล์ที่มีปริมาณไขมันสูงอาจมีแวกิวโอลของน้ำมัน ด้วย

เซลล์ประเภทอื่น ๆ นอกจากเซลล์พาเรนไคมาคือ เซลล์คอนดักติง (conducting cell), เซลล์ค้ำจุน (supporting cell) และเซลล์คุ้มกัน (protecting cell) เซลล์คอนดักติงประกอบด้วย ท่อลำเลียงน้ำและแร่ธาตุไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เซลล์ที่ประกอบกันเป็นท่อลำเลียงมี 2 แบบคือ เซลล์ของท่อลำเลียงน้ำและแร่ธาตุจากรากไปสู่ใบ เรียกว่า xylem และเซลล์ของท่อลำเลียงอาหาร ไปยังเซลล์ต่าง ๆ ของต้นพืช เรียกว่า phloem ผนังของท่อส่งน้ำและแร่ธาตุประกอบด้วย เซลลูโลสและมีลิกนินช่วยเสริมให้ผนังหนาและแข็งแรงยิ่งขึ้น ส่วนผนังของท่อส่งอาหารมีลิกนิน เพียงเล็กน้อย เซลล์ประเภทนี้พบในผักที่มาจากส่วนที่เป็นลำต้นของพืช เช่น ก้านผักคะน้า ผักกะเฉด เป็นต้น

เซลล์ค้ำจุนมีไม่มากในพืชที่ยังอ่อนอยู่หรือในส่วนที่ยังอ่อนอยู่ของต้นพืชซึ่งต้องการ อาหาร มันประกอบด้วยเซลล์ที่เป็นท่อนยาวและมีผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งจะหนา ขึ้นเมื่อพืชเจริญเต็มที่และปกคลุมด้วยลิกนิน พืชบางชนิดมีเซลล์ค้ำจุนอีกแบบหนึ่งซึ่งมีผนังเซลล์ ประกอบด้วยเซลลูโลสและสารเพ็คติคแทนเซลลูโลสและลิกนิน

เซลล์คุ้มกันประกอบด้วยเซลล์พาเรนไคมาชนิดพิเศษซึ่งประกอบด้วยซูเบอร์ิน (suberin) และคิวติน (cutin) ซึ่งมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้งปกคลุมบนผิวของผักและผลไม้ เซลล์เหล่านี้จะ อัดกันแน่นและมักจะค่อนข้างแข็ง ปกติเอพิเดอร์มิส (epidermis) ของผลไม้และใบประกอบด้วย ปากใบ (stomata) ซึ่งจะมีมากทางด้านท้องใบมากกว่าด้านหลังใบ ปากใบจะปิดเปิดให้ก๊าซผ่าน เข้าออกได้ ปากใบจะเปิดกว้างในตอนกลางวันเพื่อคายออกซิเจนและน้ำซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์ แสงโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนในเวลากลางคืนพืชจะหายใจเอาออกซิเจนเข้าและคายเฉพาะ คาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น เพื่อป้องกันมิให้มีการสูญเสียน้ำออกทางปากใบมากเกินไป คิวติน และซูเบอร์ินจะปกคลุมเซลล์เอพิเดอร์มิสเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและช่วยป้องกันเซลล์จาก การกระทบกระเทือนและการเจาะกินของแมลง ราและเชื้อจุลินทรีย์ เป็นที่น่าสังเกตคือ ถ้าหากผิว ของผักหรือผลไม้ฉีกขาด มันจะเก็บได้ไม่นานไม่ว่าก่อนหรือหลังเก็บเกี่ยว

เซลล์ของผักและผลไม้หลังเก็บเกี่ยวจะยังคงมีชีวิตอยู่ เซลล์เหล่านี้จะตายก็ต่อเมื่อผัก และผลไม้ถูกตำให้สุกแล้ว อาหารที่แช่แข็งหรือเก็บไว้เป็นเวลานานเซลล์ก็ตายได้

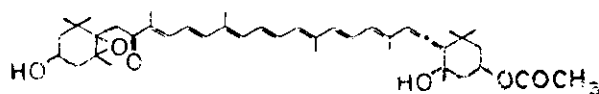
5.4 รงควัตถุในผักและผลไม้

นอกจากกลิ่นรสของผักและผลไม้แล้ว สีของผักและผลไม้มีส่วนช่วยให้ผักและผลไม้ดูน่ารับประทาน สารสีหรือรงควัตถุ (pigments) ส่วนใหญ่อยู่ในพลาสติด (plastid) ซึ่งอยู่ในโปรโตพลาสซึมของเซลล์ เช่น คลอโรพิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวเกิดในคลอโรพลาสต์และแคโรทีนอยู่ในโครโมพลาสต์ บางครั้งรงควัตถุอาจเป็นผลึกลอยอยู่ในโปรโตพลาสซึม เช่น แท่งของแคโรทีนในเซลล์ของแครอท เป็นต้น รงควัตถุที่ละลายน้ำได้จะละลายอยู่ในแวนดีวอลแตไม่กระจายทั่วเซลล์ รงควัตถุสำคัญในผักและผลไม้อาจจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

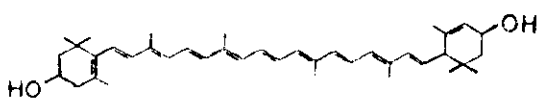
1. แคโรทีนอยด์ (carotenoids)
2. คลอโรพิลล์ (chlorophylls)
3. แอนโทไซยานินและ แพลโวนอยด์ (Anthocyanins and Flavonoids)

5.4.1 แคโรทีนอยด์

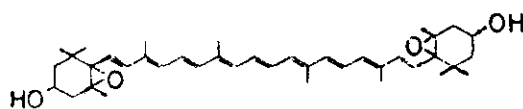
แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มรงควัตถุสีเหลืองและสีส้ม ซึ่งส่วนใหญ่ละลายในไขมันได้ พบอยู่ทั่วไปในผลิตภัณฑ์ของพืชและสัตว์ในธรรมชาติ รงควัตถุเหล่านี้มีอยู่ทั่วไปและมีปริมาณมากในธรรมชาติ Isler กะว่าปริมาณของแคโรทีนอยด์ที่เกิดในธรรมชาติมีมากกว่า 100,000,000 ตันต่อปี แคโรทีนอยด์มีมากที่สุดคือ ฟิวโคแซนธิน (fucoxanthin) (5.1) ในสาหร่ายหลายชนิด และแคโรทีนอยด์สำคัญ 3 ตัวในพืชใบสีเขียวคือ ลูทีน (lutein) (5.2), ไวโอลาแซนธิน (violaxanthin) (5.3) และนีโอแซนธิน (neoxanthin) (5.4) แคโรทีนอยด์อื่น ๆ ที่มีปริมาณน้อยแต่เกิดอยู่ทั่วไปคือ เบต้าแคโรทีน (β -carotene) (5.5) และซีแซนธิน (zeaxanthin) (5.6) รงควัตถุอื่น ๆ เช่น ไลโคพีน (lycopene) (5.7) มีในมะเขือเทศ, แคปแซนธิน (capsanthin) (5.8) ในพริกแดงและบิกซิน (bixin) (5.9) ในต้นชาด (annatto)



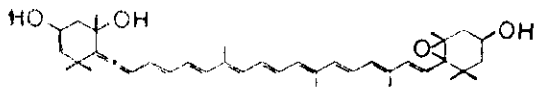
Fucoxanthin (5.1)



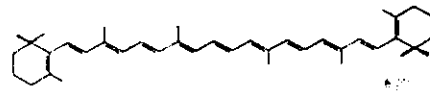
Lutein (5.2)



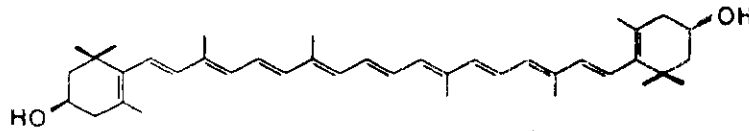
Violaxanthin (5.3)



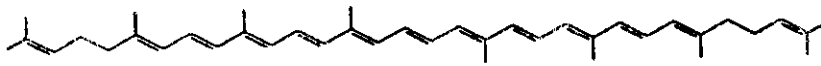
Neoxanthin (5.4)



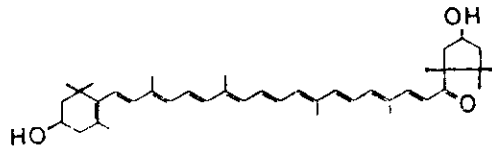
β - carotene (5.5)



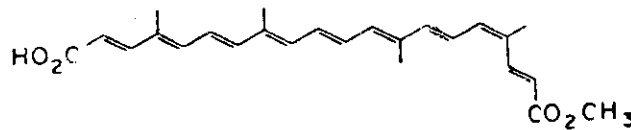
Zeaxanthin (5.6)



Lycopene (5.7)



Capsanthin (5.8)



Bixin (5.9)

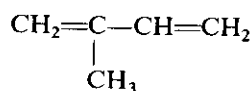
ในผักใบสีเขียว แคโรทีนอยด์อยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งมีคลอโรฟิลล์อยู่ด้วย สีเขียวของคลอโรฟิลล์กลบสีเหลืองของแคโรทีนอยด์จนมองไม่เห็น ส่วนสีเหลืองของผักทองและแครอทเกิดจากแคโรทีนที่อยู่ในโครโมพลาสต์ (chromoplast)

ก. โครงสร้างของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ประกอบด้วยสารประกอบพวงไฮโดรคาร์บอนที่เรียกว่า แคโรทีน (carotenes) และอนุพันธ์ออกซิเจนของมันที่เรียกว่า แซนโทฟิลล์ (xanthophylls)

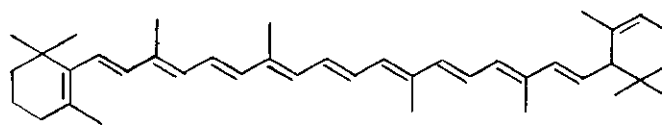
แคโรทีนเป็นรงควัตถุพวกแรกที่ถูกสกัดได้จากแครอท โดย Wackenroder ในปี 1831 แคโรทีนเป็นสารผสมของไอโซเมอร์ 3 ตัวคือ แอลฟาแคโรทีน (α -carotene) (5.10), เบต้าแคโรทีน (β -carotene) (5.5) และแกมมา-แคโรทีน (γ -carotene) (5.11)

แคโรทีนอยด์ที่เป็นไฮโดรคาร์บอนหรืออนุพันธ์ของไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีน (isoprene units) ซึ่งเป็นไดอีนตัวหนึ่ง

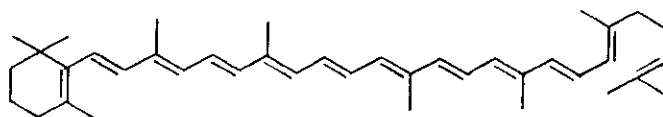


Isoprene Unit

ไอโซพรีนเป็นหน่วยย่อยของแคโรทีนอยด์ ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอม 5 ตัว มีแคโรทีนอยด์เป็นจำนวนมากประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมถึง 40 ตัว หรือมีหน่วยไอโซพรีน 8 หน่วย โมเลกุลบางตัวของแคโรทีนอยด์มีความสมมาตร เช่น เบต้าแคโรทีนและไลโคพีน (lycopene) (5.7) ถ้าแบ่งครึ่งโมเลกุลของแคโรทีนอยด์เหล่านี้ จะได้สองส่วนเป็นภาพในกระจกเงาของกันและกัน



α -Carotene (5.10)

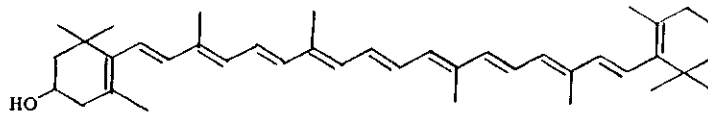


γ -Carotene (5.11)

แคโรทีนอยด์อื่น ๆ มีหมู่ธาตุต่าง ๆ ที่ปลาย 2 ด้านต่างกัน แต่มีโครงสร้างส่วนกลางเหมือนกัน เช่น แอลฟาแคโรทีน และแกมมาแคโรทีน แคโรทีนอยด์ซึ่งมีหมู่ที่ปลายแตกต่างกันมีประมาณ 300 ตัว และยังมีการค้นพบตัวใหม่เรื่อย ๆ แคโรทีนอยด์ที่ค้นพบใหม่บางตัวมีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 40 ตัว

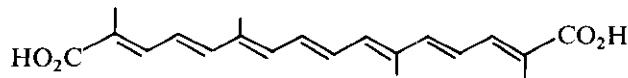
อนุพันธ์ของแคโรทีนที่ประกอบด้วยออกซิเจน เรียกว่า แซนโทฟิลล์ (Xanthophylls) ซึ่งสามารถแยกได้จากพืชและมักจะรวมกับแคโรทีน ในนอกจากจะมีแคโรทีนซึ่งเป็นรงควัตถุสีเหลืองแล้วมันยังประกอบด้วยแซนโทฟิลล์ด้วย ตัวอย่างของแซนโทฟิลล์ได้แก่คริปโตแซนทิน (cryptoxanthin) (5.12) ซึ่งเป็นรงควัตถุสำคัญในข้าวโพด ปาปริก้า (paprika) มะละกอ และ

ส้มแมนดาริน (mandarin orange)



Cryptoxanthin (5.12)

คริปโตแซนธินก็เช่นเดียวกับแคโรทีนคือประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนและมีระบบคอนจูเกตเหมือนกัน ความแตกต่างของคริปโตแซนธินและเบต้า-แคโรทีนอยู่ที่หมู่ไฮดรอกซิล ยังมีอนุพันธ์ของแคโรทีนอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วยออกซิเจนในหมู่อื่น ๆ บางชนิดเป็นคีโตน แต่บางชนิดเป็นกรดคาร์บอกซิลิกหรือไฮดรอกซีคาร์บอกซิลิก จำนวนของคาร์บอนอาจจะไม่ใช่ 40 ตัวเหมือนในแคโรทีนและแซนโทฟิลล์แต่อาจจะมีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่า เช่น คลอซีทิน (crocetin) (5.13) และบิกซิน (Bixin) (5.9)



crocetin (5.13)

แคโรทีนอยด์สามารถอยู่ในรูปอิสระในเนื้อเยื่อของพืช เป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งอสังฐานหรือเป็นสารละลายในลิปิด แคโรทีนอยด์ยังอาจจะเป็นเอสเทอร์ (esters) ของกรดไขมันหรือรวมกับน้ำตาลและโปรตีน แคโรทีนอยด์ที่เกิดเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว ตัวอย่างเช่น ลูทีน (5.2) ในใบไม้ของฤดูใบไม้ร่วงอยู่ในรูปเอสเทอร์โดยรวมกับกรดพาล์มิติก (palmitic acids) และกรดลิโนเลนิก (linolenic acids) ที่ตำแหน่ง 3 และ 3' แคปแซนธิน (5.8) ในปาปริกา (paprika) อยู่เป็นเอสเทอร์ของกรดลอริก (lauric acid ester) แคโรทีนอยด์เอสเทอร์ยังพบในดอกไม้ ผลไม้ และแบคทีเรียด้วย

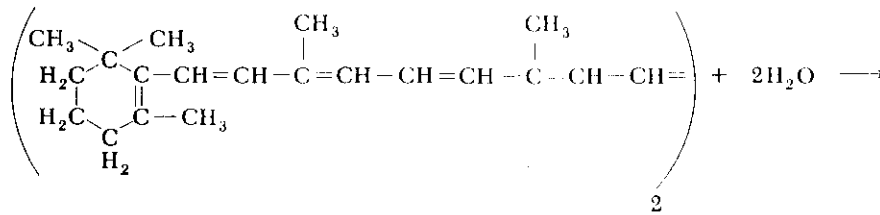
แคโรทีนอยด์ที่รวมกับโปรตีนค้นพบครั้งแรกจากการศึกษาสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง การที่แคโรทีนอยด์รวมกับโปรตีนช่วยทำให้มันเสถียรและสีก็เปลี่ยนไปด้วย เช่น แอสตาแซนธิน (astaxanthin) (5.14) เมื่อเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนจะให้สีฟ้าเทาหรือสีน้ำเงินเข้ม ซึ่งพบในเปลือกกุ้งทะเลใหญ่ (lobster) และปู เมื่อนึ่งปูหรือกุ้งทะเลใหญ่ รังควัตถุเหล่านี้จะเปลี่ยนเป็นสีแดง เนื่องจากความร้อนไปแยกแคโรทีนอยด์ออกจากแคโรทีนอยด์-โปรตีนคอมเพล็กซ์ สีที่ปรากฏจึงเป็นสีของแคโรทีนอยด์อิสระ นอกจากนี้ยังมีโอโวเวอร์ดีน (ovoverdin) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวในไข่ของกุ้งทะเลใหญ่ แคโรทีนอยด์-โปรตีน คอมเพล็กซ์ ยังพบในใบสีเขียว, แบคทีเรีย,

current liquid-liquid fractionation ซึ่งแยกตามสภาพการมีขั้วของแคโรทีนอยด์ออกเป็นประเภทต่าง ๆ เช่น พวกไฮโดรคาร์บอน, โมโนล (monols), ไดออล (diols), อีพอกไซด์ไดออล (epoxide diols), คีโตไดออล (ketodiols) และโพลีออล (polyols) แคโรทีนอยด์แต่ละกลุ่มที่แยกออกสามารถเอาไปแยกอีกโดยวิธีโครมาโตกราฟีออกเป็นสารบริสุทธิ์

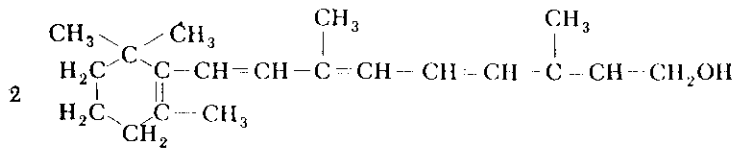
การพิสูจน์แคโรทีนอยด์อาจพิจารณาจากข้อมูลของ R_f , ตำแหน่งบนโครมาโตแกรม (chromatogram), และข้อมูลจากอัลตราไวโอเล็ต วิชิเบิลและอินฟราเรดสเปกตรัม และใช้วิธีทางเคมีสำหรับทดสอบหมู่ฟังก์ชันัลในโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ก็ได้ ปัจจุบัน แมสสเปคโตรเมตรี (mass spectrometry) และนิวเคลียร์แมกเนติกสเปคโตรสโคปี (nuclear magnetic resonance spectroscopy) ได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการหาสูตรโครงสร้างของแคโรทีนอยด์

ค. ปฏิกริยาเคมีของแคโรทีนอยด์

เบต้า-แคโรทีนเป็นพรีเคอร์เซอร์ (precursor) ของวิตามินเอ ไฮโดรลิซิส (hydrolysis) ของเบต้า-แคโรทีนจะให้วิตามินเอ 2 โมเลกุลดังสมการต่อไปนี้



β -Carotene



Vitamin A

แอลฟา-แคโรทีนซึ่งมีโครงสร้างครึ่งหนึ่งเหมือนกับของเบต้า-แคโรทีนก็เป็นพรีเคอร์เซอร์ของวิตามินเอได้ ส่วนไลโคพีนไม่ให้ออกติวิตี (activity) ของวิตามินเอ

การสูญเสียแคโรทีนอยด์ในอาหารส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากโมเลกุลของแคโรทีนอยด์เป็นระบบไม่อิ่มตัว เมื่อทิ้งไว้ให้ถูกอากาศนาน ๆ มันอาจถูกออกซิไดส์เองโดยออกซิเจนในอากาศ อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นกับแสง ความร้อน และ

การมีโปรออกซิแดนท์ (pro-oxidants) หรือแอนติออกซิแดนท์ (antioxidants) อยู่ การหุงต้ม ธรรมดาไม่มีผลต่อสีและคุณค่าทางโภชนาการของแคโรทีนอยด์ สีของแคโรทีนอยด์ทนกรดต่าง และไม่ถูกชะออกโดยน้ำ และในการหุงต้มนาน ๆ ไม่ทำให้สีของแคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงไป มากนัก ในผักและผลไม้ที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงจะยังคงมีสีสวยสดหลังหุงต้มแล้ว แต่แคโรทีนอยด์ในอาหารที่ตากแห้งอาจเปลี่ยนสีได้เมื่อทิ้งไว้ในอากาศนาน ๆ

ง. การป้องกันการสูญเสียแคโรทีนอยด์หรือวิตามินเอในอาหารและผลิตภัณฑ์อาหาร

การป้องกันการสูญเสียแคโรทีนอยด์หรือวิตามินเออาจใช้วิธีต่อไปนี้

- (1) เก็บอาหารไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ
- (2) รมควันกำมะถันหรือนำผลไม้มาคลุกซัลไฟต์ (sulfite) ก่อนตากแห้ง
- (3) อาจใช้แอนติออกซิแดนท์ (antioxidants) ช่วยป้องกันการปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร

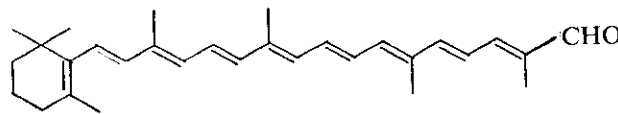
แต่ละชนิดและปริมาณของแอนติออกซิแดนท์จะต้องเป็นไปตามพระราชบัญญัติอาหารและยา

จ. การใช้แคโรทีนอยด์เป็นสีอาหาร

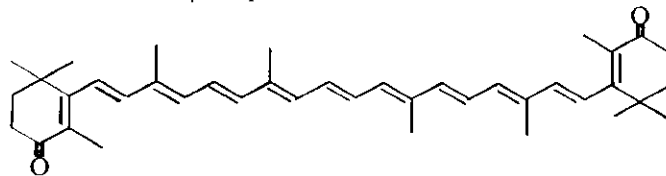
แคโรทีนอยด์ที่สกัดจากธรรมชาติได้จากต้นชาด (anatto), หญ้าฝรั่ง, ปาปริกา, มะเขือเทศ เป็นต้น ใช้เป็นสีของอาหารได้ รงควัตถุสีเหลือง เช่น ของเหลวสกัดจากแครอท, น้ำมันปาล์มและไขมันเนย มีแอกติวิตีของวิตามินเอด้วยเพราะมักมี เบต้า-แคโรทีนอยู่

แคโรทีนอยด์ 3 ชนิดที่ผ่านการรับรองแล้วว่าใช้ได้ในการอาหารคือ

1. เบต้า-แคโรทีนซึ่งจะให้สีจากเหลืองไปส้มและเป็นสีที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด
2. เบต้า-อะโป-8-แคโรทีนัล (β -apo-8-carotenal) (5.15) ให้สีจากส้มไปแดง
3. แคนธาแซนทีน (canthaxanthin) (5.16) ซึ่งจะให้สีแดงเป็นตัวที่ผ่านการรับรองล่าสุด



β - apo - 8 - carotenal (5.15)



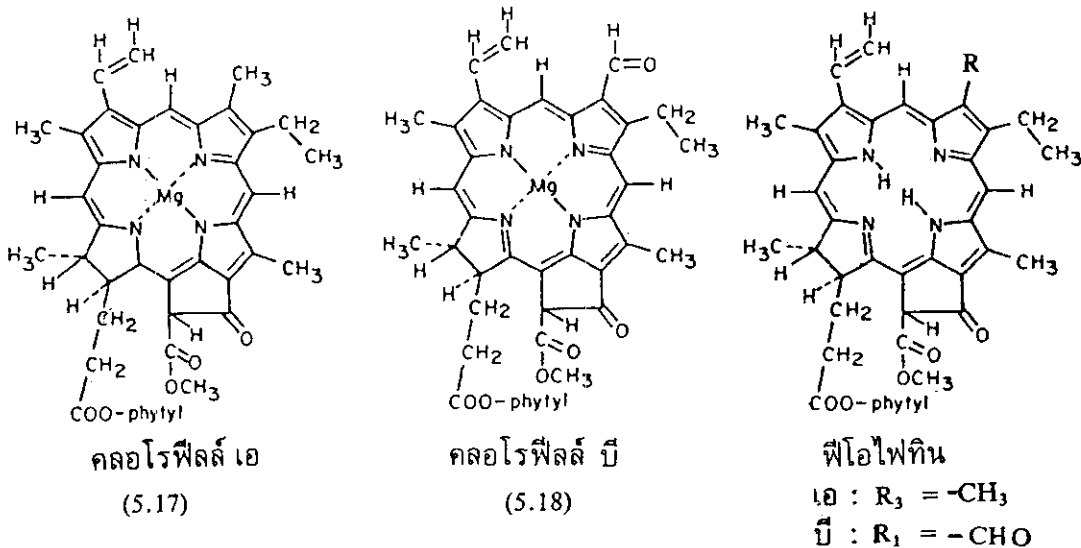
Canthaxanthin (5.16)

ไม่มีการจำกัดปริมาณของ เบต้า-แคโรทีนอยด์ที่ใช้ในอาหาร ส่วนปริมาณของเบต้าอะโพ-8-แคโรทีนัลและแคโรทีนอยด์อื่น มีจำกัดไว้คือ 15 และ 20 มิลลิกรัมตามลำดับต่อ 1 ปอนด์ของอาหารแข็งและ 1 พินท์ (pint) หรือ $\frac{1}{2}$ ควอร์ต (quart) ของอาหารเหลว

5.4.2 กลอโรฟิลล์ (chlorophylls)

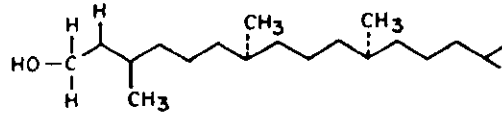
กลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่สำคัญที่สุดในพืชชั้นสูงอยู่ในคลอโรพลาสต์ซึ่งอยู่ใกล้กับผนังเซลล์ พบในทุกส่วนของพืชที่มีสีเขียว เช่น ใบ ก้านและในผลไม้ดิบ ใบเป็นส่วนที่มีกลอโรฟิลล์มากกว่าส่วนอื่น กลอโรฟิลล์จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืช กลอโรฟิลล์ดูดพลังงานจากแสงแดด เพื่อสร้างคาร์โบไฮเดรตจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

กลอโรฟิลล์จัดอยู่ในกลุ่มรงควัตถุที่เรียกว่าพอร์ไฟริน (porphyrins) ซึ่งรวมทั้งเฮโมโกลบิน (hemoglobin) ด้วย มันเป็นโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยวงไพร์โรล (pyrrole rings) ยึดติดกันโดยเมไธเนคาร์บอน (methine carbon, $-\text{CH}=\text{}$) เกิดเป็นโมเลกุลใหญ่ที่แบนราบ กลอโรฟิลล์มีหลายประเภท แต่กลอโรฟิลล์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารมีอยู่ 2 ตัวคือ กลอโรฟิลล์เอ (5.17) และ กลอโรฟิลล์บี (5.18)



ในกลอโรฟิลล์มีแมกนีเซียมอะตอมยึดติดกับไนโตรเจนอะตอม 2 ตัวโดยพันธะโคเวเลนต์ (covalent bonds) ส่วนไนโตรเจนอีก 2 ตัวต่างแบ่งอิเล็กตรอน 2 ตัวเพื่อใช้ร่วมกับแมกนีเซียม เกิดเป็นพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ (coordinate covalent bonds) กลอโรฟิลล์เอเหมือนกับกลอโรฟิลล์บีทุกประการ ยกเว้นตำแหน่งที่ 3 ในกลอโรฟิลล์เอ จะเป็นหมู่เมทิล ส่วนในกลอโรฟิลล์

บีเป็นหมู่ฟอร์มิล (formyl group) คลอโรฟิลล์เป็นเอสเทอร์โดยโพรพิโอนิกเรซิดิว (propionic residue) ที่ตำแหน่งที่ 7 ถูกเอสเทอร์ไฟด์ (esterified) ด้วยไฟทอล (phytol) (5.19) ส่วนที่เป็นกรดตรงตำแหน่งที่ 6 จะถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยเมธานอล



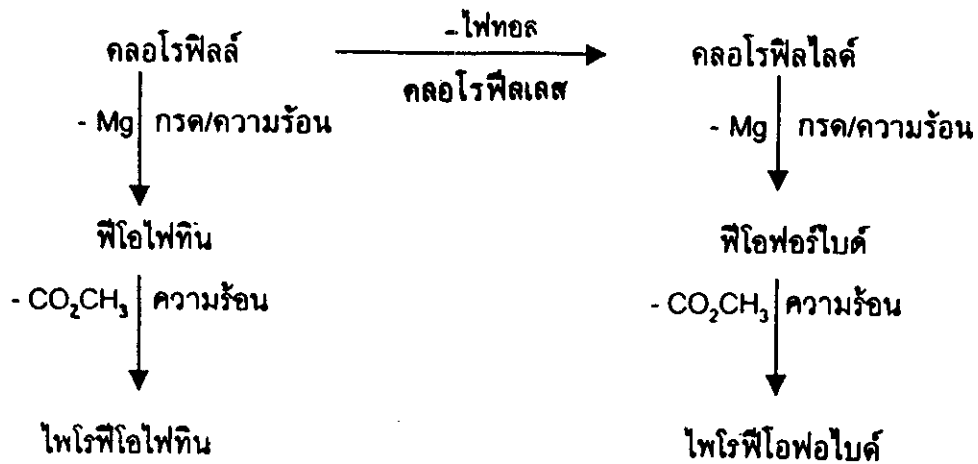
phytol (5.19)

ในใบของพืช คลอโรฟิลล์ เอ และ บี อยู่ในคลอโรพลาสต์ใกล้กับผนังเซลล์ ภายในคลอโรพลาสต์มีอนุภาคเล็ก ๆ เรียกว่า กรานา (grana) ซึ่งประกอบด้วยลามลลา (lamella) ระหว่างกรานาเป็นรูโบ (stroma) คลอโรฟิลล์ฝังอยู่ในลามลลาและรวมกับลิปิด โปรตีนและไลโปโปรตีน (lipoproteins)

คลอโรฟิลล์ซึ่งมีแมกนีเซียมถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจน เรียกว่า ฟีโอไฟทิน (pheophytin) ทั้งคลอโรฟิลล์ เอ และฟีโอไฟทิน เอ ละลายได้ในแอลกอฮอล์ อีเทอร์, เบนซีน และอะซิโตน เมื่อมันบริสุทธิ์จะละลายได้เล็กน้อยในปิโตรเลียมอีเทอร์ แต่ไม่ละลายในน้ำ ส่วนคลอโรฟิลล์ บี และฟีโอไฟทิน บี ละลายได้ในแอลกอฮอล์, อีเทอร์ อะซิโตนและเบนซีน และถ้าบริสุทธิ์จะละลายได้น้อยมากหรือแทบไม่ละลายในปิโตรเลียมอีเทอร์และน้ำ

ก. คุณสมบัติทางเคมีของคลอโรฟิลล์

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์อาจเกิดได้หลายทาง แต่ในขบวนการประกอบอาหารการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดคือ ฟีโอไฟทินไนเซชัน (pheophytinization) ซึ่งเป็นการแทนที่แมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ด้วยไฮโดรเจน และทำให้เกิดสีน้ำตาลของฟีโอไฟทิน (Pheophytin) นอกจากนี้ยังมีการแตกออกของโซ่ไฟทอล (phytol chain) ซึ่งจะเกิดคลอโรฟิลไลด์ (chlorophyllides) คลอโรฟิลไลด์มีสีเขียวเช่นเดียวกับคลอโรฟิลล์ แต่ละลายน้ำได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์ ถ้าแมกนีเซียมในคลอโรฟิลไลด์ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนจะได้ฟีโอฟอร์ไบด์ (pheophorbides) ซึ่งมีสีเขียวเช่นเดียวกับฟีโอไฟทิน และการแทนที่หมู่คาร์บอกซิลเมธิล (carboxymethyl group) ของฟีโอไฟทินโดยไฮโดรเจนอะตอม นำไปสู่การเกิดไพโรฟีโอไฟทิน (pyropheophytin) ซึ่งมีสีเขียวมะกอก (olive-green) ความสัมพันธ์ของสารประกอบที่กล่าวมานี้ อาจแสดงได้ดังนี้



ข. การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เนื่องจากความร้อน

เมื่อต้มผักใบเขียว ขณะที่น้ำเดือด อากาศที่แทรกอยู่ระหว่างเซลล์ร้อนขึ้นจะถูกดันออกมา สีของคลอโรฟิลล์(สีเขียว)จะปรากฏเด่นชัดขึ้น ต่อมาเซลล์ผักแตก สารที่อยู่ในแวคิวโอล (vacuole) รวมทั้งกรดอินทรีย์จะแพร่ไปทั่วเซลล์และละลายในน้ำต้มผัก กรดอินทรีย์ที่ปล่อยออกมาจากเนื้อเยื่อของผัก คลอโรฟิลล์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นฟิโอฟิติน(สีน้ำตาล) การเกิดฟิโอฟิตินในเซลล์ที่ขีเกิดจากความร้อนไปเพิ่มความสามารถในการแทรกซึม (permeability) ของไฮโดรเจนผ่านเยื่อเซลล์ ไฮโดรเจน 2 ตัวเข้าแทนที่แมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์จึงเกิดเป็นฟิโอฟิติน

ถ้าต้มผักในสารละลายต่าง ไฟทอลเรซินจะถูกไฮโดรไลส แต่แมกนีเซียมอะตอมยังคงอยู่ จะให้คลอโรฟิลไลด์ซึ่งมีสีเขียวเช่นเดียวกับคลอโรฟิลล์ ถึงแม้ว่าการเติมผงฟู (Baking soda) หรือโซดา(Sodium bicarbonate) ลงในน้ำต้มผักจะช่วยผักคงสีเขียวไว้ได้ แต่การต้มผักที่ pH สูงโดยเฉพาะถ้ามีแคทไอออน เช่น โซเดียมหรือโพแทสเซียมอยู่ เซลลูโลสจะถูกไฮโดรไลสอย่างรวดเร็ว และเนื้อของผักจะเละมาก และวิตามินบางชนิดโดยเฉพาะวิตามินซี และวิตามินบีหนึ่งจะถูกทำลายได้ ไฟทอลเรซินยังถูกไฮโดรไลสได้โดยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) ที่อยู่ในผักในช่วงที่เก็บผักไว้

การเติมเกลือคลอไรด์ของโซเดียม แมกนีเซียมหรือแคลเซียมลงในน้ำต้มผักจะช่วยลดการเกิดฟิโอฟิตินเนื่องจากการเติมแคทไอออนเหล่านี้ ทำให้ประจุลบที่ผิวของกรดไขมันและโปรตีนในเยื่อคลอโรพลาสต์ (chloroplast membrane) เป็นกลางและช่วยลดการดูดไฮโดรเจนผ่านเยื่อ จึงลดการเกิดฟิโอฟิติน

ค. การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ในผักที่ผ่านขบวนการแปรรูปและช่วงของการเก็บ

ผักใบเขียวที่ผ่านขบวนการต่าง ๆ เช่น การอบแห้ง การแช่แข็ง การฉายรังสี เป็นต้น และเก็บไว้ สีของผักมักจะเปลี่ยนแปลงไป เช่น ผักแห้ง ที่ใส่ในภาชนะใสจะเกิดออกซิเดชันโดยแสงแดด (photooxidation) ทำให้ผักมีสีซีดลง

ผักใบเขียวดิบที่ไม่ผ่านการลวก (blanching คือการนึ่งหรือลวกเพื่อฆ่าเอนไซม์และเชื้อจุลินทรีย์เป็นเวลา 1 ถึง 5 นาที) เมื่อนำไปแช่แข็งเก็บไว้ สีของผักจะเปลี่ยนไป นอกจากนี้ ผักยังมีรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ แต่รสชาติที่เปลี่ยนไปนี้มีได้เกิดจากฟิโอฟิติน

ในขบวนการทำผักกระป๋อง ปกติความร้อนที่ให้กับกระป๋องจะเพียงพอที่จะทำลายเอนไซม์ในผักได้ อย่างไรก็ตาม ในระหว่างช่วงที่บรรจุผักในกระป๋อง ใส่อากาศออกก่อนปิดกระป๋อง และนำไปเข้าหม้ออัดความดัน (autoclave) ช่วงระหว่างนั้น เอนไซม์บางตัวในผักยังคงแอกติฟอยู่ อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของผักและผลไม้ และเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ด้วย ด้วยเหตุนี้ผักก่อนบรรจุกระป๋องจะต้องผ่านความร้อน 90° ถึง 100° ซ เป็นเวลา 1 ถึง 5 นาที เพื่อทำลายเอนไซม์ก่อนแล้วจึงนำไปบรรจุกระป๋อง เพื่อช่วยกำจัดอากาศออกจากเนื้อเยื่อของผักและผลไม้

การสูญเสียสีเขียวในผลิตภัณฑ์ผักที่ผ่านขบวนการที่ใช้ความร้อน เป็นผลจากการเกิดฟิโอฟิตินและไฟโรฟิโอฟิติน และการฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อนสูง(สเตอริไลเซชัน)สามารถลดปริมาณของคลอโรฟิลล์ได้ถึง 80-100% ลำดับการเปลี่ยนแปลงเมื่อคลอโรฟิลล์ได้รับความร้อนคือ

คลอโรฟิลล์ → ฟิโอฟิติน → ไฟโรฟิโอฟิติน(สีเขียวมะกอก)

สีเขียวมะกอกที่พบในผักบรรจุกระป๋องเป็นสีของไฟโรฟิโอฟิติน เนื่องจากขบวนการ blanching ก่อนนำผักไปบรรจุกระป๋อง และขบวนการสเตอริไลเซชัน ทำให้คลอโรฟิลล์ทั้งหมดเปลี่ยนเป็นฟิโอฟิตินและไฟโรฟิโอฟิติน

ผักที่ฉายรังสีแกมมาแล้วเก็บไว้คลอโรฟิลล์ในผักจะถูกเปลี่ยนเป็นฟิโอฟิติน และยังมีการทำลายคลอโรฟิลล์และฟิโอฟิตินด้วย

ง. เทคโนโลยีการสงวนสีของคลอโรฟิลล์

ความพยายามหาวิธีที่จะสงวนสีของคลอโรฟิลล์ในผลิตภัณฑ์อาหารผักคือความพยายามทำให้อนุพันธ์ของคลอโรฟิลล์ที่มีสีเขียว(ได้แก่ คลอโรฟิลล์)ให้คงอยู่และผลิตภัณฑ์ที่มีสีเขียวเป็น

ที่ยอมรับ ได้แก่การการผลิตสารเชิงซ้อนโลหะที่มีสีเขียว

ในปี 1940 มีการใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อเพิ่ม pH และรักษาเนื้อสัมผัสของผัก แต่การใช้ขบวนการเหล่านี้ในทางการค้าไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากสารละลายต่างไม่สามารถทำให้กรดที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อเป็นกลางอย่างมีประสิทธิภาพเป็นระยะเวลายาวนาน สีของผักจึงเปลี่ยนแปลงไปหลังจากเก็บไว้ไม่ถึงสองเดือน

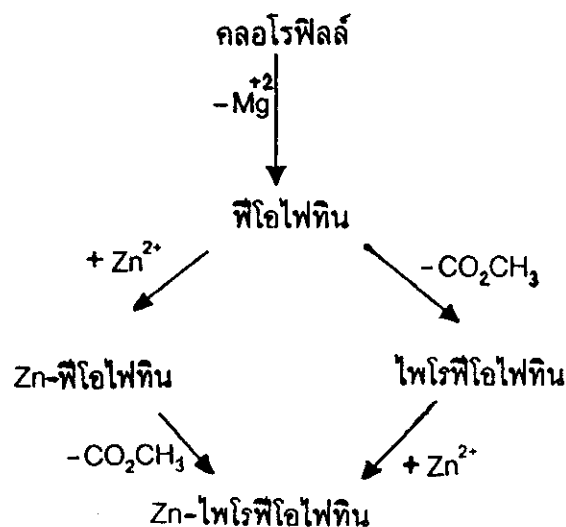
ขบวนการฆ่าเชื้อที่ใช้อุณหภูมิสูงและช่วงเวลาสั้น (HTST) ควบกับการปรับ pH ทำให้ตัวอย่างอาหารคงสีเขียวและมีคลอโรฟิลล์เหลืออยู่มากกว่าตัวอย่างอาหารที่ใช้วิธีการธรรมดา อย่างไรก็ตาม สีมักจะสูญเสียไประหว่างที่เก็บอาหาร

การนึ่ง(Blanching)ผักที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ผักขมหนึ่งที่ 65°C เป็นเวลา 45 นาทีมีสีเขียวที่ดูดี เนื่องจากคลอโรฟิลล์ถูกเปลี่ยนเป็นคลอโรฟิลล์ไลต์โดยการเหนี่ยวนำของความร้อน อย่างไรก็ตาม วิธีการสรงวนสีวิธีนี้ยังไม่เพียงพอที่จะรับประกันว่า จะนำไปใช้ได้ในการการค้า

การทำสารเชิงซ้อนสังกะสีหรือทองแดงของอนุพันธ์ของคลอโรฟิลล์ เป็นวิธีการที่ทำให้สีเขียวเสถียรมากขึ้น สารเชิงซ้อนทองแดงของฟีโอฟิทินและฟีโอฟอไบด์มีใช้ทางการค้าภายใต้ชื่อ copper chlorophyll และ copper chlorophyllin ตามลำดับ อนุพันธ์ของคลอโรฟิลล์ดังกล่าวไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในสหรัฐอเมริกา แต่ได้รับอนุญาตให้ใช้ได้ในประเทศแถบยุโรปภายใต้การควบคุมของEuropean Economic Community และ The Food and Agricultural Organisation (FAO) ของสหประชาชาติรับรองความปลอดภัยเกี่ยวกับการใช้ในอาหารโดยกำหนดให้มีปริมาณทองแดงไอออนอิสระไม่เกินกว่า 200 ppm ในอาหาร

การผลิตตรงควัตถุทองแดงนี้ในทางการค้า ทำได้โดยการสกัดคลอโรฟิลล์จากหญ้าแห้งหรือแอลฟาฟา โดยใช้อะซิโตนหรือตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีน เติมน้ำให้เพียงพอขึ้นกับปริมาณน้ำในพืชที่สกัด เพื่อช่วยการแทรกซึมของตัวทำละลาย ขณะเดียวกันป้องกันมิให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส ฟีโอฟิทินเกิดขึ้นเองในระหว่างการสกัด เมื่อเติม copper acetate จะเกิดcopper chlorophyllซึ่งละลายในน้ำมัน สารเชิงซ้อนอีกตัวหนึ่งได้จากการไฮโดรไลส์ฟีโอฟิทินโดยใช้กรดก่อนเติม copper acetate จะเกิด copper chlorophyllin ซึ่งละลายน้ำได้ สารเชิงซ้อนเหล่านี้มีความเสถียรมากกว่าสารเชิงซ้อนแมกนีเซียม ดังเช่นตัวอย่างอาหารเก็บที่ 25°C เป็นเวลา 25 ชั่วโมง พบว่า 95% ของคลอโรฟิลล์เสื่อมสลายไปขณะที่ copper chlorophyll สูญเสียเพียง 44%

การผลิตตัวและผักขมสีเขียวโดยทำให้เกิดสารเชิงซ้อนของสังกะสีทำได้หลายขบวนการ เช่น ต้มชุปถั่วที่เคี้ยวเปื่อยแล้วกรอง(pea puree) กับ 300 ppm ของ Zn^{2+} คลอโรฟิลล์ เอ จะลดลงจนถึงระดับต่ำมากหลังจากต้มเพียง 20 นาที พร้อมกับคลอโรฟิลล์ที่ลดลง จะเกิดสารเชิงซ้อนสังกะสีฟีโอฟิติน เอ(zinc pheophytin a)และสังกะสีไพโรฟีโอฟิติน เอ (zinc pyropheophytin a) เมื่อต้มต่อไป ความเข้มข้นของสังกะสีไพโรฟีโอฟิตินจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่สังกะสีฟีโอฟิตินลดลง นอกจากนี้สังกะสีไพโรฟีโอฟิตินอาจเกิดผ่านการกำจัดหมู่คาร์บอกซิลเมธิล (decarboxymethylation)ในสังกะสีฟีโอฟิติน หรือโดยปฏิกิริยาของไพโรฟีโอฟิตินกับ Zn^{2+} จากผลดังกล่าวจึงอาจกล่าวได้ว่า สีเขียวของผักที่ผ่านขบวนการนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการมีสังกะสีไพโรฟีโอฟิตินอยู่



5.4.3 แอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์ (Anthocyanins and Flavonoids)

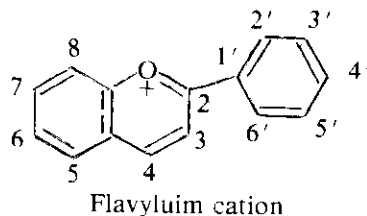
ก. แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) (มาจากรากศัพท์ภาษากรีก “antho” แปลว่าสีน้ำเงิน) ประกอบด้วยอะไกลโคน (aglycone) คือ แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) ซึ่งเอสเทอร์ไฟด์ (esterified) ติดกับน้ำตาล 1 ตัวหรือมากกว่า 1 ตัว น้ำตาลที่เป็นส่วนของแอนโทไซยานินโมเลกุลมีเพียง 5 ตัวคือ กลูโคส, แรมโนส (Rhamnose), กาแลกโตส, ซาโลสและอะลาบิโนส

แอนโทไซยานินเป็นกลุ่มรงควัตถุสีม่วงแดงซึ่งมีอยู่ทั่วไปในพืช ทั้งผักผลไม้และดอกไม้ เช่น กะหล่ำปลีสีม่วง ดอกกระเจี๊ยบ หอมแดงและดอกกุหลาบ เป็นต้น แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้และอยู่ในเซลล์แซป (cell sap) ซึ่งอยู่ในแนวคิวโอล์ ผลไม้เปลือกแดง เช่น แอปเปิ้ล

ชมพูสา แผลก ชมพูมะเหมี่ยว และมังคุด มีรงควัตถุชนิดนี้อยู่ที่เปลือกเท่านั้น ส่วนในเนื้อผลไม้ไม่มี

แอนโทไซยานินทั้งหมดเป็นอนุพันธ์ของแฟลวีเลียมแคทไอออน



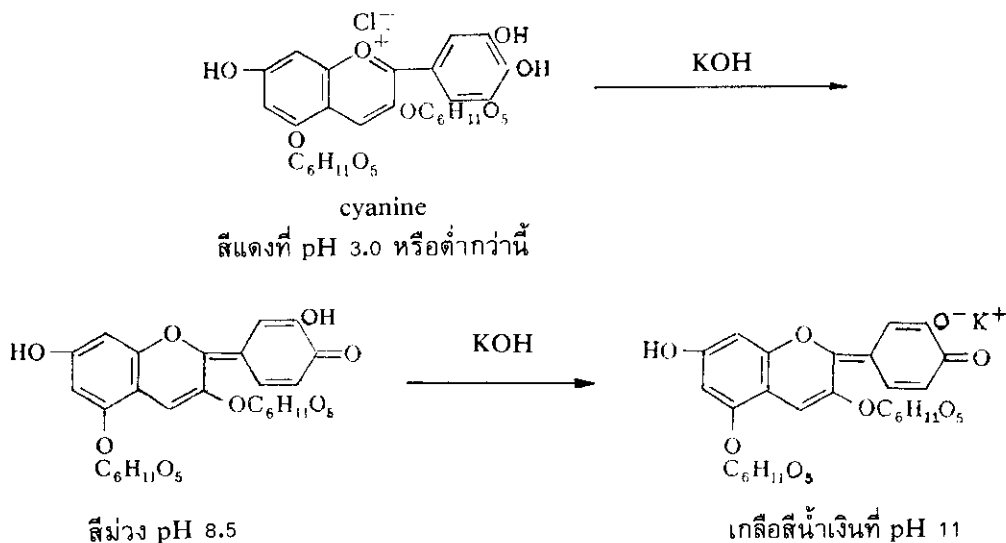
แอนโทไซยานินที่รู้จักมี 20 ตัว แต่ที่สำคัญในอาหารมีเพียง 6 ตัวคือ เพลาร์โกนิน (pelargonidin) (5.20) ไชยานิน (cyanidin) (5.21), เดลฟินิดิน (delphinidin) (5.22), พีโอนิน (peonidin) (5.23), พีทูนิดิน (petunidine) (5.24) และมัลวิดิน (malvidin) (5.25) แอนโทไซยานินตัวอื่น ๆ มีน้อยและพบอยู่ในดอกไม้และใบของพืชบางชนิด ตารางที่ 5.4 แสดงสูตรโครงสร้างของแอนโทไซยานินทั้ง 6 ตัวนี้

ตารางที่ 5.4 แอนโทไซยานินที่สำคัญ

| Anthocyanidins | หมู่แทนที่บนคาร์บอนตำแหน่งที่ | | |
|---------------------|-------------------------------|----|-----|
| | 3' | 4' | 5' |
| Pelargonidin (5.20) | H | OH | H |
| Cyanidin (5.21) | OH | OH | H |
| Delphinidin (5.22) | OH | OH | OH |
| Peonidin (5.23) | OMe | OH | H |
| Petunidin (5.24) | OMe | OH | OH |
| Malvidin (5.25) | OMe | OH | OMe |

แฟลวีเลียมนิวเคลียส (flavylium nucleus) ในรงควัตถุแอนโทไซยานินขาดอิเล็กตรอน มันจะว่องไวต่อปฏิกิริยาเป็นพิเศษ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการฟอกสีของรงควัตถุนี้ สีของแอนโทไซยานินขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 ประการคือ สูตรโครงสร้างและ pH ของตัวกลาง ถ้าจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลบนวงฟีนิล (phenyl ring) ของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นสีจะเป็นน้ำเงินมากขึ้น การแทนที่หมู่เมทอกซี (methoxy group) ที่ตำแหน่งเมตา (ตำแหน่ง 3' และ 5') จะเพิ่มสีแดงมากขึ้น สีของแอนโทไซยานินยังขึ้นกับ pH ของตัวกลางที่แอนโทไซยานินละลายอยู่ ตัวอย่างเช่น

ไซยานิน (cyanin) ซึ่งเป็นไซยานิดิน (cyanidin) ที่มีโมเลกุลของน้ำตาลมาจับที่ตำแหน่ง 3 และ 5 เป็นรงควัตถุสีแดงเมื่ออยู่ในกรด เมื่อ pH เป็นกลางมันจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงและเมื่อ pH เป็นด่างจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน สูตรโครงสร้างของไซยานินที่ pH ต่าง ๆ แสดงอยู่ในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 สูตรโครงสร้างและสีของไซยานินที่ pH ต่าง ๆ

อย่างไรก็ตามการพิจารณาสีของแอนโทไซยานินจากโครงสร้างของแอนโทไซยานิน และ pH เราจะต้องระวังให้มาก เพราะอาจไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ เช่น สีแดงของกุหลาบ และสีน้ำเงินเข้มของคอร์นฟลาวเวอร์ (cornflower) ต่างก็เกิดจากไซยานิน คอร์นฟลาวเวอร์ มีสีน้ำเงิน แม้ว่า pH ในคอร์นฟลาวเวอร์จะประมาณ 5 ซึ่งควรจะให้สีแดง ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะการเกิดเกลือ- K^+ , NH_4^+ , Na^+ และ Ca^{2+} ของแอนโทไซยานินในคอร์นฟลาวเวอร์ ทำให้มันมีสีน้ำเงิน

เนื่องจากแอนโทไซยานินละลายน้ำได้ดีมาก เมื่อต้มผักนาน ๆ สีจะละลายในน้ำต้มผัก ทำให้น้ำมีสีแดง ส่วนผักจะมีสีซีดลง ยิ่งต้มนานหรือหั่นผักเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วต้ม สีของผักก็จะยิ่งซีดลง

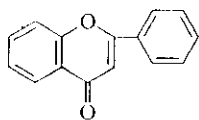
เมื่อแอนโทไซยานินถูกโลหะ เช่น เหล็กและดีบุก จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จึงควรบรรจุผักและผลไม้ที่มีแอนโทไซยานินในกระป๋องที่เคลือบแลคเกอร์เท่านั้น

ผักและผลไม้สีม่วงแดงที่เก็บไว้นานจะเปลี่ยนเป็นสีแดงอมน้ำตาล เช่น แยมสตรอเบอร์รี่ที่เก็บไว้เกินกว่า 2 ปีที่อุณหภูมิห้อง จะไม่มีแอนโทไซยานินเหลือที่จะตรวจสอบได้ แต่ก็ยังมีสีแดงอมน้ำตาลปรากฏให้เห็น

ปริมาณของกรดแอสกอร์บิกและออกซิเจนมีผลต่อการฟอกสีของแอนโทไซยานินในผลไม้หลายชนิด ถ้ายังมีปริมาณมากจะมีการสูญเสียแอนโทไซยานินมาก

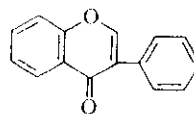
ข. แพลโวนอยด์ (แอนโทแซนธิน) [Flavonoids (Anthoxanthins)]

แพลโวนอยด์หรือแอนโทแซนธินเป็นกลุ่มรงควัตถุสีเหลือง สูตรโครงสร้างของแพลโวนอยด์เป็นแพลโวน (flavones) (5.26) ที่มีหมู่แทนที่หรือไอโซแพลโวน (isoflavones) (5.27) ที่มีหมู่แทนที่ แพลโวนเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี สีของแพลโวนเกิดจากหมู่ไฮดรอกซี (hydroxy group) และหมู่ เมทอกซี (methoxy group) บนวงฟีนิลหรือวงเบนโซไพโรน (Benzopyrone ring) หรือบนทั้ง 2 วง



Flavone (2-phenylbenzopyrone)

(5.26)



Isoflavone (3-phenylbenzopyrone)

(5.27)

แพลโวนที่มีหมู่แทนที่หรือไอโซแพลโวนที่มีหมู่แทนที่เหล่านี้เกิดในพืชเป็นไกลโคไซด์ (glycosides) หรือเอสเทอร์ของกรดแทนนิก (esters of tannic acids) แอนโทแซนธินที่สำคัญมี 5 กลุ่มคือ

1. แพลโวนอล (flavonols) (5.28) เช่น เคมบีเฟอริน (kaemferin) (5.33) ในสตรอเบอรี่, เคอซีทิน (quercetin) (5.34) ในหัวหอม สตรอเบอรี่, และน้ำผึ้ง และไมริซีทิน (myricetin) (5.35) ในองุ่น

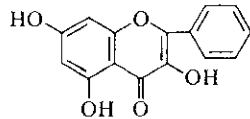
2. แพลโวน (Flavones) (5.29) เช่น อะพิจินิน (apigenin) (5.36) ในผักชีฝรั่ง

3. ไอโซแพลโวน (Isoflavones) (5.30) เช่น เจนิสทิน (Genistein) (5.32) ในพืชจำพวกถั่ว

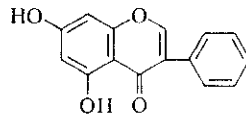
4. แพลเวโนน (Flavanones) (5.31) เช่น เฮสเปอริดิน (Hesperidin) (5.38) ในผลไม้จำพวกส้ม, นารินจิน (Naringin) (5.39) ในเปลือกส้มโอ แทงเจเรทิน (tangeretin) (5.40) ในส้มจีน

5. แพลเวโนนอล (Flavanonols) (5.32)

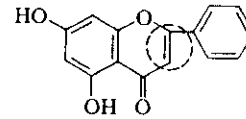
การจัดจำพวกนี้จัดตามโครงสร้างที่ตำแหน่ง 2 และ 3 ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม



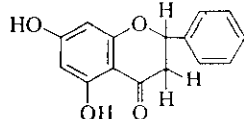
Flavonols (5.28)



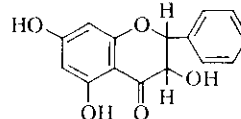
Isoflavones (5.30)



Flavones (5.29)



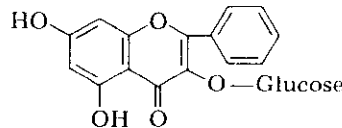
Flavanones (5.31)



Flavanonols (5.32)

ฟลาโวนและไอโซฟลาโวนส่วนใหญ่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ น้ำ ต่าง และกรดอินทรีย์ เจือจาง การละลายของฟลาโวนในกรดส่วนใหญ่เกิดจากคุณสมบัติของออกซิเจนอะตอมในวงเบนโซ-ไพโรนเกิดเป็นเกลือออกซิเนียม โดยทั่วไปเกลือของฟลาโวนจะมีสีที่เข้มกว่าสารประกอบเดิม อย่างไรก็ตาม เกลือออกซิเนียมไม่เสถียรในน้ำ คุณสมบัตินี้ตรงข้ามกับแอนโทไซยานิน ซึ่งมีเกลือออกซิเนียมที่เสถียรพอที่จะอยู่อย่างอิสระในพืช

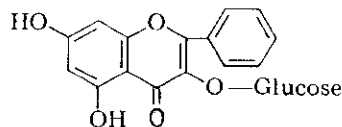
ฟลาโวนอยด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไกลโคไซด์กับกลูโคส, แรมโนส (Rhamnose), กาแลคโตส, อะราบิโนส (arabinose), ไซโลส (xylose), อะปิโอส (apiose) หรือกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) ตำแหน่งที่ถูกแทนที่จะแตกต่างกันแต่มีที่ตำแหน่ง 7; 5; 4'; 7, 4'; และ 3' ตำแหน่ง 7 เป็นตำแหน่งที่ถูกแทนที่มากที่สุดเพราะหมู่ไฮดรอกซีที่ตำแหน่งนี้เป็นกรดมากที่สุด



Kaempferin (สตรอบเออร์รี่)

a flavonol

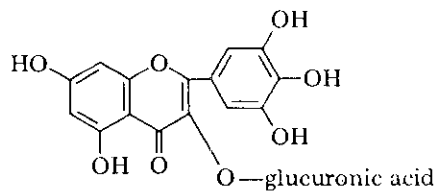
(5.33)



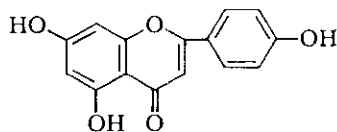
Quercetin (หอมแดง, สตรอบเออร์รี่, น้ำผึ้ง)

a flavonol

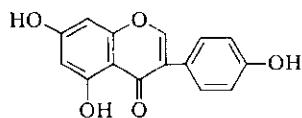
(5.34)



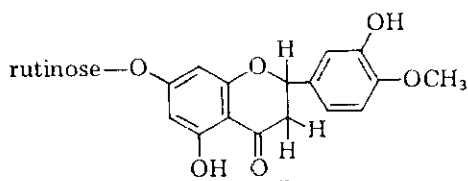
Myricetin (อู่หน)
a flavonol
(5.35)



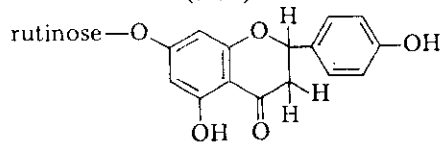
Apigenin (ผักชีฝรั่ง)
a flavone
(5.36)



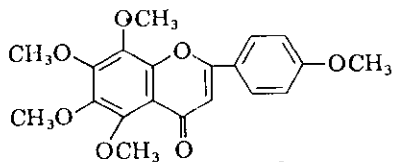
Genistein an isoflavone
(5.37)



Hesperidin (ผลไม้ชิตรัส)
a flavanone
(5.38)



Naringin (เกรปฟรุต)
a flavanone
(5.39)



Tangeretin (แทงเจอร์น)
a flavanone
(5.40)

1. แพลโวนอยด์ในอาหาร

แพลโวนอลเคอร์ซีทินและเคมเฟอร์อลไกลโคไซด์มีอยู่เกือบทุกหนทุกแห่งในอาณาจักรพืช มีมากกว่า 50% ในพืชทุกชนิดที่ทดสอบ ส่วนไมริซิทินไกลโคไซด์มีมากกว่า 10% ในพืชทุกชนิดที่ทดสอบ แพลโวนอล 3 ตัวนี้และไกลโคไซด์ของมันมีอยู่ในใบชาสีเขียว ซึ่งอาจมีมากถึง 30% ของน้ำหนักแห้ง และเป็นตัวการทำให้เกิดรสฝาดของชา

แพลเวโนซึ่งเป็นกลุ่มย่อยของแพลโวนอยด์พบในพืชตระกูลซิตรีส (citrus plants) มีแนวโน้มที่จะใช้เป็นน้ำตาลเทียมได้ นารินจินเป็นแพลเวโนที่มีนีโอเฮสเปอริโดส (neohesperidose) ที่ตำแหน่งที่ 7 เป็นสารที่มีรสขมมาก ส่วนไอโซเมอร์อีกตัวหนึ่งซึ่งมีรูตินอสอยู่ที่ตำแหน่งที่ 7 ไม่มีรสขม (นีโอเฮสเปอริโดส มีแรมโนสและกลูโคสต่อกันแบบ $\alpha-1 \rightarrow 2$ ลิงเกจ ส่วนรูตินอสมี $\alpha-1 \rightarrow 6$ ลิงค์เกจ) อนุพันธ์ตัวหนึ่งซึ่งเตรียมจากนารินจินคือ นีโอเฮสเปอริดิน ไดไฮโดรชัลโคน (neohesperidin dihydrochalcone) ให้ความหวานเกือบ 2,000 เท่าของซูโครส

อย่างไรก็ตาม ในแง่ของการใช้เป็นสีของอาหาร แอนโทไซยานินมีความสำคัญมากกว่าแพลโวนอยด์มาก

2. การเปลี่ยนแปลงของแพลโวนอยด์เมื่อหุงต้มผัก

ผักที่ต้มในน้ำที่มีฤทธิ์เป็นด่าง จะเกิดสีเหลืองหรือสีครีม เช่น ดอกกะหล่ำ และกะหล่ำปลีเมื่อต้มในน้ำกระด้างจะให้สีเหลือง แต่ถ้าต้มในน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น เติมน้ำส้มหรือบีบมะนาวลงไปสีจะขาวขึ้น สีเหล่านี้บางส่วนเกิดจากแพลโวน แต่ส่วนใหญ่เป็นผลจากปฏิกิริยาระหว่างไอออนกับแทนนิน

ค. การวิเคราะห์แอนโทไซยานินและแพลโวนอยด์

เทคนิคที่ใช้ในการแยกแอนโทไซยานินและแพลโวนอยด์จากพืชคือ การสกัดด้วยน้ำและตัวทำละลายอื่น ๆ ที่ใช้ได้คือ เมทานอล เอทานอลและแอลกอฮอล์อื่น ๆ

เปเปอร์โครมาโตกราฟี (paper chromatography) เป็นวิธีที่ใช้มากที่สุดสำหรับแยกและพิสูจน์แอนโทไซยานินและแพลโวนอยด์ โดยทั่วไป รงควัตถุที่สกัดแล้วจะนำมาแยกโดยเปเปอร์โครมาโตกราฟี ตามด้วย development ในระบบตัวทำละลายเดี่ยวหรือตัวทำละลายผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน เช่น บิวทานอล อะซิติกและน้ำ ซึ่งเป็นตัวทำละลายผสมที่ใช้มากที่สุด

เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารไอออนิก เทคนิคอื่น ๆ เช่น เปเปอร์อิเล็กโทรโฟรีซิส

(paper electrophoresis) ก็สามารถใช้แยกได้

การพิสูจน์ขั้นต่อไป อาจใช้วิธีหาค่า R_f ของสารที่แยกได้และเปรียบเทียบกับสารที่ทราบค่า R_f แล้ว การพิสูจน์ขั้นสุดท้ายคือการชะสารแต่ละตัวออกโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม และหาสเปกตรัมของการดูดกลืนรังสีในย่านอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิล (Ultraviolet and visible region) ช่วงของ λ_{max} ที่ถูกดูดกลืนโดยแอนโทไซยานินและฟลาวอนอยด์ชนิดต่าง ๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 λ_{max} สำหรับแอนโทไซยานินและฟลาวอนอยด์

| สารประกอบ | $\lambda_{max} (nm)$ | |
|-----------------|----------------------|-----------|
| | แถบที่ 1 | แถบที่ 2 |
| Anthocyanins | 475 – 560 | 275 – 280 |
| Flavonols | 350 – 390 | 250 – 270 |
| Flavones | 330 – 350 | 250 – 270 |
| Flavonones | 310 – 330 | 275 – 290 |
| Flava – 3 – ols | | 275 – 280 |

แอนโทไซยานินที่สำคัญ 2 ตัว และไกลโคไซด์ของมันซึ่งมีอยู่ในอาหารแทบทุกประเภทมักจะใช้การพิสูจน์โดยวัด λ_{max} ในช่วงวิสิเบิลตารางที่ 5.6 แสดงว่า λ_{max} ของสารประกอบเหล่านี้และสีที่เกิด

ตารางที่ 5.6 λ_{max} ของแอนโทไซยานินและแอนโทไซยานิน

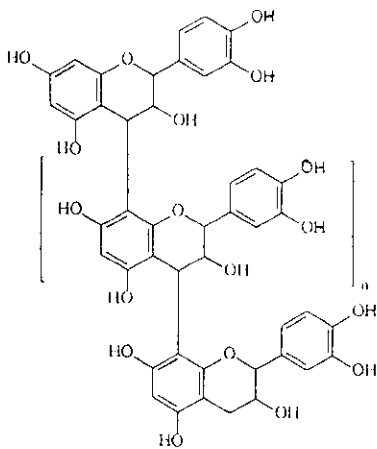
| สารประกอบ | $\lambda_{max} (nm)$ aglycone | $\lambda_{max} (nm)$ 3 – glycoside | สี |
|--------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------|
| Delphinidin | 545 | 516 | ม่วงสด |
| Pelargonidin | 520 | 492 | ส้ม-แดง |

1. ในตัวทำละลายเมธานอล-น้ำ
2. ในเอควิวส HCl

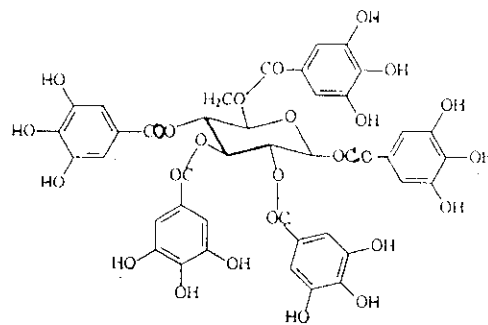
5.4.4 แทนนิน (Tannins)

แทนนินอาจเรียกว่ากรดแทนนิก (tannic acid) หรือกรดแกลโลแทนนิก (gallotannic acid) แทนนินมีอยู่ทั่วไปในพืชและส่วนใหญ่เป็นพวกไกลโคไซด์ (glycosides) แทนนินมีมากในเปลือกต้นโอ๊ก ฝาง และ nutgall แทนนินเป็นสารที่ไม่มีสีและไม่เป็นผลึก สามารถเกิดสารละลายคอลลอยด์ในน้ำ สารละลายแทนนินมีรสฝาด แทนนินที่อยู่ในชา กาแฟ และโกโก้ทำให้สารเหล่านี้มีรสฝาดซึ่งเป็นรสที่ต้องการ แต่รสฝาดของแทนนินในผลไม้ดิบ เช่น กล้วยดิบ ฝรั่งดิบ เป็นรสที่ไม่พึงปรารถนา แทนนินยังมีบทบาทสำคัญในการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องในผักและผลไม้

ชื่อของแทนนินมาจากความสามารถในการฟอก (tan) หนังสัตว์ได้ แทนนินตกตะกอนโปรตีนและแอลคาลอยด์ จากสารละลายเอควีซและทำปฏิกิริยากับเกลือเฟอร์ริกได้สีน้ำเงินเข้ม คุณสมบัติดังกล่าวถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการทำหมึก แทนนินที่ใช้ในอาหารประกอบด้วยสารประกอบ 2 ประเภท ประเภทแรกคือ “แทนนินคอนเดนส์” (condensed tannins) หรือโปรแอนโทไซยานิดิน (Proanthocyanidin) ซึ่งเป็นคอนเดนเซชันโพลิเมอร์ (condensation polymers) แคททีซิน (catechin) โพลิเมอร์เหล่านี้มีโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ แต่โมเลกุลของแคททีซินมักมาเชื่อมต่อที่ตำแหน่ง 4 และ 8 ของวง ส่วนแทนนินประเภทที่สองคือ “แทนนินที่ไฮโดรไลส์ได้” (hydrolysable tannin) หรือ “gallotannins” แทนนินเหล่านี้เป็นอนุพันธ์ของกลูโคสโดยมีกรดแกลลิก (gallic acid) เอสเทอร์ไฟติดกับกลูโคส เมื่อไฮโดรไลส์แทนนินประเภทนี้จะได้กลูโคสและกรดแกลลิก



condensed tannin(proanthocyanidin)



Hydrolysable tannin(gallotannins)

แทนนินแพร่กระจายได้ดีในน้ำร้อนเกิดเป็นคอลลอยด์ การชงชาหรือกาแฟด้วยน้ำกระด้าง จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดง ทำให้ชาและกาแฟขุ่น ตะกอนนี้จะเกาะข้าง ๆ แก้วมองเห็นได้ชัด ตะกอนเหล่านี้เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแทนนินกับแคลเซียม และแมกนีเซียมไอออนในน้ำ แทนนินยังทำปฏิกิริยากับเหล็กเกิดเป็นสารเชิงซ้อนสีคล้ำ เช่น นมระเหยที่บรรจุกระป๋องและเปิดทิ้งไว้หลายวัน เมื่อนำมาใส่ในกาแฟจะมีสีเขียวล้ำ จากการศึกษาพบว่าเกิดจากสนิมบนกระป๋องที่ใส่นม และเกิดปฏิกิริยาระหว่างเหล็กและแทนนินในกาแฟ ถ้าใช้มีดเหล็กปอกผลไม้ จะเกิดสีน้ำตาลคล้ำ จึงควรใช้มีดสแตนเลส (stainless) ที่ไม่ขึ้นสนิมในการปอก การบรรจุฝักและผลไม้ในกระป๋องที่ไม่ได้เคลือบแลคเกอร์ก็ทำให้ฝักและผลไม้เกิดสีน้ำตาลได้เช่นกัน

5.4.5 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reactions)

เมื่อปอกผลไม้และฝัก เช่น แอปเปิ้ลและมันเทศ แล้ววางทิ้งไว้จะเกิดเป็นสีน้ำตาลตรงบริเวณที่ปอก การเกิดสีน้ำตาลในอาหาร ส่วนใหญ่จะไม่ใช่ที่ต้องการ เพราะบางครั้งอาจทำให้เกิดรสชาติที่ไม่ดี และทำให้ลักษณะภายนอกของอาหารดูไม่น่ารับประทาน อย่างไรก็ตาม การเกิดสีน้ำตาลขององุ่นที่ทำให้แห้งเพื่อผลิตเป็นลูกเกด และของลูกพรุนพลัม (pruneplum) ที่ผลิตเป็นลูกพรุน ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ผลิตขายมานานแล้วจนทำให้สีของมันเป็นที่ยอมรับโดยทั่วกัน

การเกิดสีน้ำตาลในอาหารมี 2 แบบคือ

1. เกิดจากปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องเรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Enzymic browning reaction)
2. เกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องด้วยเรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (nonenzymic browning reaction)

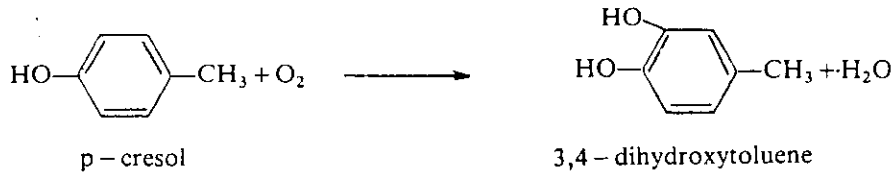
ก. การเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง

เมื่อผลไม้และฝักมีรอยตำหนิหรือเสียหายซึ่งอาจเกิดจากรอยขีด รอยปอก หั่น แฉ่แข็งหรือเป็นโรค ส่วนของเนื้อเยื่อที่มีตำหนิมีเอนไซม์ที่ยังคงแอกติฟอยู่เมื่อถูกกับอากาศจะเกิดเป็นสีน้ำตาล เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในฝักและผลไม้ เป็นกลุ่มของเอนไซม์ซึ่งอาจเรียกชื่อรวมว่าฟีนอลเลส (phenolase) ซึ่งรวมเอนไซม์ต่อไปนี้ เช่น phenoloxidase, cresolase, dopa oxidase, catecholase, tyrosinase, polyphenoloxidase, potato oxidase, sweet potato oxidase, phenolase complex เป็นต้น

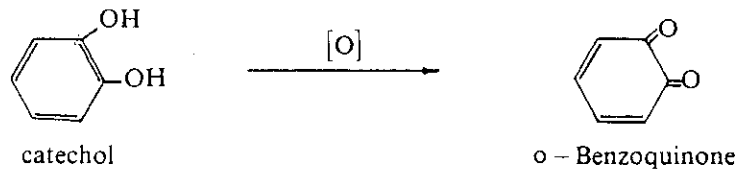
การใช้ชื่อ phenolase เพราะเอนไซม์ที่แยกและทำให้บริสุทธิ์แล้วสามารถใช้เร่ง

ปฏิกิริยา 2 ปฏิกิริยาต่อไปนี้ก็คือ

1. ไฮดรอกซีเลชันของโมโนไฮดรอกซีฟีนอล (monohydroxyphenols) ไปเป็นไดไฮดรอกซีฟีนอล เช่น ไฮดรอกซีเลชันของ p-cresol ไปเป็น 3,4-dihydroxytoluene



2. ออกซิเดชันของออร์โธ-ไดไฮดรอกซีฟีนอล (o-dihydroxyphenols) ไปเป็นออร์โธควิโนน (o-quinones) ตัวอย่างเช่น การออกซิไดส์ catechol ไปเป็น o-benzoquinone



เมื่อผิวของผลไม้และผักถูกหั่นออก ปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาลเกิดจากปฏิกิริยาของออร์โธควิโนนที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องแล้วตามด้วยโพลีเมไรเซชัน (polymerization) ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากออกซิเดชัน

Phenolase มีอยู่ทั่วไปในสัตว์และพืช ในพืชจะพบในน้ำเต้า ราก ผลไม้จำพวก ส้ม กล้วย แดงโม มะกอก ชา เห็ดและอื่น ๆ Laccase ซึ่งเป็นเอนไซม์อีกประเภทหนึ่งที่พบในพืช เช่น แอปเปิ้ล มันฝรั่ง กะหล่ำปลีและบีต (sugar beets) จากรายงานต่าง ๆ พบว่า Laccase ออกซิไดส์เฉพาะ polyhydric phenols

Phenolase มีน้ำหนักโมเลกุล 128,000 มีปริมาณทองแดง 0.2% รวมเป็นสี่อะตอมของทองแดงต่อ 1 โมเลกุลของเอนไซม์ เอนไซม์ที่เตรียมขึ้นใหม่ ๆ มีทองแดงอยู่ในรูปคิวปริส (cuprous form) แต่จะถูกออกซิไดส์ไปเป็นรูปคิวปริก (cupric form) อย่างช้า ๆ เมื่อตั้งทิ้งไว้ การเปลี่ยนแปลงนี้มิได้ทำให้แอกติวิตีของเอนไซม์เปลี่ยนแปลงไป อะโปเอนไซม์ (apoenzyme) ซึ่งปราศจากทองแดงจะไม่แอกติฟ แต่เมื่อเติมทองแดงในรูปคิวปริกเข้าไป มันจะกลับมีแอกติวิตีดั้งเดิม อะโปเอนไซม์สามารถเตรียมได้โดยไดอะลิซิส (dialysis) ของสารละลายเอเคียวสของเอนไซม์โดยใช้สารละลายเจือจางของโพแทสเซียมไซยาไนด์

คุณสมบัติของ phenolase มีดังนี้

1. Phenolase ที่บริสุทธิ์จะไม่มีสี

2. สารละลายเข้มข้นของ phenolase จะเสถียรที่สุดที่ pH เป็นกลาง

3. การให้ความร้อนแก่เอ็นไซม์นี้ในช่วงเวลาสั้นที่ 60° ซ มันจะสูญเสียแอกติวิตี

4. ถ้าเก็บสารละลายเข้มข้นของเอ็นไซม์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer)

เจือจางที่ pH ใกล้เคียงกลางและอุณหภูมิ 1° ซ หรือแช่แข็งที่อุณหภูมิ -25° ซ จะเก็บได้นานหลายเดือนโดยไม่สูญเสียแอกติวิตี แต่ถ้าเก็บไว้นาน ๆ จะสูญเสียแอกติวิตีเป็นการสูญเสียถาวร และตามด้วยออกซิเดชันของควิปรัส ไปเป็นควิพริก แต่การสูญเสียแอกติวิตีนี้ไม่ได้เกิดจากออกซิเดชันของทองแดงควิปรัส

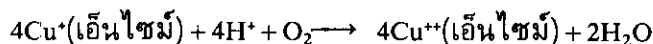
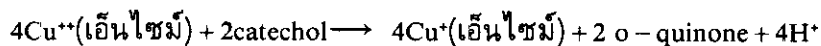
5. สารซึ่งเกิดสารเชิงซ้อนที่เสถียรกับทองแดงได้ เช่น H₂S, KCN, CO และ p-aminobenzoic acid สามารถยับยั้งแอกติวิตีของ phenolase ได้ สารประกอบที่ทำปฏิกิริยากับหมู่ซัลไฟดริล (sulfhydryl group) ได้เช่น iodoacetamide ไม่สามารถยับยั้งเอ็นไซม์นี้

Phenolase มีปริมาณน้อยในพืช เกิดซึ่งอุดมด้วยเอ็นไซม์นี้มีอยู่เพียง 0.03% ของเอ็นไซม์ (คิดจากน้ำหนักแห้งของอาหาร) จากเหตุผลดังกล่าวและเนื่องจากพืชซึ่งเป็นแหล่งของเอ็นไซม์นี้ประกอบด้วยซับสเตรท (substrate) ที่จะทำปฏิกิริยากับเอ็นไซม์นี้ได้ด้วย จึงเป็นการยากที่จะสกัดเอ็นไซม์ตัวนี้จากพืช

ในพืชมีสารประกอบ o-diphenolic อยู่มากซึ่งอาจถูกออกซิไดส์โดย phenolase ไม่มากนักน้อย ซับสเตรทที่เกิดในธรรมชาติมี 3, 4-dihydroxyphenylalanine, chlorogenic acid, adrenaline, กรดคาเฟอิก (caffeic acid), กรดกัลลิก และพวกฟลาโวนอยด์ เช่น daphnetin และ fraxetin ซับสเตรทที่มีได้เกิดในธรรมชาติก็มีเช่นกัน

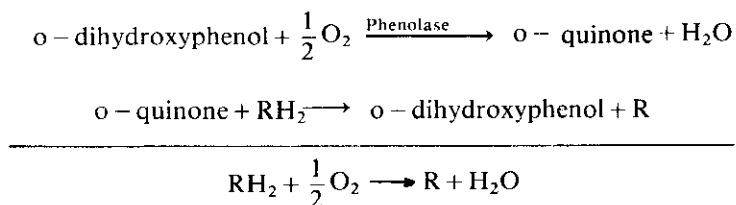
1. ออกซิเดชันของ polyphenols

กลไกปฏิกิริยาระหว่าง phenolase และสารประกอบไดฟีนิค (o-diphenic compounds) ซับซ้อนมาก เนื่องจากทองแดงเป็น prosthetic group ของเอ็นไซม์ phenolase แอกติวิตีของ phenolase จะขึ้นกับการเปลี่ยนทองแดงจากรูปควิพริกไปเป็นควิปรัส เมื่อเอ็นไซม์ถูกแยกอยู่โดดเดี่ยว ทองแดงจะอยู่ในรูปควิปรัส แต่ถ้ามีออร์โธ-ไฮดรอกซีฟีนอลอยู่จะเกิดการออกซิไดส์ทองแดงไปเป็นรูปควิพริก การเปลี่ยนแปลงนี้อาจแสดงได้โดยสมการต่อไปนี้



ซัลเฟอร์จะถูกออกซิไดส์โดยการสูญเสียอิเล็กตรอน 2 ตัวและโปรตอน 2 ตัวของแดงของเอ็นไซม์จะจับอิเล็กตรอน 2 ตัวไว้ และเปลี่ยนเป็นคิวปรัส อิเล็กตรอน 2 ตัวนี้จะส่งผ่านไปให้ออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโปรตอน 2 ตัวเกิดเป็นน้ำทันที เอ็นไซม์จะกลับสู่สภาวะคิวปริกและพร้อมที่จะเร่งปฏิกิริยาต่อไป

ปฏิกิริยาของ phenolase ซึ่งศึกษามากที่สุดคือ การออกซิไดส์สารรีดิวส์ (reducing agent) โดยทางอ้อม ซึ่งเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่าง phenolase กับ o-dihydroxyphenol การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นมีดังนี้



RH_2 เป็นสารรีดิวส์ (reducing agent) เช่น hydroquinone, กรดแอสคอร์บิกหรือรีดิวส์ฟอสโฟไพริดีนนิวคลีโอไทด์ (reduced phosphopyridine nucleotide) ส่วน R เป็นรูปที่ถูกออกซิไดส์ (oxidised form) เช่น p-quinone, กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก หรือ ออกซิไดส์ฟอสโฟไพริดีนนิวคลีโอไทด์ ปฏิกิริยาเหล่านี้จะดำเนินไปในช่วงเวลาที่พอเหมาะ ถ้าออกซิไดส์ 1 ไมโครโมลของ o-dihydroxyphenol โดยมีกรดแอสคอร์บิกอยู่ จะตรงกับการใช้ออกซิเจนไป 0.5 ไมโครโมลภายใต้สภาวะอื่น ในบางกรณีปฏิกิริยาอาจจะซับซ้อนกว่าที่แสดงไว้

2. ออกซิเดชันของโมโนฟีนอล

ไฮดรอกซีเลชันของสารประกอบโมโนฟีนอล (monophenols) ไปเป็น o-dihydroxyphenols เป็นปฏิกิริยาที่สองที่ถูกเร่งโดย phenolase ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในโมเลกุลของเอ็นไซม์อันเดียวกับที่เกิดออกซิเดชันของออร์โธ-ไดไฮดรอกซีฟีนอล ไฮดรอกซีเลชันที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องในกรณีนี้มีลักษณะที่ผิดจากปกติคือ ช่วงการเหนี่ยวนำ (induction period) ของปฏิกิริยานี้ใช้เวลาค่อนข้างยาวนาน และจะนานมากขึ้นกับปริมาณความบริสุทธิ์ของเอ็นไซม์ ปกติเอ็นไซม์ที่มีช่วงของการเหนี่ยวนำจะใช้เวลาเพียงเสี้ยวของวินาที แต่ในกรณีนี้ต้องใช้เวลาราว 2-3 นาที ช่วงการเหนี่ยวนำนี้จะลดลงถ้าเติมออร์โธ-ไดไฮดรอกซีฟีนอลปริมาณเล็กน้อยลงไป และอัตราเร็วของออกซิเดชันหลังช่วงการเหนี่ยวนำจะเป็นแบบเชิงเส้น (linear) phenolase ออกซิไดส์ออร์โธ-ไดไฮดรอกซีฟีนอลในอัตราที่เร็วกว่าโมโนไฮดรอกซีฟีนอล ระหว่างออกซิเดชันของ

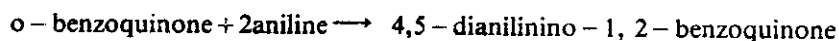
โมโนฟีนอลโดย phenolase มักมีออร์โท-ไดไฮดรอกซีฟีนอลจำนวนหนึ่งปนอยู่ โมโนฟีนอลสามารถจะถูกออกซิไดส์เป็นสารสีน้ำตาลได้เช่นเดียวกับการออกซิไดส์ออร์โท-ไดไฮดรอกซีฟีนอล

3. การเกิดสีน้ำตาล

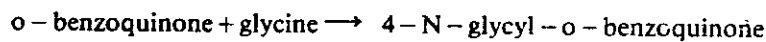
ออร์โท-ควิโนนซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาที่มี phenolase เป็นตัวเร่ง เป็นพรีเคอร์เซอร์ (precursor) ของการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้และผักที่ถูกปอก ออร์โท-ควิโนนมีสีเล็กน้อย แต่มันเป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) ที่องไวต่อปฏิกิริยามากที่สุดตัวหนึ่งที่พบในสิ่งมีชีวิต ในปฏิกิริยาเหล่านี้มีปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลอยู่ด้วย ปฏิกิริยาของออร์โท-ควิโนนที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลคือ

1. การเกิดไฮโดรควิโนนซึ่งไม่เสถียรจากปฏิกิริยาสำคัญของออร์โท-ควิโนนในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ไฮโดรควิโนนเหล่านี้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมโรเซชันได้ง่าย และถูกออกซิไดส์แบบไม่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องได้อย่างรวดเร็ว ผลก็คือได้โพลีเมอร์สีน้ำตาลคล้ำละลายน้ำได้เล็กน้อย

2. ควิโนนทำปฏิกิริยากับเอมีนธรรมชาติได้อย่างรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาของออร์โท-เบนโซควิโนน (o-benzoquinone) กับอะนิลีน (aniline)



เบนโซควิโนนยังทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนด้วย ตัวอย่างเช่น



ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยานี้เป็นอินเทอร์มีเดียทซึ่งจะทำให้เกิด deamination ของไกลซีน และทำให้เกิดรงควัตถุ (pigments) สีคล้ำ

3. ออร์โท-ควิโนนซึ่งเกิดจากออร์โท-ไดไฮดรอกซีฟีนอลโดยมี phenolase เป็นตัวเร่ง ทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วกับสารประกอบซัลไฟดริลที่เกิดในธรรมชาติ เช่น ซิสเทอีนและกลูตาไธโอน (glutathione) ผลก็คือทำให้เกิดรงควัตถุที่มีลักษณะเฉพาะ ปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดนอกเหนือจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน

4. วิศวกรรมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้อง

1. การคั้นหรือหนึ่ง ผักและผลไม้ที่บรรจุหีบห่อเพื่อแช่แข็งต้องควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยการลวกหรือหนึ่งด้วยไอน้ำ แต่การให้ความร้อนโดยตรงกับผลไม้และผักไม่เหมาะสม

นัก เพราะจะทำให้เกิดกลิ่นคูก (cooked flavor) และทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้เน่มนุ่มขึ้น วิธีนี้ใช้ได้กับน้ำผลไม้แต่จะต้องควบคุมเวลาและอุณหภูมิให้พอเหมาะเพื่อทำลายเอนไซม์เท่านั้น

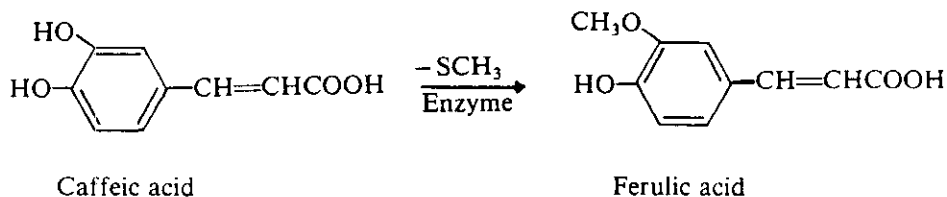
2. การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารเคมีที่ใช้ยับยั้งเอนไซม์ phenolase ได้ มันเป็นสารเคมีที่มีอำนาจยับยั้งสูง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะต้องใช้กับผลไม้ และผักที่ปอกเปลือกหรือน้ำผลไม้เพื่อที่จะแทรกซึมเข้าไปได้ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถรวมกับสารประกอบบางชนิดได้ เช่น สารประกอบคาร์บอนิล จึงต้องระวังในเรื่องของปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่จะใส่ถ้ามีสารประกอบประเภทนี้อยู่ ควรใส่ให้พอเพียงเพื่อยับยั้งเอนไซม์ phenolase ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถทำลายเอนไซม์ phenolase ได้อย่างถาวร

บรรยากาศภายในของผลิตภัณฑ์จะต้องนำมาพิจารณาในการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นตัวยับยั้ง แอปเปิ้ลที่ตัดเป็นแว่น ๆ จะมีออกซิเจนปริมาณพอควรอยู่ภายในเนื้อเยื่อสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์แทรกซึมไปทั่วแต่ละแว่นของแอปเปิ้ลจึงจะมีผลต่อการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล สภาวะที่ใช้ควบคุมที่ให้ผลน่าพอใจในทางอุตสาหกรรมคือ การใช้ระบบสูญญากาศกับสารละลายของ SO_2 และ 2 - 3% ของ NaCl ต่อมาเมื่อปลอดจากสูญญากาศ อากาศภายนอกจะดัน SO_2 ให้แทรกซึมเข้าไปในเนื้อแอปเปิ้ล การแทรกซึมนี้จะได้ผลดีถ้าใช้ SO_2 อิสระมากกว่า SO_2 ในรูปของโซเดียมไบซัลไฟต์ (sodium bisulfite)

3. กรดแอสคอร์บิก กรดแอสคอร์บิกสามารถรีดิวส์ (reduce) ออร์โท-ควิโนนที่เกิดจาก phenolase กลับไปเป็นออร์โท-ไดไฮดรอกซีฟินอลซึ่งจะช่วยป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ทรายไคที่มีแอสคอร์บิกอยู่จะป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ เช่น พีช (peach) ในน้ำเชื่อมที่เข้มข้นประกอบด้วยกรดแอสคอร์บิกจะไม่เกิดสีน้ำตาล

แอปเปิ้ลที่ตัดเป็นแว่นมีบรรยากาศภายในประกอบด้วยออกซิเจนทำให้เกิดสีน้ำตาลได้ การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงใช้วิธีการกำจัดออกซิเจนออกแต่ก็มักทำควบกับวิธีอื่น ๆ เช่น พีช จะบรรจุกระป๋องปกคลุมด้วยน้ำเชื่อมซึ่งประกอบด้วยกรดแอสคอร์บิก กำจัดออกซิเจนออกจากที่ว่างเหนือกระป๋องและปิดสนิท อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate) หรือ ATP สามารถป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้โดยการเกิดสารรีดิวส์ภายใต้สภาวะของการบรรจุกระป๋อง และใช้ได้กับแอปเปิ้ล พีช มันฝรั่ง ที่หั่นเป็นแว่น อย่างไรก็ตาม ราคาของ ATP สูงเกินกว่าที่จะนำมาใช้เพื่อการค้า

4. การเปลี่ยนซับสเตรท (substrate) ธรรมชาติ การเปลี่ยนซับสเตรทธรรมชาติของ phenolase ก็เป็นวิธีป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลวิธีหนึ่ง เอ็นไซม์ catechol o-methyltransferase สามารถทำให้เกิดเมธิลเลชัน (methylation) ที่ตำแหน่ง 3 ของสารประกอบ 3,4-ไดไฮดรอกซีอะโรเมติก และการเกิดออร์โธ-เมธิลเลชันจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของซับสเตรทได้อย่างถาวร เช่น การเปลี่ยนกรดคาเฟอิกไปเป็นกรดเฟรูลิกดังสมการต่อไปนี้



phenolase สามารถทำให้เกิดออกซิเดชันของกรดโมโนฟีนอลิกเฟรูลิก (monophenolic ferulic acid) ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้น การเปลี่ยนซับสเตรทของเอ็นไซม์ phenolase ทั้งหมด (รวมทั้งสารประกอบไดไฮดรอกซีฟีนอลิกที่เกิดจากโมโนฟีนอลโดยมี phenolase เป็นตัวเร่ง) เป็นวิธีที่ใช้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องได้ ในปี 1964 Nelson และ Finkle พบว่าการทำเมธิลเลชันภายใต้สภาวะไร้อากาศ (anaerobic methylation) โดยใช้ระบบ catechol o-methyltransferase ที่ pH 8 สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิ้ลได้อย่างถาวร ขบวนการที่ปรับปรุงใหม่และได้ผลดีสำหรับแอปเปิ้ลที่ออกเปลือกใหม่ ๆ คือ การใช้ SO₂ ควบกับการใช้เอ็นไซม์ catechol o-methyltransferase ด้วย

5. การกำจัดน้ำออกโดยใช้น้ำตาล วิธีใช้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลอีกวิธีหนึ่ง คือ การแช่ผลไม้ในน้ำเชื่อม น้ำจะถูกกำจัดออกจากผลไม้โดยวิธีออสโมซิสในน้ำตาลหรือน้ำเชื่อม จนมีน้ำลดลงถึง 50% หลังจากเทน้ำเชื่อมออกจากผลไม้แล้ว นำผลไม้ไปแช่แข็งหรือทำให้แห้งต่อไปในตู้อบแบบใช้ลมร้อนหรือสุญญากาศได้ น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยการกำจัดน้ำออกและยังช่วยป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสของผลไม้ด้วย

วิธีเชื่อมผลไม้อาจเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ สารละลายน้ำตาลที่ห่อหุ้มผลไม้จะช่วยป้องกันมิให้มันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ และสารละลายน้ำตาลที่เข้มข้นยังช่วยยับยั้งเอ็นไซม์ phenolase ได้

ข. การเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้อง

การเกิดสีน้ำตาลในอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารมักเป็นสิ่งที่พึงปรารถนา เพราะอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส และลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์อาหารด้วย อย่างไรก็ตามการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจเป็นที่ยอมรับ ตัวอย่างเช่น การเกิดสีน้ำตาลที่ผิวนอกของขนมปังปัง ขนมอบและเนื้อย่าง

มีปฏิกิริยาหลายปฏิกิริยาที่มีส่วนในการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อาหารเหล่านี้ ในปฏิกิริยาเหล่านี้มี 2 ปฏิกิริยาที่มีน้ำตาลเกี่ยวข้องด้วยคือ

1. คาราเมลไลเซชัน (Caramelization) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้น้ำตาล
2. ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวส์และสารประกอบเอมีน(โดยเฉพาะ 1° และ 2° เอมีนหรือกรดอะมิโน

1. คาราเมลไลเซชัน (Caramelization)

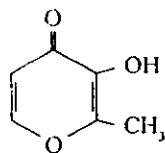
การเผาไหม้ของคาร์โบไฮเดรตโดยเฉพาะซูโครสและน้ำตาลรีดิวส์โดย ปราศจากสารประกอบที่มีไนโตรเจน จะเกิดกลุ่มปฏิกิริยาที่ซับซ้อนชื่อว่า “คาราเมลไลเซชัน” ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นถ้ามีกรดและเกลือบางชนิดปริมาณเล็กน้อยอยู่ ความร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำตาลสูญเสียน้ำ เกิดพันธะคู่และระบบวง การเกิดพันธะคู่นำไปสู่การเกิดระบบวงที่ไม่อิ่มตัว ได้แก่ สารพวกฟิวแรน(Furans) พันธะคู่ที่คอนจูเกตคู่กลืนรังสีทำให้เกิดสี วงที่ไม่อิ่มตัวยังเกิดคอนเดนส์(condense)ไปเป็นพอลิเมอร์เกิดสารสีที่มีประโยชน์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาและมักจะใช้เพื่อผลิตสีคาราเมลที่มีหลากหลายสี มีการละลายและความเป็นกรดต่าง ๆ กัน

สีน้ำตาลของคาราเมล(caramel color) ที่ทำจากการต้มสารละลายซูโครสกับแอมโมเนียมไบซัลไฟต์ (ammonium bisulfite) ใช้ในเครื่องดื่มโคลา(col soft drinks) เครื่องดื่มกรด(acidic beverages) ขนมอบ น้ำเชื่อม ลูกกวาด อาหารสัตว์ และเครื่องเทศแห้ง สารละลายของน้ำตาลเป็นกรด(pH 2-4.5) และประกอบด้วยอนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุลบ เกลือที่เป็นกรดช่วยเร่งการแตกหักของพันธะไกลโคซิดิกของซูโครส และเกลือแอมโมเนียมมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาจัดตัวใหม่แบบอะมาโดริ(Amadori rearrangement) สีคาราเมลอีกประเภทหนึ่งได้จากการต้มสารละลายน้ำตาลกับเกลือแอมโมเนียมเป็นสีน้ำตาลแดง เมื่อละลายน้ำมีค่า pH 4.2-4.8 ประกอบด้วยอนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุบวกและนำไปใช้กับขนมอบ น้ำเชื่อมและพุดดิ้ง (pudding) สีคาราเมลที่เกิดจากการต้มน้ำตาลโดยปราศจากเกลือแอมโมเนียมก็เป็นสีน้ำตาลแดงแต่

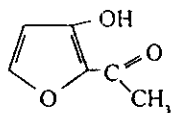
ประกอบด้วยอนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุเป็นลบเล็กน้อย และสารละลายมี pH 3-4 ถูกนำไปใช้กับเบียร์และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

รงควัตถุคาราเมลที่เกิดจากปฏิกิริยาเหล่านี้เป็นโมเลกุลพอลิเมอร์ที่ซับซ้อน มีหลายชนิดแตกต่างกัน และโครงสร้างของสารเหล่านี้ยังไม่เป็นที่รู้จัก พอลิเมอร์เหล่านี้แหละที่ทำให้เกิดอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดต่างกัน จากการค้นคว้าของ Miroshnikova และผู้ร่วมงาน (1970) พบว่ารงควัตถุคาราเมลประกอบด้วยหมู่ต่างๆต่อไปนี้ คือ หมู่คาร์บอนิล หมู่คาร์บอกซิลและหมู่อินอลิก(Enolic group) รวมทั้งหมู่ไฮดรอกซิลที่มีความเป็นเบส (basicity) ต่างๆกัน ยังมีผู้พบว่ามีหมู่ฟีนอลิกไฮดรอกซิล(phenolic hydroxyl group) เพราะสังเกตเห็นว่า เหล็กทำให้สีของคาราเมลเข้มขึ้นและสารเหล่านี้ยังสามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับเหล็กเกิดสีคล้ำได้ อัตราการเกิดคอลลอยด์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและ pH ที่เพิ่มขึ้น ที่ pH 8 คาราเมลไลเซชันเกิดเร็วกว่าที่ pH 5.9 ถึง 10 เท่า อัตราการเกิดคอลลอยด์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและ pH ที่เพิ่มขึ้น

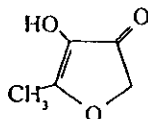
ปฏิกิริยาการแตกหักของน้ำตาลบางชนิดยังนำไปสู่การเกิดระบบวงไม่อิ่มตัวที่มีกลิ่นรสและความหอมด้วยนอกเหนือจากการเกิดสารสี Maltol(3-hydroxy-2-methylpyran-4-one)และ isomaltol (3-hydroxy-2-acetylfuran) เป็นตัวให้กลิ่นรสของขนมปัง 2H-4-Hydroxy-5-methylfuran-3-one) สามารถใช้เพิ่มกลิ่นรสและเป็นสารให้รสหวาน



Maltol



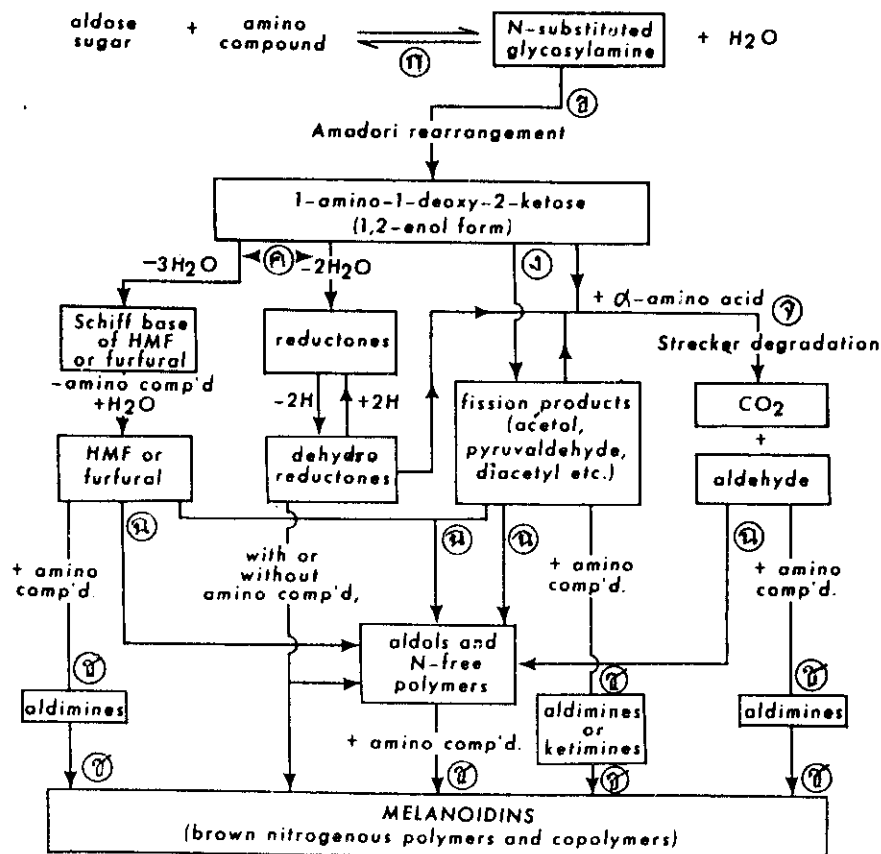
Isomaltol



2H-4-Hydroxy-5-methylfuran-3-one

2. ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)

ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ และ 1°, 2° เอมีนหรือกรดอะมิโน ปฏิกิริยานี้ค้นพบโดย Maillard ในปี 1912 ภายใต้สภาวะที่มีความร้อน ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคอนเดนเซชันระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และเอมีนยังสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปอีก จนในที่สุดจะได้ผลิตภัณฑ์สีน้ำตาลคล้ำชื่อว่า เมลานอยดิน(Melanoidin)ซึ่งเป็นโคโพลิเมอร์ (copolymer) ที่ประกอบด้วยไนโตรเจน เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาโดยรวมสามารถแยกออกได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้



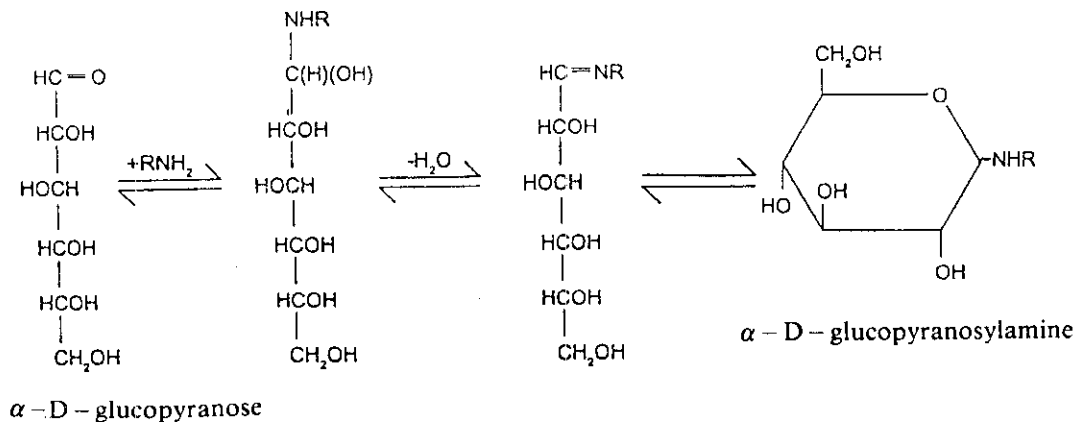
รูปที่ 5.3 The Hodge Scheme

- ก. ปฏิกิริยาเมลลาร์ด
- ข. Amadori rearrangement
- ค. การกำจัดน้ำออกจากน้ำตาล การกำจัดน้ำออกจากน้ำตาลในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลระหว่างน้ำตาลและเอมีนสามารถเกิดได้ 2 ทาง ในสารละลายที่เป็นกลางหรือเป็นกรดจะเกิดเฟอร์ฟิวรัล ในสภาวะแห้งหรือในตัวทำละลายนอน-เอควีเยส (non-aqueous solvents) เมื่อมีเอมีนอยู่ จะเกิดรีดักโตน (reductones)
- ง. การแตกหักของน้ำตาล
- จ. การแตกหักของกรดอะมิโนหรือ Strecker degradation (ให้แอลดีไฮด์ที่มีคาร์บอนน้อยกว่ากรดอะมิโนเดิม 1 ตัวพร้อมกับปลดปล่อย CO₂ออกมา)
- ฉ. แอลดอลคอนเดนเซนชัน เป็นปฏิกิริยาที่นำไปได้มากในการเกิดเมลานอยดิน แอลดอล ซึ่งปราศจากไนโตรเจน (nitrogen-free aldols) โดยทั่วไปอาจทำปฏิกิริยาได้กับสารประกอบอะมิโนซึ่งได้แก่แอลดิมีน (aldimines) และเคติมีน (ketimines) เกิดเมลานอยดินซึ่งประกอบด้วยไนโตรเจน
- ช. แอลดีไฮด์-เอมีนโพลีเมอไรเซชันและการเกิดเมลานอยดิน

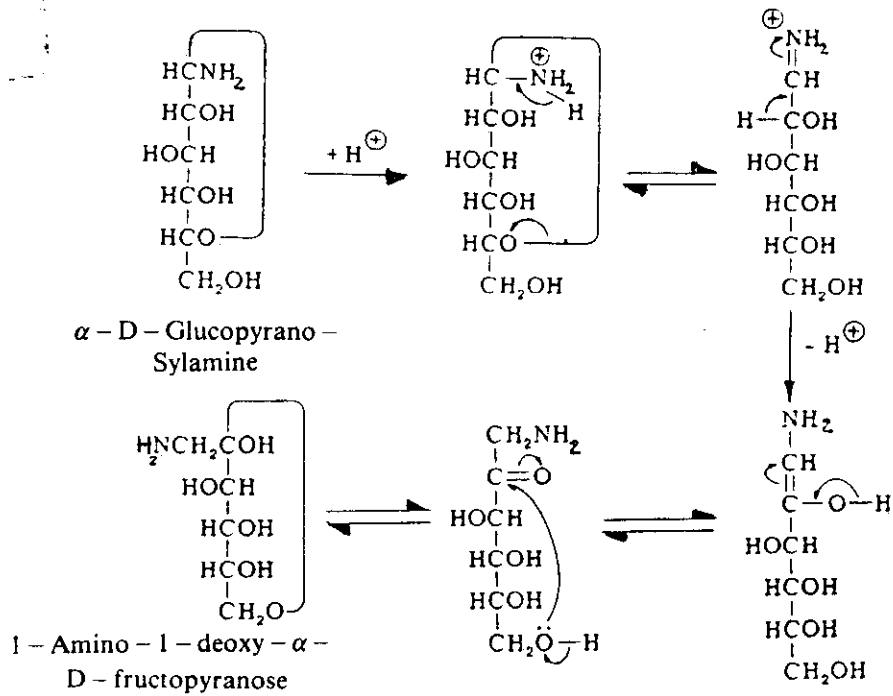
1. ขั้นตอนแรก (ไม่มีสี ไม่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต)
 - ก. คอนเดนเซชันของน้ำตาล-เอมีน (sugar - amine condensation)
 - ข. Amadori rearrangement
2. ขั้นตอนที่สอง (มีสีเหลืองอ่อนถึงปานกลาง ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตใกล้)
 - ค. การกำจัดน้ำออกจากน้ำตาล (sugar dehydration)
 - ง. การแตกหักของน้ำตาล (sugar fragmentation)
 - จ. การแตกหักของกรดอะมิโน (amino acid degradation)
3. ขั้นตอนที่สุดท้าย (มีสีเข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาลแดงและสีน้ำตาลเข้ม)
 - ก. แอลดอล คอนเดนเซชัน (Aldol condensation)
 - ข. โพลีเมอไรเซชันของแอลดีไฮด์-เอมีน (Aldehyde - amine condensation); การเกิดสารประกอบเฮเทอโรไซคลิกไนโตรเจน (heterocyclic nitrogen compounds)

ปฏิกิริยาทั้งหมดแสดงอยู่ในรูปที่ 5.3 เราจะพิจารณาเฉพาะปฏิกิริยาบางปฏิกิริยาที่มีการศึกษาจนเป็นที่กระจ่างแล้ว

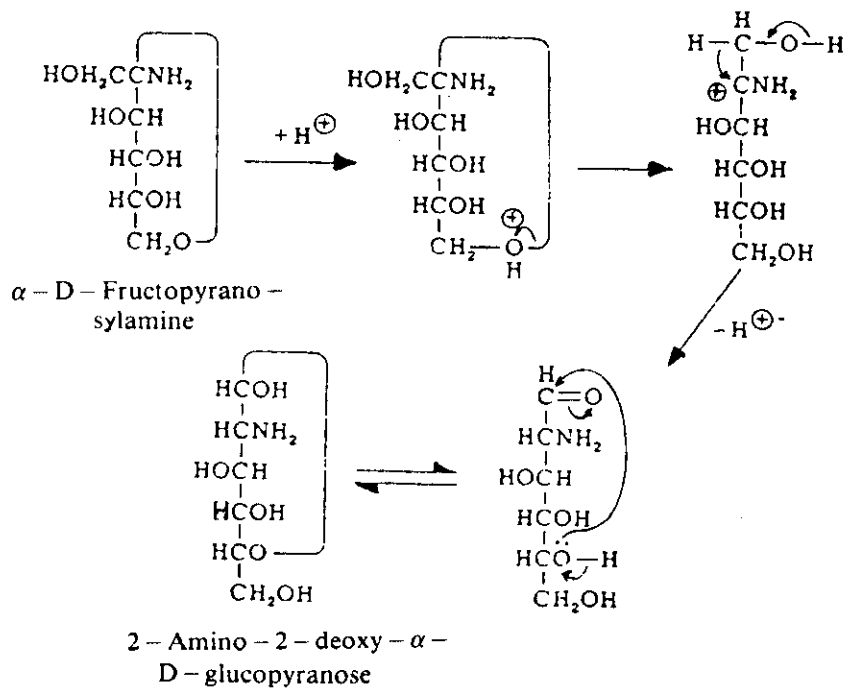
(1) ปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลแอลโดส(aldose)หรือคีโตส(ketose)กับสารประกอบเอมีนในสารละลายร้อน น้ำตาลรีดิวซ์จะทำปฏิกิริยากับเอมีน(ปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน)แบบผันกลับได้เกิดผลิตภัณฑ์คือ ไกลโคซิลเอมีน(glycosylamine) ดังนี้



ถ้าน้ำตาลรีดิวซ์เป็นกลูโคส ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาข้างต้นจะจัดตัวใหม่แบบอะมาโดริ (Amadori rearrangement) ไปเป็น 1-amino-1-deoxy- α -D-fructopyranose

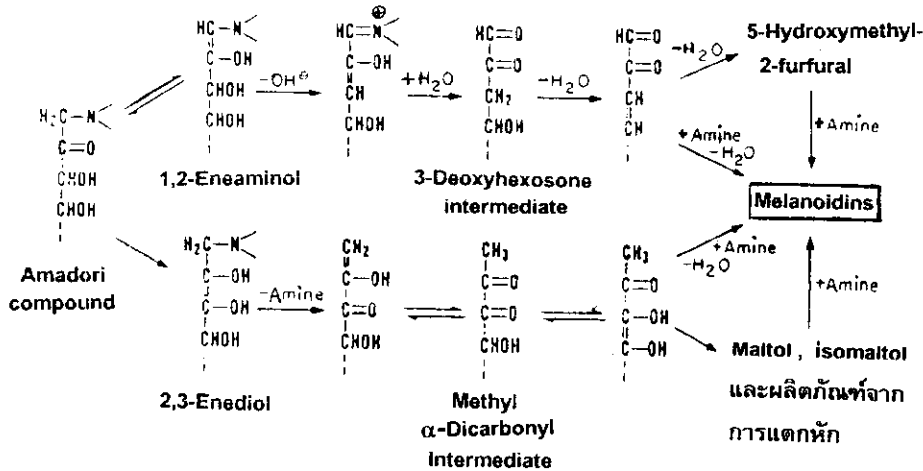


ส่วนการจัดตัวใหม่ของ α -D-fructopyranosylamine (เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างฟรุกโตสและแอมโมเนีย) จะให้ 2-amino-2-deoxy- α -D-glucopyranose ปฏิกิริยานี้เรียกว่าการจัดตัวใหม่แบบไฮน์ (Heyns rearrangement) ซึ่งมีกลไกดังนี้

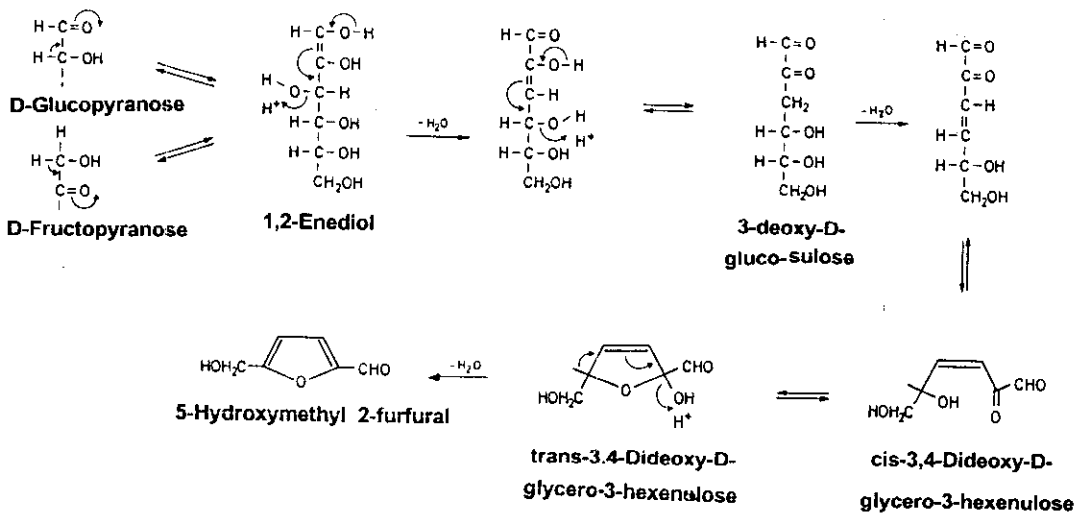


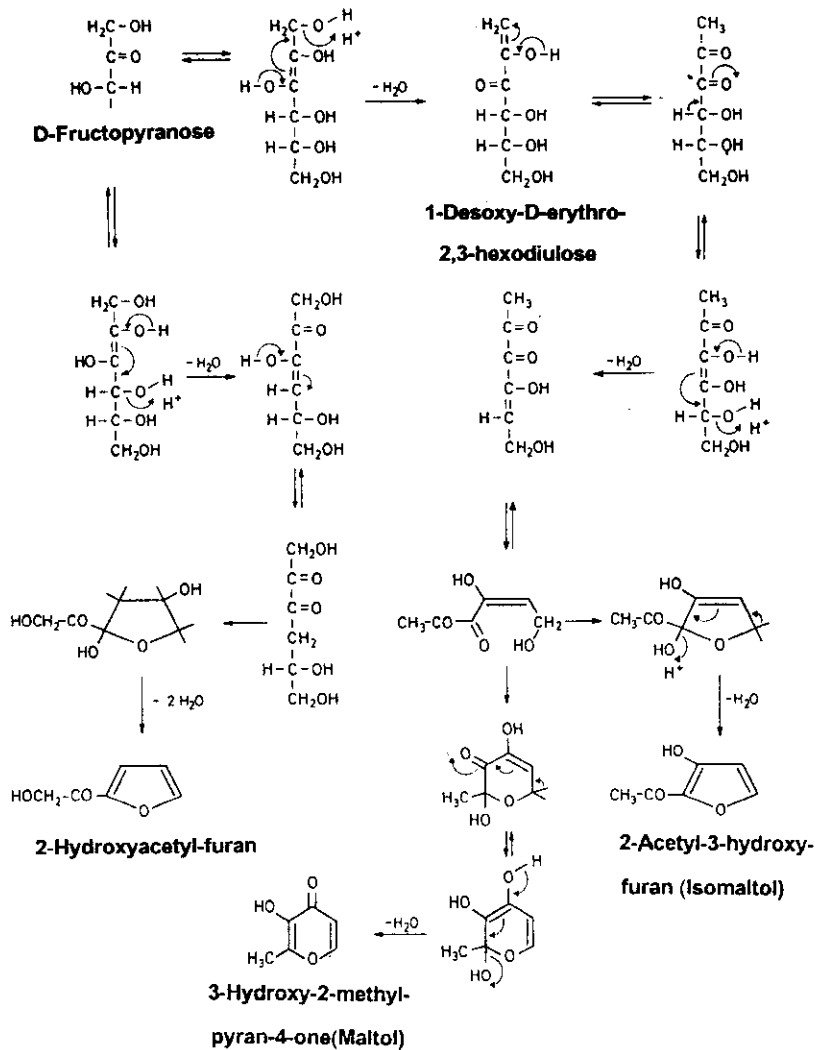
ผลิตภัณฑ์จากการจัดตัวใหม่แบบอะมาโตริจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปโดยเฉพาะที่ pH 5 หรือต่ำกว่าให้สารมัธยฐาน(Intermediate)ซึ่งสูญเสียน้ำ(dehydrate) เกิดผลิตภัณฑ์เป็นอนุพันธ์ของสารจำพวกฟิวแรน (furan derivatives) ซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำออกจากน้ำตาลเฮกโซส (Hexose) ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้แก่ 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF)

ภายใต้สภาวะเป็นกรดน้อย(pHสูงกว่า 5) สารประกอบไซคริกที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (ได้แก่ HMF และสารอื่นๆ)จะเกิดโพลีเมอไรเซชันอย่างรวดเร็วไปเป็นสารสีคล้ำที่ประกอบด้วยไนโตรเจนและไม่ละลายน้ำ มีชื่อว่า เมลานอยดิน(Melanoidin)

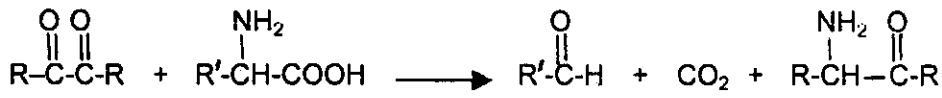


ปฏิกิริยาสำคัญอื่นๆที่เกิดขึ้นได้แก่การแตกหักของน้ำตาล เกิดระบบวงที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated ring systems)ที่มีกลิ่นรสเฉพาะตัวได้แก่ Maltol และ isomaltol ซึ่งมีส่วนต่อกลิ่นรสของขนมปังปิ้ง สารเหล่านี้ยังเกิดจากปฏิกิริยากำจัดน้ำออกจากน้ำตาล

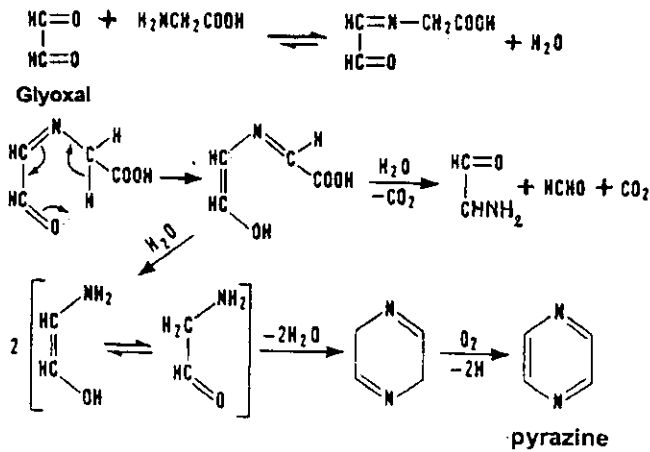




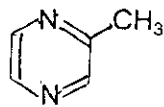
อนุพันธ์ของสารประกอบคาร์บอนิลในขั้นตอนการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ สารประกอบแอลฟา-ไดคาร์บอนิล (α -dicarbonyl compounds) เช่น glyoxal, pyruvaldehyde, 3-deoxyglucosone หรือ dehydroascorbic acid เป็นต้น สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนอิสระไปเป็นสารประกอบแอลดีไฮด์ที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่ากรดอะมิโนเดิม 1 ตัว พร้อมกับการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา 1 โมเลกุล จากการศึกษาโดย Isotope tracing techques พบว่า คาร์บอนไดออกไซด์มาจากหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโน ปฏิกิริยานี้มีชื่อว่า **Strecker degradation**



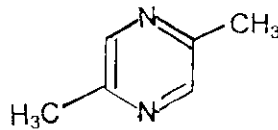
สารประกอบไพราซีน(pyrazines)เป็นสารประกอบอีกประเภทหนึ่งที่พบในปฏิกิริยาการแตกหักของกรดอะมิโน สารนี้พบทั่วไปในอาหารประเภทที่ผ่านความร้อน เช่น ขนมปังปิ้ง เนื้อย่าง, กาแฟคั่ว, โกโก้คั่ว เป็นต้น สารประกอบไพราซีนเป็นสารที่ให้กลิ่นหอมของอาหารเหล่านี้ ตัวอย่างไพราซีนที่เกิดในปฏิกิริยาระหว่าง glyoxal และ กรดอะมิโนไกลซีน ดังนี้



ถ้าสารประกอบไตรคาร์บอนิลตั้งต้นเป็น pyruvaldehyde จะได้ 2,5-dimethylpyrazine แต่ถ้าสารตั้งต้นเป็น pyruvaldehyde และ glyoxal จะได้ผลิตภัณฑ์สามชนิด คือ pyrazine, methylpyrazine และ 2,5-dimethylpyrazine



Methylpyrazine



2,5-dimethylpyrazine

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้อง

ก. อุณหภูมิ ความชื้นและออกซิเจน

อุณหภูมิ ความชื้นและออกซิเจนในอาหารระหว่างขบวนการผลิตและในช่วงเก็บล้วนมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร เช่น ผลอะพริคอตแห้งซึ่งผ่านการรมควันซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้วบรรจุกระป๋อง เก็บที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 46.1°ซ (115°ฟ) มีสีคล้ำใน 3 สัปดาห์ เก็บที่อุณหภูมิห้อง (~21.1°ซ หรือ 70°ฟ) ไม่คล้ำใน 3 เดือนและเก็บที่ 0°ซ (32°ฟ)

ไม่คล้ำหลังจาก 6 เดือน ผลไม้อื่นๆที่แสดงผลคล้ายคลึงกันคือ น้ำส้มคั้นกระป๋อง, แอปเปิ้ลแห้ง บด, น้ำสตอเบอร์รี่และน้ำรัสเบอร์รี่ เป็นต้น

การศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อการเกิดสีน้ำตาลโดยการศึกษาการเกิดสีน้ำตาล ในอะพริคอตแห้งพบว่า นอกจากความชื้นแล้ว ออกซิเจนมักมีส่วนอยู่ด้วยในการเร่งปฏิกิริยา ผลอะพริคอตที่มีความชื้นร้อยละ 25 จะดูออกซิเจนได้เร็วกว่าผลอะพริคอตที่มีความชื้นเพียง ร้อยละ 10 แสดงว่าความชื้นสูงทำให้เกิดสีน้ำตาลเร็วขึ้น การเก็บผลไม้ในที่ ๆ มีออกซิเจนมาก จะเกิดการเปลี่ยนสีอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าผลไม้นั้นจะมีความชื้นอยู่ในระดับใด

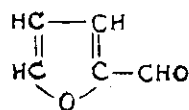
การบรรจุผลไม้ลงกระป๋องหรือขวด อัตราการเกิดสีน้ำตาลขึ้นกับช่องว่างภายใน กระป๋อง ถ้ามีช่องว่างเหนือผลไม้ในกระป๋องมากจะเป็นที่ให้อากาศอยู่ได้ และออกซิเจนใน อากาศเหนือผลไม้นี้จะทำให้ผลไม้เกิดสีน้ำตาลเร็วขึ้น

ข. กรดแอสกอร์บิก

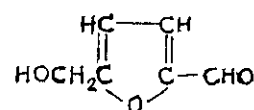
การสลายตัวของกรดแอสกอร์บิกภายใต้สภาวะมีอากาศหรือไม่มีอากาศก็ตาม มี ผลทำให้เกิดรงควัตถุสีน้ำตาลได้ กรดดีไฮโดรแอสกอร์บิกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากออกซิเดชัน ของกรดแอสกอร์บิกสามารถจะแตกหักไปเป็นเอริโทรเพนโทซูลอส (erythropentosulose) ใน สารละลายเจือจางของ SO₂ ในน้ำ สารประกอบนี้พบในแอปเปิ้ลไซเดอร์ที่ใส่ SO₂ กรดแอสกอร์บิก มีผลทำให้เกิดสีน้ำตาลในระบบที่มีน้ำตาล กรดอะมิโนและกรดแอสกอร์บิกอยู่

ค. น้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugars)

น้ำตาลรีดิวส์อาจเกิดการแตกหักไปเป็นเฟอร์ฟูรัล (furfurals) ถ้ามีแร่ธาตุหรือกรด อินทรีย์อยู่ น้ำตาลเพนโตสจะให้ 2-เฟอร์ฟูรัลดีไฮด์ (2-furfuraldehyde) ส่วนน้ำตาลเฮกโซสจะ ให้ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์ฟูรัลดีไฮด์ (2-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde)



Furfuraldehyde



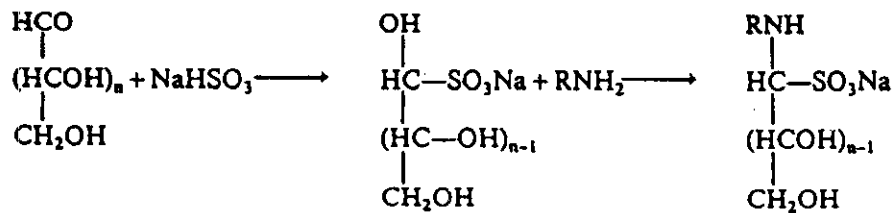
5-Hydroxy Methylfurfural

เฟอร์ฟูรัลสามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนหรือสารประกอบเอมีนซึ่งนำไปสู่การ เกิดรงควัตถุสีน้ำตาล

ง. ลิปิด

ลิปิดอาจมีส่วนในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล พวกไลโปโปรตีนมีหมู่อะมิโนซึ่งจะทำ ปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวส์และสารประกอบแอลดีไฮด์ได้

การยับยั้งปฏิกิริยาเมลลาร์ด ถ้าไม่เป็นที่ต้องการในอาหาร อาจทำได้โดยการลด pH ปฏิกิริยาโดยใช้คุณสมบัติระหว่างการแปรรูป การปรุงหรือเก็บอาหารควรใช้น้ำตาลที่ไม่ใช่ น้ำตาลรีดิวซ์ (nonreducing sugar) และป้องกันโดยใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือสารซัลไฟต์ ซัลไฟต์สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลอิสระและขัดขวางการเกิด Schiff's base ดังสมการต่อไปนี้



ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในอาหารตากแห้ง อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิในการเก็บและปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ มีผลทำให้เกิดการสูญเสียซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์ได้ ดังนั้น จึงต้องคำนึงถึงปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์ที่ต้องใช้เพื่อให้ผลตามที่ต้องการ

การเกิดสีน้ำตาลในมันฝรั่งอบแห้งจะถูกดึงให้ช้าลงได้โดยการใช้แคลเซียมคลอไรด์ หรือให้ผลดีกว่าโดยใช้สารผสมของแคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมไบซัลไฟต์ มันฝรั่งจะถูกลวกเพื่อทำลายเอ็นไซม์เสียก่อน แล้วจึงนำไปฉีดพ่นด้วยสารละลายของสารประกอบเหล่านี้ก่อนนำไปอบแห้ง ผลของแคลเซียมคลอไรด์ที่ทำให้การเกิดสีน้ำตาลช้าลงยังไม่สามารถอธิบายได้

5.4.6 กลิ่นรสของผักและผลไม้

กลิ่นรสของผักและผลไม้เกิดจากสารประกอบหลายประเภทที่มีในผักและผลไม้ เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาลและสารที่ระเหยได้ (volatile compounds)

ผักและผลไม้ประกอบด้วยกรดอินทรีย์หลายชนิด กรดเหล่านี้พบในใบ ก้าน ผล และรากของพืช กรดอินทรีย์บางชนิดสำคัญต่อเมตาโบลิซึมของเซลล์ของพืช เช่น กรดซิตริก (citric acid), กรดมาลิก (malic acid), และกรดซัคซินิก (succinic acid) บางชนิดระเหยได้ เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) และกรดอะซิติก (acetic acid) บางชนิดไม่ระเหย (nonvolatile) เช่น กรดออกซาลิก (oxalic acid), กรดซัคซินิก, กรดมาลิกและกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) กรดอินทรีย์ที่สำคัญในผักและผลไม้แสดงอยู่ในตารางที่ 5.7

ในผักและผลไม้แต่ละชนิดจะมีปริมาณของกรดอินทรีย์ไม่เท่ากัน เช่น แอปเปิ้ลมีกรดมาลิกมากแต่มีกรดซิตริกน้อย ส่วนมะนาวและส้มมีกรดซิตริกมากเป็นพิเศษ องุ่นมีกรดทาร์ทาริกและกรดมาลิก

สัดส่วนของกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อของพืชอาจเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงที่กำลังเจริญเติบโตและเมื่อสุกแล้ว เช่น ผลไม้ที่กำลังเจริญเติบโตจะมีปริมาณของกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อสุกแล้วปริมาณกรดจะลดลง มีผลไม้บางชนิดที่มองไม่เห็นความแตกต่างระหว่างเนื้อและเปลือก แต่ผลไม้เหล่านี้จะมีกรดอินทรีย์ที่ชั้นนอกและชั้นในแตกต่างกัน ผลไม้พวกส้มมีกรดมาลิกที่เนื้อมากกว่าเปลือก

ตารางที่ 5.7 กรดอินทรีย์ในผักและผลไม้สุกบางชนิด

| ผักและผลไม้ | กรดซิตริก (%) | กรดมาลิก (%) | กรดอื่น ๆ |
|--------------------|------------------|-----------------|--------------------|
| แอปเปิ้ล | | | |
| Crap | 0.03 | 1.02 | — |
| Ionathan | — | 0.75 | — |
| Yellow transparent | 0.02 | 0.97 | — |
| องุ่น | — | 0.65 | 0.43% กรดทาร์ทาริก |
| องุ่น, concord | 0.02 | 0.3 | 1.07% กรดทาร์ทาริก |
| กล้วย | 0.32 | 0.37 | — |
| มะนาว | 3.84 | น้อยมาก | — |
| ส้ม | 0.98 | น้อยมาก | — |
| สับปะรด | 0.84 | 0.12 | — |
| สตรอเบอร์รี่ | 0.91 | 0.10 | — |
| แตงโม | — | 0.20 | — |
| บรอกคอลลี | 0.21 | 0.12 | — |
| แครอท | 0.09 | 0.24 | — |
| กะหล่ำปลี | 0.14 | 0.10 | — |
| ดอกกะหล่ำ | 0.21 | 0.39 | — |
| แตงกวา | 0.01 | 0.24 | — |
| ผักขม | 0.08 | 0.09 | — |
| หัวหอม | 0.02 | 0.17 | — |
| หน่อไม้ฝรั่ง | 0.11 | 0.10 | — |

ตารางที่ 5.8 ปริมาณของน้ำตาลบางชนิดในผลไม้

| ผลไม้ | ร้อยละของส่วนที่รับประทานได้ | | |
|-----------|------------------------------|---------|--------|
| | กลูโคส | ฟรุกโตส | ซูโครส |
| แอปเปิ้ล | 1.72 | 6.08 | 3.62 |
| กล้วยหอม | 5.82 | 3.78 | 6.58 |
| องุ่นขาว | 8.12 | 8.01 | 0.00 |
| ส้มโอ | 1.95 | 1.24 | 2.14 |
| ส้ม | 2.36 | 2.38 | 4.70 |
| สับปะรด | 2.32 | 1.42 | 7.89 |
| มะเขือเทศ | 1.63 | 1.17 | 0.00 |

ความหวานของผักและผลไม้เกิดจากน้ำตาล ซึ่งอาจมีมากกว่าชนิดเดียว และมีปริมาณต่างกัน ตารางที่ 5.8 แสดงชนิดและปริมาณของน้ำตาลบางชนิดในผลไม้ ความหวานของผักและผลไม้จะต่างกันขึ้นกับพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว ความแก่อ่อน ชนิดและปริมาณของน้ำตาลในผักและผลไม้ นั้น ๆ

ผักส่วนใหญ่ที่เก็บมาใหม่ ๆ มีรสดีเพราะมีปริมาณน้ำตาลสูง แต่เมื่อเก็บไว้นาน น้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นแป้ง ผักบางชนิดเก็บสะสมแป้งไว้ตั้งแต่ยังไม่แก่จัด เช่น ถั่ว ข้าวโพด เมื่อผักเหล่านี้แก่จัดแป้งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ผลไม้ดิบมีแป้งมาก เมื่อผลไม้สุกปริมาณแป้งจะลดลงและปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น เช่น แดงโม ส้ม กล้วย เมื่อสุกจัดจะมีรสหวาน ถ้าเอากล้วยดิบมาแช่เย็น การเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลจะหยุดชะงัก กล้วยจะสุกช้าลง

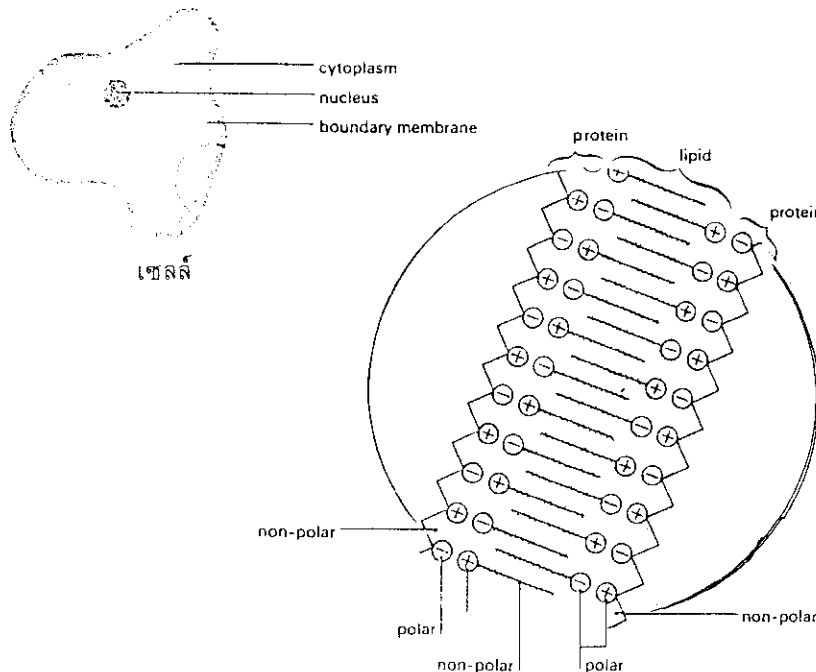
นอกจากนี้ในผักและผลไม้ยังมีสารที่ระเหยได้หลายชนิด ซึ่งทำให้ผักและผลไม้มีกลิ่นรสแตกต่างกัน เช่น เอสเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตนและแอลกอฮอล์ เช่น กล้วยมีเอมีลอะซิเตต (amyl acetate), สับปะรดมีเมธิลบิวทีเรท (methyl butyrate), เซอร์รีมีเบนซัลดีไฮด์ (benzaldehyde) และรัสปีเบอร์รี่มีไอโอโนน (ionone) เป็นต้น

ผลไม้ดิบและผักบางชนิดมีรสฝาด เช่น กล้วยดิบ ฝรั่งดิบ และมะเขือขึ้น รสฝาดเหล่านี้เกิดจากสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) ที่มีในผลไม้และผักเหล่านี้ สารประกอบฟีนอลที่ให้รสฝาดที่สำคัญคือ แทนนิน ส่วนรสขมที่พบในผลไม้พวกส้มเกิดจากนาริงจิน (naringin)

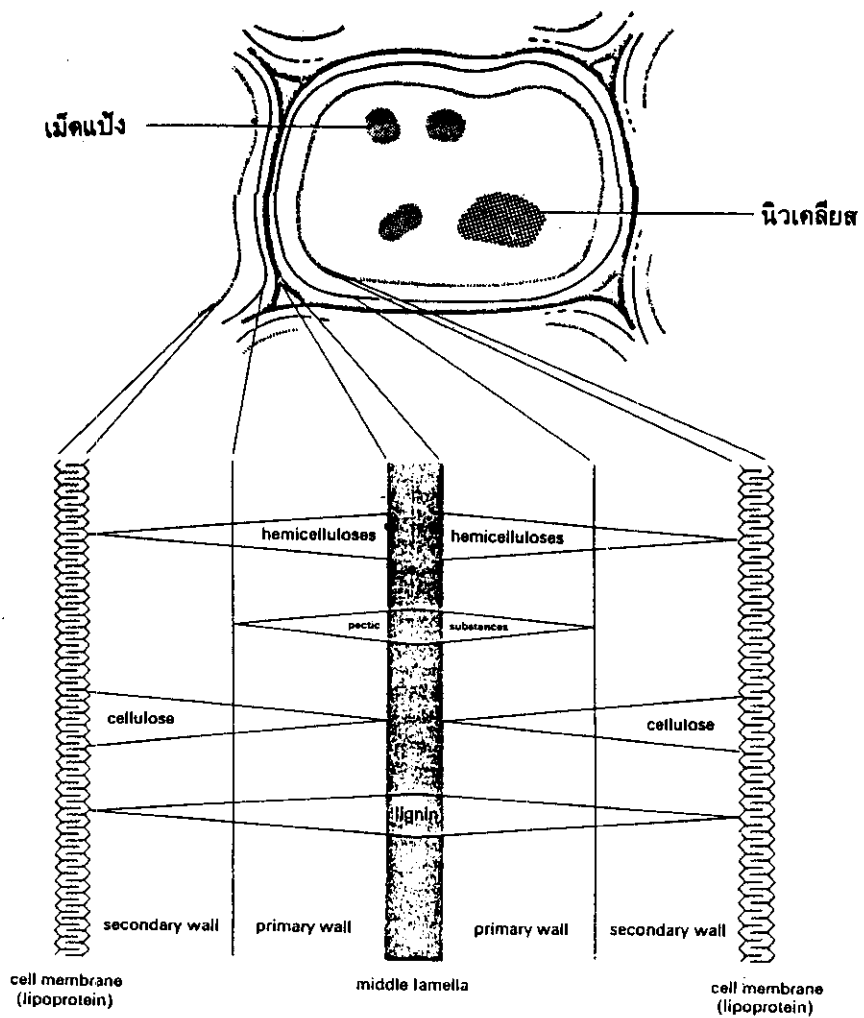
5.4.7 เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้

เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้เกี่ยวข้องกับความสะดวกหรือความเต่งตึง (turgidity) และความกรอบ (crispness) ซึ่งเกิดจากปริมาณน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ ความเต่งตึงนี้เกิดจากแรงดัน (turgor pressure) จากภายในเซลล์เพื่อที่จะรักษารูปร่างของเซลล์ให้คงที่ แต่ถ้าน้ำระเหยไป เนื้อผักและผลไม้จะอ่อนตัวไม่กรอบ ผันังเซลล์มีความยืดหยุ่นสามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากโดยที่เซลล์ไม่แตก แต่ถ้าเซลล์ขยายตัวเกินกว่าแรงยืดหยุ่นของผนังเซลล์จะรับไว้ได้ เซลล์จะแตกของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์จะไหลออกมาทำให้ผลไม้หมดความกรอบและความแข็ง (rigidity) ผักหลังเก็บเกี่ยวจะยังคงมีการหายใจและคายน้ำออก ถ้าปริมาณน้ำสูญเสียไปมาก ผักและผลไม้จะเหี่ยว คุณภาพของเนื้อสัมผัสจะด้อยลง

ลักษณะของเนื้อสัมผัสอีกแบบหนึ่งของผักและผลไม้คือ ความแน่นเนื้อ (firmness) และความแข็งซึ่งเกี่ยวข้องกับสารที่ประกอบขึ้นเป็นผนังเซลล์ ได้แก่ เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose), สารจำพวกเพกติก (pectic substances) และลิกนิน (lignin) คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้มีบทบาทสำคัญคือ เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์และปกป้องเซลล์ และเป็นสารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ถัดจากผนังเซลล์จะเป็นเยื่อหุ้มเซลล์



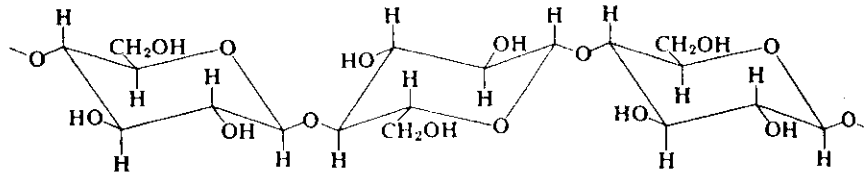
รูปที่ 5.4 แผนภาพแบบง่ายแสดงโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ รูปในวงกลมใหญ่เป็นรูปขยายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งมี 2 ชั้น แต่ละส่วนของชั้นจะประกอบด้วยลิพิด และโปรตีน



รูปที่ 5.5 แผนภาพแบบง่ายแสดงผนังเซลล์ 2 ผนังเซลล์ที่อยู่ติดกันและองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ (cell membrane) ซึ่งประกอบด้วยไลโปโปรตีน (lipoprotein) (รูปที่ 5.4) เยื่อหุ้มเซลล์เป็นเยื่อชนิด semi-permeable (ยอมให้สารบางอย่างซึมผ่านได้เท่านั้น) ผนังเซลล์ และองค์ประกอบของผนังเซลล์มีส่วนสำคัญเกี่ยวข้องกับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ รูปที่ 5.5 แสดงผนังเซลล์ 2 ผนังเซลล์ที่อยู่ติดกันและองค์ประกอบของผนังเซลล์

ก. เซลลูโลส (Cellulose)

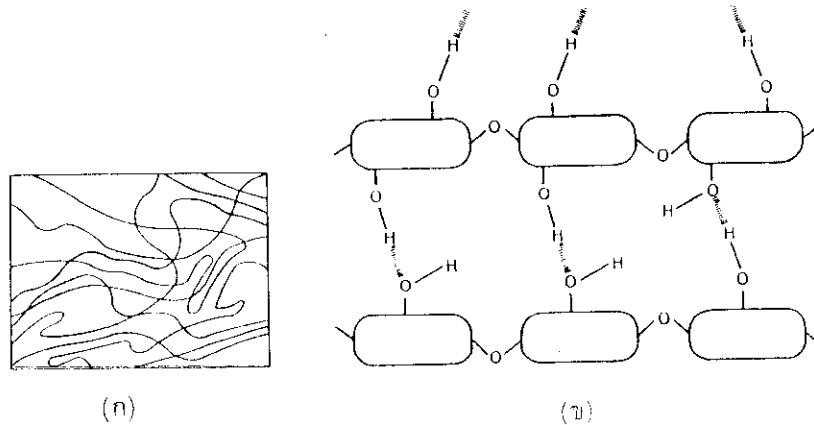
เซลลูโลส เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) หรือน้ำตาลหลายชั้น ประกอบด้วยหน่วยโมโนเมอร์ (monomer units) คือ กลูโคส เชื่อมต่อกันโดยพันธะเบต้า-ไกลโคซิดิก (β -glycosidic bonds)



ส่วนของโมเลกุลของเซลลูโลส

เซลลูโลสส่วนใหญ่อยู่ที่ผนังเซลล์ของผักและผลไม้ มีมากในใบ, ก้านผักและเปลือกผลไม้ เซลล์ของผักมีเซลลูโลสมากกว่าผลไม้ ร่างกายคนไม่มีเอนไซม์สำหรับย่อยเซลลูโลส ดังนั้นเซลลูโลสของผักและผลไม้จึงไม่ถูกย่อยในร่างกายคนและเหลือเป็นกากอาหารถูกขับถ่ายออกไป

จากการศึกษาโดยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน พบว่า เส้นใยของเซลลูโลสประกอบด้วยย่านที่เป็นผลึก ซึ่งเป็นระเบียบและย่านที่ไม่เป็นระเบียบ สำหรับย่านที่เป็นผลึกในเส้นใยของเซลลูโลสโมเลกุลจะจัดตัวขนานซึ่งกันและกัน และยึดติดกันอย่างมีระเบียบโดยพันธะไฮโดรเจน (รูปที่ 5.6) แต่สำหรับย่านที่ไม่เป็นระเบียบมีจำนวนของหมู่ OH อิสระอยู่มากกว่าส่วนที่เป็นระเบียบ ดังนั้น ย่านที่ไม่เป็นระเบียบจึงดูดน้ำได้มากกว่า โดยน้ำจะก่อพันธะไฮโดรเจนกับหมู่-OH อิสระเหล่านี้ เชื่อกันว่าย่านที่เป็นผลึกหรือเป็นระเบียบเป็นย่านที่ให้ความแข็งแรง และย่านที่ไม่เป็นระเบียบเป็นย่านที่ให้ความยืดหยุ่น



รูปที่ 5.6 (ก) ย่านที่เป็นผลึกซึ่งเป็นระเบียบในเส้นใยเซลลูโลส

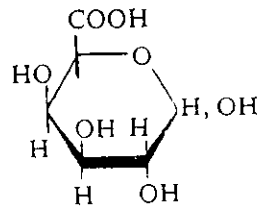
(ข) พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสเพื่อให้เกิดย่านที่เป็นระเบียบขึ้น

ข. เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

คำว่า “เฮมิเซลลูโลส” รวมโพลีแซกคาไรด์หลายชนิดไว้ด้วยกัน โพลีแซกคาไรด์เหล่านี้แตกต่างจากเซลลูโลสและสารจำพวกเพกติก เฮมิเซลลูโลสในพืชบกไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายเอเคียสของต่าง บางชนิดประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลเพนโตส (pentose units) และ/หรือหน่วยของน้ำตาลเฮกโซส (hexose unites) บางชนิดประกอบด้วยหน่วยของกรดเฮกซุโรนิก (hexuronic acid units) และในบางกรณีอาจพบดีออกซีเฮกโซส (deoxy-hexose) และแอล-รามโนส (L-rhamnose) ตัวอย่างของเฮมิเซลลูโลส ได้แก่ ไซแลน (xylan) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลไซโลส แมนแนน (mannan) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลแมนโนส อะราบิโนกลูคูโรนิกไซแลน (arabinoglucuronoxylan) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลอะราบิโนส, กรดกลูคูโรนิก และไซโลส เป็นต้น

ค. สารจำพวกเพกติก (Pectic substances)

สารจำพวกเพกติกเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อของพืช พบในผนังเซลล์และยังเกิดอยู่ใน middle lamella ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างเซลล์ (intercellular cement) แม้ว่าธรรมชาติของสารเหล่านี้ยังไม่กระจ่างนัก แต่ก็อาจพิจารณาได้ว่าเป็นโพลิเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิก (D-galacturonic acid) ซึ่งเชื่อมต่อกันโดยพันธะ α -1,4-ไกลโคซิดิก (α -1,4-glycosidic linkage) และหมู่คาร์บอกซิล (COOH) บางส่วนถูกแทนที่ด้วยหมู่เมทิลเอสเทอร์ (COOCH₃)



D-galacturonic acid

สารจำพวกเพกติกอาจจำแนกออกเป็น 3 ประเภทตามปริมาณหมู่เมทิลเอสเทอร์ในโมเลกุล ดังนี้

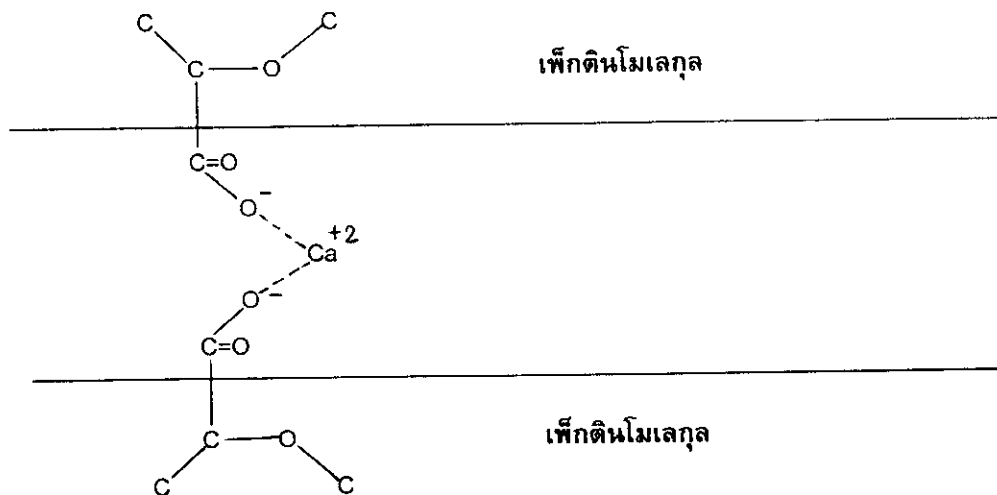
1. โปรโตเพกติน พบในผลไม้ที่ยังไม่สุก เป็นโพลิเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์ ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถเปลี่ยนเป็นเพกตินที่แพร่กระจายในน้ำได้โดยการต้มในน้ำร้อน โปรโตเพกตินไม่สามารถเกิดเจล (gel)
2. กรดเพกตินิก เป็นโพลิเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิกที่ประกอบด้วยหมู่เมทิลเอสเทอร์เกิดจากโปรโตเพกตินขณะที่ผลไม้สุก กรดเพกตินิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ เรียกว่า เพกติน กรดเพก

ตินิกแพร่กระจายในน้ำได้ และสามารถเกิดเจลกับน้ำตาลและกรดในสภาวะที่เหมาะสม มันยังสามารถเกิดเจลกับโลหะไอออนได้เป็นเกลือเพกตินเนต

3. **กรดเพกติก** เป็นอนุพันธ์ของกรดเพกตินิกที่มีโซ่สั้นๆเกิดขึ้นเมื่อผลไม้สุกเต็มที่หรือสุกอมเย็นไซม์ เช่น เพกตินเอสเทอเรส(pectinesterase)และโพลิกาแลกตูโรเนส(polygalacturonase) สามารถไฮโดรไลส์หมู่เมซิลเอสเทอร์และไฮโดรไลส์ไซโพลิเมอร์ของกรดเพกติกตามลำดับ ถ้าหมู่เมซิลเอสเทอร์ของกรดเพกติกโซ่สั้นๆถูกไฮโดรไลส์ออกหมดจะได้กรดเพกติกซึ่งไม่สามารถเกิดเจล

เพกติน เป็นกรดเพกติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและสามารถแพร่กระจายในน้ำ หมู่เมซิลเอสเทอร์ในเพกตินอาจมีมากถึง 60% ในเนื้อแอปเปิ้ลหรือมีแค่ 10%ในสตอเบอรี่ (ในระหว่างการสัทหรือแปรรูปอาจเกิดการไฮโดรไลส์หมู่เมซิลเอสเทอร์ออกไปอีก) จึงอาจจำแนกเพกตินออกเป็นเพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง(**high methoxyl pectin**) และเพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ(**low methoxyl pectin**) เพกตินสองหมู่นี้มีคุณสมบัติการเกิดเจลที่แตกต่างกัน

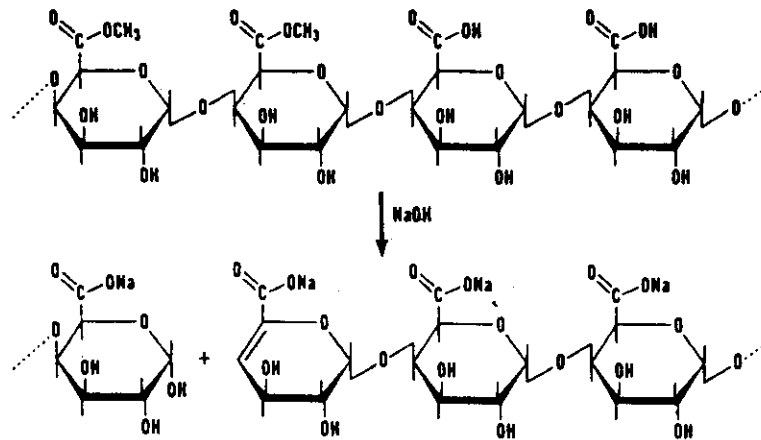
เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลอิสระเป็นส่วนใหญ่ ความจริง มีเพียง 20-40% ของหมู่คาร์บอกซิลที่ถูกเปลี่ยนเป็นเมซิลเอสเทอร์ ดังนั้น เพกตินประเภทนี้จึงเกิดครอสลิงค์(cross-link)กับไดวาเลนต์ไอออน เช่น แคลเซียมได้



ถ้าเกิดครอสลิงค์เพียงพอจนเป็นโครงข่ายสามมิติซึ่งสามารถดักจับน้ำไว้ จะสามารถเกิดเจลได้ ดังนั้น เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำจึงสามารถเกิดเจลได้กับไดวาเลนต์ไอออนโดยไม่ต้องมีน้ำตาลหรือกรด

ส่วนเพกตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง ประกอบด้วยหมู่เมธิลเอสเทอร์ปริมาณมาก (50-58%) หมู่คาร์บอกซิลจึงมีไม่เพียงพอที่จะเกิดครอสลิงก์กับไอออนลบของไดวาเลนต์ไอออน ดังนั้น เพกตินประเภทนี้จึงไม่อาจเกิดเจลในลักษณะนี้ อย่างไรก็ตาม มันสามารถเกิดเจลโดยการเติมน้ำตาลและกรด เพกตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูงจึงใช้ในการผลิตเพกตินเยลลี่(pectin jelly)

กรดเจือจางสามารถไฮโดรไลส์เมธิลเอสเทอร์และพันธะไกลโคซิดิกของเพกติน ต่างก็ไฮโดรไลส์หมู่เมธิลเอสเทอร์ แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิด้วย พันธะไกลโคซิดิกในตำแหน่งเบตากับหมู่เอสเทอร์ของเพกตินจะแตกออก ตามด้วยการเกิดพันธะคู่ระหว่าง C-4 และ C-5 ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



ในทางการค้าเพกตินสามารถสกัดได้จากเปลือกส้มโดยใช้กรดเจือจางหรือจากกากแอปเปิ้ลที่คั้นน้ำออก (apple pomace) เพกตินใช้ในการผลิตเยลลี่และแยมที่มีปริมาณน้ำตาลสูง ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ทำจากเพกตินซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อย 50% ถูกเติมหมู่เมธิล ระดับของเมธิเลชัน (degree of methylation), DM = 50 DM ยิ่งสูงอุณหภูมิในการเกิดเจลจะสูงขึ้น เพกตินที่ก่อตัวเร็ว (rapid-set pectin) (ประมาณ 74 DM) ใช้ในการทำแยม ทั้งเพกตินที่ก่อตัวเร็วหรือเพกตินที่ก่อตัวช้า (ประมาณ 60 DM) สามารถใช้ทำเยลลี่ได้

ในการเกิดเจลจะต้องใช้น้ำตาล กรด น้ำและเพกติน น้ำตาลในเยลลี่ปกติมีความเข้มข้น 65 - 70% และ pH ~2.8 - 3.2 โปรตอนของกรดทำให้สมดุลระหว่างเพกตินที่มีหมู่คาร์บอกซิลในรูปไอออนลบ (ionized carboxyl groups) และรูปที่ไม่ไอออนลบเปลี่ยนไปทางที่เกิดคาร์บอกซิลที่ไม่ไอออนลบมากกว่า ดังนั้นจึงลดประจุลบ ลดแรงดึงดูดระหว่างเพกตินกับโมเลกุลของน้ำ และลดความสามารถของเพกตินที่จะอยู่ในสภาวะแพร่กระจาย น้ำตาลยัง

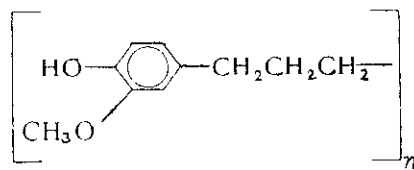
รวมกับน้ำทำให้ปริมาณน้ำที่รวมกับเพกตินลดลง เมื่อสารละลายของเพกติน, น้ำตาลและกรด เย็นลง เพกตินที่แพร่กระจายได้น้อยและอุ้มน้ำไว้น้อยจะเกิดเจล ถ้าคัมเจลมันจะเปลี่ยนกลับไป เป็นของเหลวได้

เพกตินที่มีปริมาณของหมู่เมทอกซิล (methoxyl group) ต่ำ สามารถเกิดเจลได้กับ ไดวาเลนต์แคทไอออน (divalent cations) เช่น แคลเซียมซึ่งจะเกิดสะพานเกลือ (salt bridging) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลอิสระและโพลีวาเลนต์แคทไอออน การเกิดเจลประเภทนี้ไม่จำเป็นต้อง มีน้ำตาล แต่ถ้าเติมน้ำตาลเล็กน้อยจะช่วยให้รสดีขึ้น เจลประเภทนี้เกิดได้ในช่วง pH กว้างกว่า เจลที่เกิดโดยเพกตินที่มีปริมาณของหมู่เมทอกซิลสูง เพกตินที่มีปริมาณหมู่เมทอกซิลต่ำมีประโยชน์ ในกรณีที่ต้องการจำกัดปริมาณน้ำตาล เพกตินที่มีปริมาณหมู่เมทอกซิลต่ำ เตรียมได้โดยการ ควบคุมไฮโดรลิซิสของเมทิลเอสเทอร์ในเพกตินให้อยู่ในปริมาณที่ต้องการ โดยให้ทำปฏิกิริยากับ กรด ต่างหรือเอ็นไซม์เพกติน เมทิล เอสเทอร์เอส (pectin methyl esterase)

โปรโตเพกตินมีมากในผลไม้ที่ยังไม่สุกเมื่อผลไม้เริ่มสุก ปริมาณของโปรโตเพกติน จะค่อย ๆ ลดลงและมีปริมาณของเพกตินที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้ผลไม้มีความ แน่นน้อยลง และต่อมามีระยะหนึ่งซึ่งปริมาณของสารเพกติกทั้ง 2 ชนิดนี้จะค่อนข้างคงที่ และในที่สุด สารเพกติกทั้งหมดจะลดลงและเนื้อสัมผัสของผลไม้จะนุ่มลง การเติมเกลือแคลเซียม จะเพิ่มความแน่นเนื้อของผักและผลไม้ เช่น มะเขือเทศ แอปเปิ้ล เบอร์รี่ (berry) ดังนั้น จึงนิยมแช่ ผักและผลไม้ในเกลือแคลเซียมก่อนบรรจุกระป๋องหรือก่อนแช่แข็ง เกลือที่ใช้กันทั่วไปคือ แคล-เซียมคลอไรด์, แคลเซียมซิเตรต (calcium citrate), แคลเซียมซัลเฟต, แคลเซียมแลกเตต (calcium lactate) และโมโนแคลเซียมฟอสเฟต (monocalcium phosphate) เกลือแคลเซียมส่วนใหญ่ ละลายในน้ำได้บ้างและบางชนิดมีรสขมเล็กน้อย

ง. ลิกนิน (lignin)

ลิกนิน (lignin) ไม่ใช่โพลีแซ็กคาไรด์ มีอยู่ในผนังเซลล์ของพืชไม้ยืนต้นซึ่งประกอบด้วยลิกนินเป็นจำนวนมาก ลำต้นของผักที่ค่อนข้างแก่และแข็งจะมีลิกนินอยู่ ลิกนินบริสุทธิ์แยก ออกได้ยาก ด้วยเหตุนี้โครงสร้างของลิกนินจึงยังไม่ทราบแน่นอน แต่พอจะทราบว่าเป็นโพลีเมอร์ ของอนุพันธ์ของฟีนิลโพรเพน (phenyl propane derivatives)



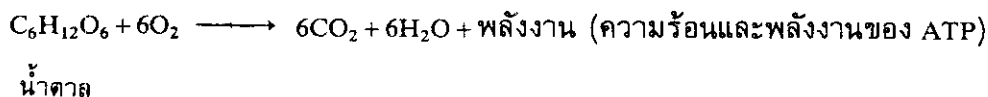
ความแข็งของไม้ยืนต้นทุกชนิด เปลือกของเมล็ดเกล็ดและความเหนียว (toughness) ของเส้นใยของผักบางชนิด เช่น เซเลอรี (celery) เกิดจากการมีลิกนินอยู่

5.4.8 การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้หลังเก็บเกี่ยว

หลังเก็บเกี่ยว เนื้อเยื่อของผักและผลไม้ถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำและอาหาร น้ำและอาหารในเซลล์จะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ แต่ขบวนการเมตาโบลิซึมมิได้หยุดทันที เนื้อเยื่อของพืชยังมีชีวิตและมีแอกติวิตีทางสรีรวิทยา (physiological activities) เช่น การหายใจและการคายน้ำ แต่อาจมีการสังเคราะห์แสงบ้างเล็กน้อยในช่วงระยะสั้นเท่านั้น แต่ไม่มีการสังเคราะห์สารใหม่จากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ อย่างไรก็ตาม ยังมีการเปลี่ยนแปลงทางเมตาโบลิซึมต่าง ๆ เกิดขึ้นระหว่างองค์ประกอบอินทรีย์ในเนื้อเยื่อของพืช เช่น การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลในผลไม้ และการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแป้งในผักหลายชนิด ถ้าขบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ยังคงดำเนินต่อไป จะทำให้ผลไม้เน่าเสียไปในที่สุด

1. การหายใจ

การหายใจเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลหรือคาร์โบไฮเดรตและกรดอินทรีย์ (organic acids) ในเนื้อเยื่อของพืช น้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) 1 โมเลกุล เมื่อถูกออกซิไดส์โดยออกซิเจน 6 โมเลกุลจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุลและน้ำ 6 โมเลกุล พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานของอะดีโนซีนไตรนิวคลีโอไทด์ (ATP) ซึ่งเป็นสารที่เก็บสะสมพลังงานและบางส่วนจะให้ออกมาในรูปของความร้อน ออกซิเดชันของน้ำตาลที่เกิดขึ้นมีหลายขั้นตอนภายใต้การควบคุมของเอ็นไซม์หลายชนิด สมการอย่างง่ายที่แสดงปฏิกิริยาการหายใจของพืช คือ



การวัดอัตราการหายใจของผลไม้และผักอาจใช้วิธีวัดอัตราการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งทำได้โดยการวัดมิลลิกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ที่คายออกต่อน้ำหนักผลไม้หรือผัก 1 กิโลกรัมต่อ 1 ชั่วโมง ตารางที่ 5.9 แสดงอัตราการหายใจของผลไม้และผักบางชนิดหลังเก็บเกี่ยว

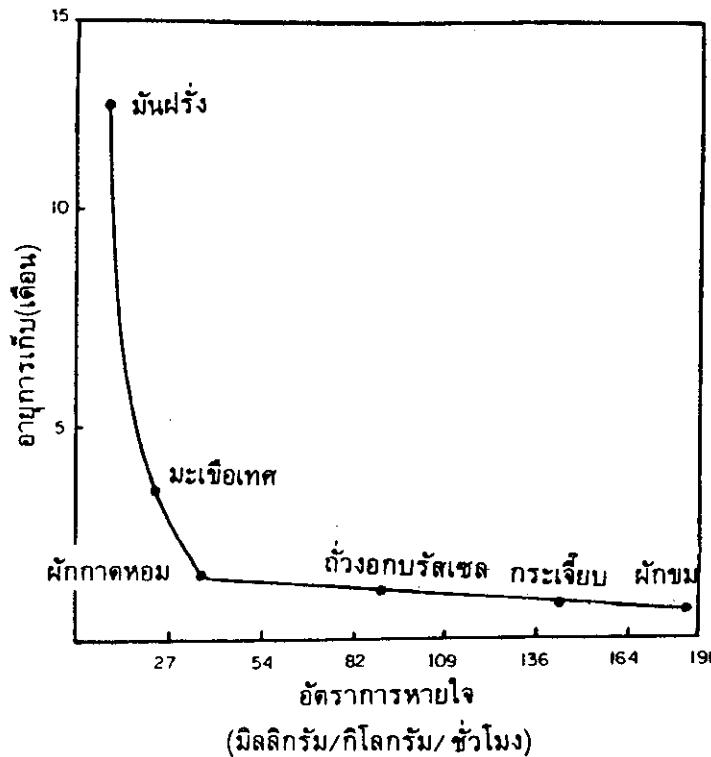
ตารางที่ 5.9 อัตราการหายใจของผลไม้และผักบางชนิดหลังเก็บเกี่ยว

| ผลไม้และผัก | อุณหภูมิ (°ซ) | อัตราการหายใจ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/ชั่วโมง) | |
|---------------------|---------------|--|----------------------------|
| | | อัตราพื้นฐาน | จุดสูงสุดของไคลแมกเทอร์ริก |
| อะโวคาโด | 20 | 70 | 310 |
| กล้วย | 20 | 40 | 120 |
| มะม่วง | 20 | 44 | 126 |
| แอปเปิ้ล | 23 | 12-20 | 30-40 |
| ส้ม (Valencia) | 21 | 26 | |
| ถั่วแขก | 22.2 | 183 | |
| ถั่วหวาน (ในผัก) | 22.2 | 306 | |
| ถั่วหวาน (มีเปลือก) | 22.2 | 418 | |
| หน่อไม้ฝรั่ง | 22.2 | 271 | |
| กะหล่ำปลี | 25 | 55 | |
| ผักขม | 20 | 60-70 | |
| มันฝรั่ง | 22 | 7-14 | |

อัตราการหายใจของผลไม้และผักมีผลต่ออายุการเก็บของมัน ผลไม้และผักที่มีอัตราการหายใจสูง เช่น ถั่วแขก, หน่อไม้ฝรั่งและผักขม จะเสียเร็วกว่าพวกที่มีอัตราการหายใจต่ำกว่า เช่น มันฝรั่ง กะหล่ำปลี เป็นต้น (ตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.7)

ตารางที่ 5.10 อัตราการหายใจของผลไม้และผักและอายุการเก็บ

| ผลไม้และผัก | อัตราการหายใจ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/ชั่วโมง) | | อายุการเก็บ (สัปดาห์) |
|--------------------|--|--------|-----------------------|
| | (5°ซ) | (25°ซ) | |
| ถั่วลันเตา | 50 | 475 | 1 |
| หน่อไม้ฝรั่ง | 45 | 260 | 2-3 |
| อะโวคาโด | 10 | 400 | 2-4 |
| เทอร์นิป (Turnips) | 6 | 17 | 16-20 |
| แอปเปิ้ล | 3 | 30 | 13-32 |



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจและอายุการเก็บของผักบางชนิด

เราอาจจำแนกผลไม้ตามรูปแบบการหายใจของมันออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

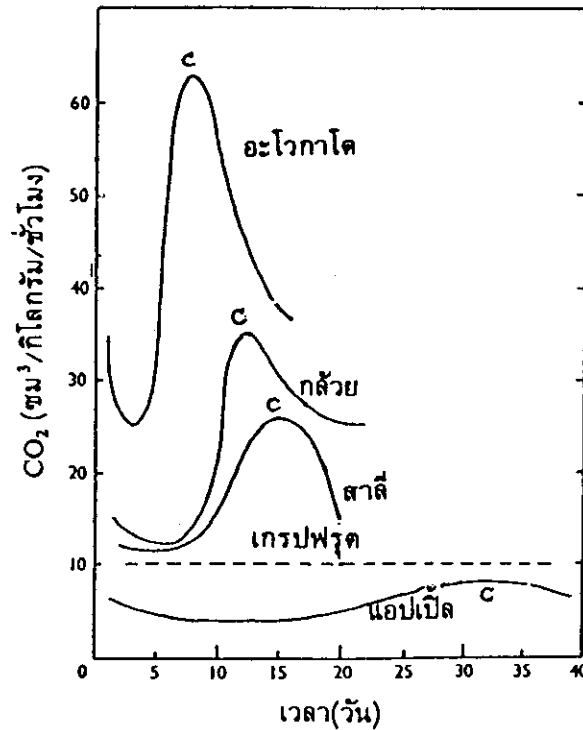
1. ผลไม้ประเภทไคลแมกเทอริก (climacteric fruits) ได้แก่ ผลไม้ที่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นชั่วคราวหนึ่งหลังเก็บเกี่ยว รูปที่ 5.8 แสดงอัตราการหายใจของผลไม้หลายชนิดหลังเก็บเกี่ยว จะเห็นว่าอัตราการหายใจของอะโวคาโด, กัลย สาลี่, และ แอปเปิ้ล ในระยะแรกหลังเก็บเกี่ยว จะลดลงจนถึงจุดต่ำสุด (preclimacteric minimum) จากนั้นอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงจุดสูงสุด (Climacteric peak) การเพิ่มอัตราการหายใจมักเกิดตรงกับระยะที่ผลไม้กำลังสุก มีการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของผลไม้ เมื่ออัตราการหายใจขึ้นถึงจุดสูงสุดซึ่งมักจะเป็นจุดที่ผลไม้สุกเต็มที่และมีรสชาติมากที่สุด แต่เมื่ออาหารต่าง ๆ ที่ถูกนำไปใช้ในการหายใจลดน้อยลง อัตราการหายใจจะลดลง จากนั้นผลไม้จะดึงเอาอาหารต่าง ๆ ที่มีในผลมาใช้เพื่อความคงอยู่ ผลไม้จะสุกงอมและมีการเน่าเสีย ระยะนี้เรียกว่า โพล-ไคลแมกเทอริก (post climacteric)

ผลไม้ที่แสดงปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้หลังเก็บเกี่ยวจัดเป็นผลไม้ประเภทไคลแมกเทอริก ตัวอย่างของผลไม้ประเภทนี้แสดงอยู่ในตารางที่ 5.11

2. ผลไม้ประเภทนอน-ไคลแมกเทอริก (non-climacteric fruits) ได้แก่ ผลไม้ที่มีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่และสม่ำเสมอ หรืออัตราการหายใจจะลดลงอย่างช้า ๆ พร้อม ๆ กับที่ผลไม้ก่อย ๆ สุกและงอมเน่าเสียไปอย่างช้า ๆ การเพิ่มอัตราการหายใจอย่างรวดเร็วจะเกิดขึ้นเฉพาะในกรณีที่ผลไม้ถูกกระทบจนช้ำ หรือมีการฉีกขาดของเนื้อเยื่อ กรณีนี้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นจากเดิมหลายเท่า แต่การเพิ่มอัตราการหายใจที่เกิดขึ้นเองนั้นเป็นไปไม่ได้ ตัวอย่างผลไม้ประเภทนี้ได้แก่ เกรปฟรุ้ต (ดูรูปที่ 5.8)

ตารางที่ 5.11 การจำแนกผลไม้ตามรูปแบบการหายใจ

| ไคลแมกเทอริก | นอน-ไคลแมกเทอริก |
|-----------------------|-----------------------|
| แอปเปิ้ล | เชอร์รี่ |
| อะพริคอต(Apricot) | แตงกวา |
| อะโวคาโด(avogado) | องุ่น |
| กล้วย | เกรปฟรุ้ต(grapefruit) |
| มะเขือเทศ | มะนาว |
| พีช | ส้ม |
| มะม่วง | สับปะรด |
| มะละกอ | ลิ้นจี่ |
| เสาวรส(passion fruit) | มะกอก |
| มะเดื่อ | สตอเบอรรี่ |
| ฝรั่ง | บลูเบอรรี่ |
| แพร์ | |
| แตงโม | |



รูปที่ 5.8 อัตราการหายใจของผลไม้บางชนิดในช่วงระยะหลังเก็บเกี่ยวที่ 15 องศาเซลเซียส (c คือ พิกัดโคลแมก-เทอร์ริก)

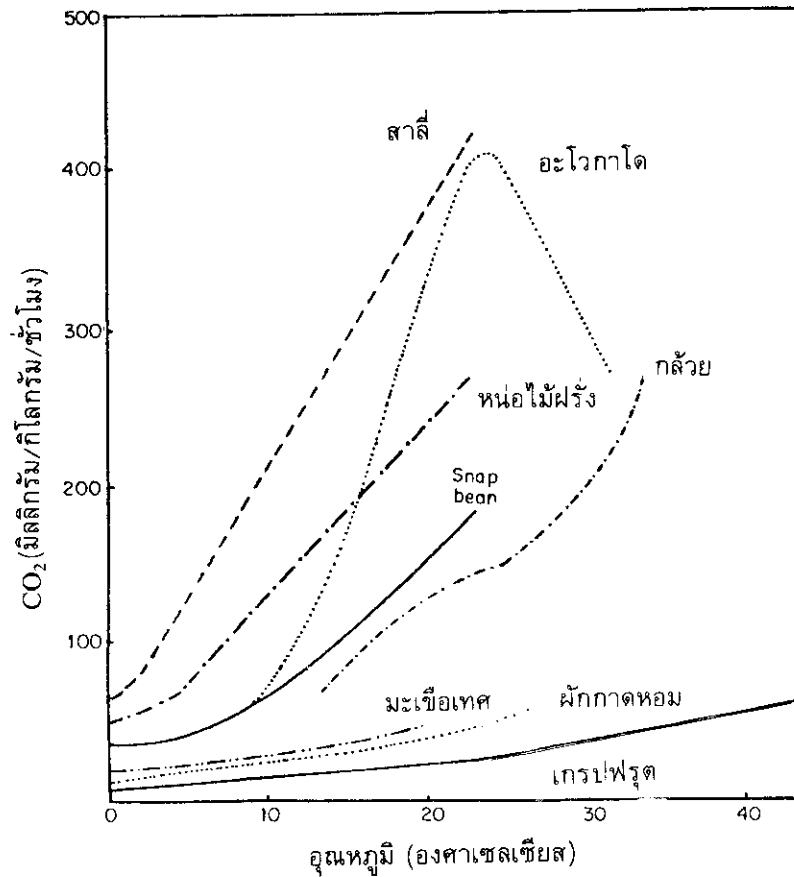
2. ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผลไม้และผัก

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผลไม้และผักคือ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่ใช้เก็บผลไม้และผัก ปัจจัยเหล่านี้ถ้าหากควบคุมให้ดีจะช่วยยืดอายุการเก็บผลไม้และผัก นอกจากนี้ก๊าซเอทิลีนซึ่งเกิดในผลไม้ส่วนใหญ่ขณะที่สุกก็มีผลต่ออัตราการหายใจของผลไม้ด้วย

ก. อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการหายใจของผักและผลไม้ ปกติอัตราการหายใจของผลไม้และผักจะเพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น เนื้อเยื่อของพืชจะทำงานเป็นปกติเฉพาะในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด ซึ่งแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด นอกเหนือจากช่วงอุณหภูมิจำกัดนี้แล้วจะเกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาของพืชและก่อให้เกิดความเสียหาย ขีดจำกัดชั้นสูง (upper limit) ของช่วงอุณหภูมินี้สำหรับพืชหลังเก็บเกี่ยวปกติอยู่ระหว่าง 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส แต่ขีดจำกัดชั้นต่ำ (lower limit) ของช่วงอุณหภูมินี้ในผลไม้ต่าง ๆ จะแตกต่างกัน (ตารางที่ 5.12) สำหรับผักและผลไม้บางชนิด ถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าขีดจำกัดอันหนึ่งแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้เล็กน้อย จะก่อให้เกิดความเสียหาย เช่น ถ้าเก็บกัลลวยที่อุณหภูมิต่ำประมาณ

11 องศาเซลเซียส เปลือกจะมีสีคล้ำ และมีกลิ่นรสไม่ดี สำหรับผักและผลไม้บางชนิด เช่น กะหล่ำปลีและสาเล่ การแช่เย็นมิได้ทำให้เสียหายแต่อย่างใด ชีตจำกัดต่ำสุดของอุณหภูมิ (อุณหภูมิวิกฤต) ที่ใช้เก็บผักและผลไม้โดยไม่เกิดความเสียหาย แสดงอยู่ในตารางที่ 5.12 ภา: ช่วงอุณหภูมิที่จำกัดนี้จะไม่เกิดความเสียหายต่อผักและผลไม้ อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และจะเพิ่มสูงขึ้นมากในช่วง 5 ถึง 20 องศาเซลเซียส (ดูรูปที่ 5.9) แต่เมื่อถึงขีดจำกัดสูงสุดของช่วงอุณหภูมิดังกล่าว อัตราการหายใจจะลดลง

ข. ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ในการหายใจของพืช พืชจะดูดออกซิเจนและคายคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้น ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของการเก็บจะมีผลต่ออัตราการหายใจของผักและผลไม้



รูปที่ 5.9 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจของผักและผลไม้หลังเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 5.12 ความเสียหายที่เกิดจากการแช่เย็นของผักและผลไม้ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต (critical nonfreezing temperature)

| ผลไม้และผัก | อุณหภูมิวิกฤต (°C) | ลักษณะความเสียหาย |
|--------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| แอปเปิ้ล | 3 | เกิดสีน้ำตาลภายใน นุ่มเน่าและไหม้ |
| กล้วย | 13 | เปลือกสีน้ำตาล กลิ่นรสไม่ดี ไม่สุก |
| แครนเบอร์รี่ (cranberry) | 2 | เนื้อสัมผัสเหนียวและมีเนื้อสีแดง |
| โอลิว (olive) | 7 | เกิดสีน้ำตาลภายใน |
| ส้ม | 3 | มีรอยบวม และรอยสีน้ำตาลที่เปลือก |
| มันฝรั่ง | 4 | เกิดการสะสมน้ำตาลรีดิวส์ |
| มะเขือเทศ | 9 | ดูดน้ำ นุ่ม เน่า |

อากาศปกติจะประกอบด้วยออกซิเจน 21% และคาร์บอนไดออกไซด์ 0.3% โดยทั่วไป การลดออกซิเจนหรือการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้การหายใจช้าลง แต่ถ้าวัด O₂ หรือเพิ่ม CO₂ เกินกว่าจุด ๆ หนึ่ง จะเกิดขบวนการแบบแอนแอโรบิก (anaerobic) ทำให้เกิดการสะสมเอธิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) และอะซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณสูงเกินไปจะทำให้เนื้อเยื่อของผักและผลไม้เสียหาย เช่น เกิดรอยไหม้ มีรอยช้ำที่ผิวและเนื้อเยื่อของผักและผลไม้อาจตายได้ ขีดจำกัดของการลดออกซิเจนและการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ของผักและผลไม้แสดงอยู่ในตารางที่ 5.13

การเก็บผลไม้และผักในที่จำกัด การหายใจของผลไม้และผักจะทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนและสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้น การระบายอากาศและการควบคุมบรรยากาศของการเก็บผลไม้และผักให้เหมาะสมจะช่วยควบคุมอัตราการหายใจ สัดส่วนของปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศควรควบคุมให้อยู่ในระหว่างร้อยละ 3-7 และ 8-12 ตามลำดับ การเก็บผลไม้โดยวิธีควบคุมบรรยากาศจะให้ผลดีจะต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องเก็บด้วย

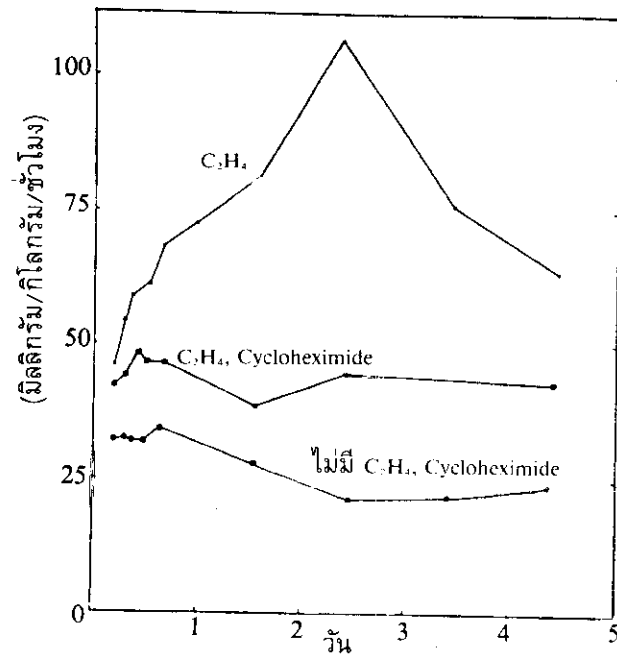
ตารางที่ 5.13 ขีดจำกัดของการลด O₂ และการเพิ่ม CO₂ ของผักและผลไม้

| ผักและผลไม้ | ปริมาณ O ₂ ต่ำสุด(%) ที่ผักและผลไม้อย่างทนได้ | ปริมาณ CO ₂ สูงสุด(%) ที่ผักและผลไม้อย่างทนได้ |
|---------------|---|--|
| แอปเปิ้ล | 3 | 2-5 |
| หน่อไม้ฝรั่ง | 5 | 10 |
| ดอกกะหล่ำ | - | 8 |
| เชอร์รี่ | 3 | 7 |
| กะหล่ำปลี | 1 | 4 |
| สตรอปเบอร์รี่ | 1 | 45 |

ก. เอธิลีน (Ethylene) เอธิลีนเป็นก๊าซที่มีผลต่อทางสรีรวิทยาของผักและผลไม้ ก๊าซนี้ถูกค้นพบเมื่อปี 1920 ในควันที่ออกจากเตาดีโรซีน (kerosene stoves) ซึ่งใช้ในห้องบ่มผลไม้พวกซิตรัส (citrus fruits) เพื่อให้มีสีผิวเป็นสีเหลือง ต่อมาจึงค้นพบว่า ผลไม้หลายชนิดสามารถผลิตก๊าซเอธิลีนได้เล็กน้อยในระหว่างที่ผลไม้อยู่ เช่น แอปเปิ้ล, สาลี่, พลัม (plum) และพีช (peach) เป็นต้น และนี่เป็นเหตุผลที่สารระเหยจากผลไม้สุกมีผลกระทบต่อกิจกรรมทางเมตาบอลิซึม (metabolic activity) เช่น เร่งอัตราการหายใจของผักและผลไม้ที่เก็บไว้ในที่เดียวกัน ผลไม้ทั่วไปเฉพาะพวกส้ม, มะนาว, สับปะรดและมะม่วง ที่ไม่ผลิตก๊าซนี้ระหว่างที่สุกในปริมาณที่สามารถวัดได้

ก๊าซเอธิลีนยังมีอิทธิพลต่อสีของผลไม้ มันสามารถทำลายรงควัตถุคลอโรฟิลล์ ช่วยทำให้ผิวของผลไม้มีสีเหลืองสวย นอกจากนี้เอธิลีนยังมีผลต่อการหายใจของผลไม้โดยเฉพาะผลไม้ประเภทไคลแมกเทอริก โดยจะช่วยเหนี่ยวนำให้การเพิ่มไคลแมกเทอริกเกิดเร็วขึ้น แต่มีผลเล็กน้อยต่อขนาดของพีคไคลแมกเทอริกที่เกิดจากการหายใจของผลไม้ ในผลไม้ประเภทนอนไคลแมกเทอริก อัตราการหายใจและแอกติวิตีทางเมตาบอลิซึมอื่น ๆ จะถูกเร่งให้เร็วขึ้นโดยใช้ก๊าซเอธิลีนได้ ผลดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นได้แม้มีเอธิลีนอยู่เพียงปริมาณน้อยกว่า 1 ในล้านส่วน (ppm) การยับยั้งหรือการลดผลดังกล่าวนี้ทำได้โดยเก็บผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส

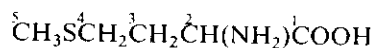
หรือต่ำกว่านี้) นอกจากนี้ไซโคลเฮกซิมิด (cycloheximide) ซึ่งเป็นสารยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน สามารถยับยั้งการทำลายคอลโรฟิลล์และการสุกของผลไม้ในกล้วยที่บ่มด้วยเอธิลีน (รูปที่ 5.10)



รูปที่ 5.10 ผลของไซโคลเฮกซิมิด (2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ที่มีต่ออัตราการหายใจและปริมาณน้ำตาลของกล้วยที่ตัดเป็นแว่น ๆ ซึ่งบ่มด้วย 10 - 15 ppm ของเอธิลีนอย่างต่อเนื่อง

เอธิลีนใช้ในทางการค้าสำหรับเร่งการสุกของผลไม้ เช่น กล้วยและมะเขือเทศ นอกจากนี้ยังช่วยพัฒนาสีผิวของผลไม้และผัก เช่น ทำให้ผิวของผลไม้พวกซีตรัสมีสีเหลืองสวยงาม

Burg และ Clagett (1967) ค้นพบว่าเมตาโบลิซึมของเมธิโอนีน (methionine) เป็นวิถีทางสำคัญนำไปสู่การเกิดเอธิลีนในเนื้อเยื่อของผลไม้ จากการศึกษาจากชิ้นส่วนที่ตัดจากแอปเปิ้ล และกล้วยพบว่า C₁ ของเมธิโอนีนทำให้เกิดก๊าซ CO₂ ขณะที่ C₃-C₄ ทำให้เกิดก๊าซเอธิลีน ส่วนเมธิลคาร์บอน ซัลเฟอร์ และ C₂ ของเมธิโอนีนจะยังคงอยู่ในเนื้อเยื่อและถูกเมตาโบไลส์ไป



L - Methionine

แม้ว่าเอธิลีนจะมีประโยชน์ในการควบคุมการเจริญเติบโตและทำให้ผลไม้และผักสุกเร็วขึ้น แต่ผลเสียของเอธิลีนก็มีอยู่บ้าง เช่น ทำให้ผลไม้สุกขณะที่ยังไม่เจริญเต็มที่ ทำให้

ใบร่วง, กลีบดอกไม้ร่วง และตาไม้แตกออกเป็นดอก, เกิดจุดสีน้ำตาลปนแดงในกะหล่ำปลี, ทำให้แครอทมีรสขม และทำให้ส้มมีเปลือกขำและเน่าเสียได้ง่าย ในการเก็บผลไม้ที่สามารถผลิตก๊าซเอทิลีนได้ดี ไม่ควรเก็บรวมกับพวกดอกไม้, ผักที่มีใบ, แครอทและกะหล่ำปลี และจะต้องลดอุณหภูมิในการเก็บให้ใกล้กับ 0 องศาเซลเซียสโดยเร็วที่สุด ในการเก็บผลไม้ที่ไม่สามารถเก็บที่อุณหภูมิต่ำมากแต่สามารถเก็บที่ 10 องศาเซลเซียสได้ ควรตรวจตราให้มีผลไม้ที่ให้ก๊าซเอทิลีนอยู่ในห้องเดียวกับผลไม้ชนิดนั้น การยับยั้งผลที่เกิดจากเอทิลีนทำได้โดยเก็บผลไม้และผักในบรรยากาศของ CO₂ Lieberman และ Mapson (1962) ค้นพบว่าเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) สามารถยับยั้งผลของเอทิลีนได้ และสารเคมีคือ กรดซัคซินิก-2, 2-ไดเมทิลไฮไดรไซด์ (succinic acid-2, 2-dimethylhydrazide) ซึ่งสามารถทำให้แอปเปิ้ลสุกช้าลงอาจเนื่องมาจากสารนี้สามารถยับยั้งผลของเอทิลีน หรือสามารถยับยั้งการเกิดเอทิลีนในแอปเปิ้ล

สารที่ใช้ควบคุมการเจริญเติบโต (growth regulators) ของผลไม้คือ กรด 2-คลอโรเอทิลฟอสฟอนิก (2-chloroethyl phosphonic acid หรือ ethephon) เป็นสารที่สามารถช่วยให้พืชออกดอกได้ดี ทำให้ผักเจริญเติบโตเร็วขึ้น และทำให้ผลไม้เจริญเต็มที่และสุกเร็วขึ้น เนื่องจากมันสามารถแตกตัวภายในเนื้อเยื่อของพืช และปลดปล่อยเอทิลีนออกมา

3. การคายน้ำ (Transpiration)

ผักและผลไม้ประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ ผักที่มีชีวิตจะมีการคายน้ำออกสู่บรรยากาศตลอดเวลา ผักที่เป็นใบ (leafy vegetable) จะสูญเสียน้ำได้ง่ายที่สุดโดยเฉพาะเมื่ออยู่ในที่สว่าง เพราะแสงกระตุ้นให้ปากใบเปิด แม้ผลไม้ที่มีเปลือกหุ้ม เช่น แอปเปิ้ล ก็สามารถสูญเสียน้ำได้ระหว่างเก็บ การสูญเสียน้ำทันทีที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างความดันไอของบรรยากาศภายนอก และความดันไอของบรรยากาศภายในใกล้ผิวของผักและผลไม้ ในเมื่อบรรยากาศภายในของผักสดและผลไม้สดมักจะอึดอัดด้วยน้ำ ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการสูญเสียน้ำคือ ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบๆ ผักสดและผลไม้จึงสูญเสียน้ำออกสู่บรรยากาศรอบๆ การป้องกันการสูญเสียน้ำจึงทำได้โดยให้อากาศรอบๆ ผักและผลไม้ อึดอัดด้วยไอน้ำ แต่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ โดยเฉพาะการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในแหล่งที่มีความชื้นสูง

อุณหภูมิก็มีผลต่ออัตราการสูญเสียน้ำ การเพิ่มอุณหภูมิจะเพิ่มความดันไอของน้ำแต่ลดความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบๆ ทำให้อัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ผักใบเขียวระเหยน้ำได้เร็วขึ้นเป็น 3 เท่าของผักที่อุณหภูมิ 20

ในการเก็บผลไม้และผักควรเก็บในห้องที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แต่ไม่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของผลไม้และผัก อุณหภูมิในการเก็บจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของผลไม้และผัก และควรมีความชื้นสัมพัทธ์ในห้องเก็บไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 เพื่อลดอัตราการสูญเสียน้ำ แต่การเพิ่มความชื้นจะทำให้เชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะยีสต์และราเจริญเติบโตได้ดี จึงควรติดตั้งหลอดอัลตราไวโอเล็ตตามจุดต่าง ๆ เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เครื่องทำความเย็นจะต้องมีประสิทธิภาพสูง และมีกำลังเพียงพอที่จะควบคุมอุณหภูมิที่กำหนดให้ได้ถึง ± 1 องศาเซลเซียสสม่ำเสมอตลอด

4. การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ของผักและผลไม้หลังเก็บเกี่ยว

ก. การเปลี่ยนแปลงของผักหลังเก็บเกี่ยว ผักที่เก็บเกี่ยวใหม่ ๆ จะหวานกรอบรสชาติดี และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เมื่อเก็บไว้นานจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหลายอย่าง การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุดคือ การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตในผัก ผักส่วนใหญ่หลังเก็บเกี่ยวน้ำตาลจะลดน้อยลงเนื่องจากถูกใช้ไปในการหายใจและถูกเปลี่ยนเป็นแป้ง ผักที่เป็นเมล็ด เช่น ถั่วหวาน (pea), ข้าวโพดหวาน (sweet corn) เป็นต้น และผักที่มีลำต้นใต้ดิน เช่น มันฝรั่งและมันเทศ เป็นต้น ผักเหล่านี้เก็บเกี่ยวขณะที่ยังไม่แก่จัด จึงสามารถสังเคราะห์แป้งต่อไปได้อีก เช่น ข้าวโพดหวานหลังเก็บเกี่ยวจะมีปริมาณน้ำตาลลดลง การสูญเสียน้ำตาลในข้าวโพดหวานที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจะมากกว่าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสถึง 6 เท่าตัว น้ำตาลที่สูญเสียไปส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นแป้ง ส่วนถั่วหวานที่ยังไม่แก่จัดหลังเก็บเกี่ยว 6 ชั่วโมง น้ำตาลจะสูญเสียไปเนื่องจากถูกใช้ไปในการหายใจมากกว่าร้อยละ 40 ความสมดุลของน้ำตาลและแป้งของผักในระหว่างเก็บจะขึ้นกับอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิต่ำผักจะมีน้ำตาลสะสมไว้มากกว่า แต่ที่อุณหภูมิสูงน้ำตาลจะถูกเปลี่ยนเป็นแป้ง ช่วงอุณหภูมิวิกฤต (critical range of temperature) ซึ่งจะเปลี่ยนจากการไฮโดรไลส์แป้งไปเป็นการสังเคราะห์แป้งในผักแต่ละชนิดจะต่างกัน ในมันฝรั่ง ช่วงอุณหภูมินี้คือจาก 1.7 ถึง 4.4 °C ส่วนมันเทศช่วงอุณหภูมินี้คือ 12.8 ถึง 15.6 °C น้ำตาลที่เก็บสะสมที่อุณหภูมิต่ำจะถูกเปลี่ยนเป็นแป้งถ้าเก็บผักเหล่านี้ที่อุณหภูมิสูงกว่าช่วงอุณหภูมิวิกฤตนี้

ผักหลังเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการโดยกรดแอสคอร์บิกจะลดลงในระหว่างเก็บ ส่วนปริมาณของแคโรทีนและแคโรทีนอยด์อื่น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยหรืออาจเพิ่มขึ้น เพราะเซลล์ยังสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้อีก

ผักที่มีรอยช้ำอัตราการสูญเสียน้ำตาลและอัตราการหายใจจะสูงขึ้น และยังเปิดโอกาสให้เชื้อจุลินทรีย์ในดินเข้าไปในผักได้ตามรอยช้ำ ทำให้ผักเสียรสชาติและความสด และเน่าเสีย

เร็วขึ้น

ข. การเปลี่ยนแปลงของผลไม้ระหว่างที่ผลไม้สุก

1. คาร์โบไฮเดรต

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีสำคัญที่เกิดในผลไม้สุกคือ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบคาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำตาลในผลไม้สุกจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากไฮโดรลิซิสของโพลีแซ็กคาไรด์ (hydrolysis of polysaccharides) ในผลไม้ น้ำตาลบางส่วนถูกใช้ไปในการหายใจ ในผลไม้บางชนิดที่ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่เมื่อเก็บเกี่ยวใหม่ ๆ เช่น ถั่วและมะม่วง ปริมาณแป้งจะลดลงโดยจะลดลงจาก 14 - 18% ไปจนเหลือน้อยกว่า 1% ในผลไม้สุก การแตกสลายของโพลีแซ็กคาไรด์ของผนังเซลล์มีส่วนสำคัญในการเพิ่มปริมาณน้ำตาล เช่น ในถั่ว ปริมาณของเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 8 - 10% ขณะที่ยังเขียวอยู่จนกระทั่งเหลือเพียง 1 - 2% เมื่อสุก องค์ประกอบของผนังเซลล์เป็นแหล่งของน้ำตาลเพียงแหล่งเดียวในผลไม้พวก ส้ม, มะนาว และส้มโอ เพราะผลไม้เหล่านี้มีปริมาณแป้งอยู่น้อยมากเมื่อเก็บเกี่ยวใหม่ ๆ

สัดส่วนของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ อาจเปลี่ยนแปลงได้เมื่อผลไม้สุก เช่น ผลไม้พวกองุ่น, สตรอเบอร์รี่และส้มโอ มีปริมาณน้ำตาลซูโครสค่อนข้างต่ำเมื่อสุก แต่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugars) เพิ่มขึ้น ในแอปเปิ้ลปริมาณของซูโครสจะเพิ่มขึ้นชั่วคราวหลังเก็บเกี่ยวและเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงโคลแมกเทอร์ริก ทั้งแอปเปิ้ลและสาลี่จะสะสมฟรุคโตสมากกว่ากลูโคสในช่วงที่สุก ผลไม้พวกพีช, อะพริคอต (apricot), เชอร์รี่ และสับปะรดมีซูโครสสะสมอยู่มากเมื่อสุก ส่วนปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ค่อนข้างต่ำ มะม่วงสุกมีปริมาณซูโครสอยู่มากแต่จะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ในช่วงโพส-โคลแมกเทอร์ริก อะโวคาโดเป็นผลไม้เพียงชนิดเดียวที่มีปริมาณของน้ำตาลลดลงเมื่อสุก

ผลไม้พวกส้ม มะนาว มักจะเก็บเกี่ยวตอนสุก และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตมักจะน้อยและเป็นไปอย่างช้า ๆ การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลขึ้นกับความสมดุลระหว่างการหายใจซึ่งใช้น้ำตาลและการแตกสลายของโพลีแซ็กคาไรด์ซึ่งให้น้ำตาล ส่วนที่รับประทานได้ของผลไม้ชนิดนี้มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่างเก็บ

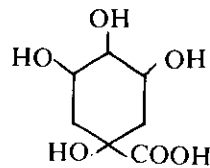
2. กรดอินทรีย์ (Organic acids)

กรดอินทรีย์ทั้งหมดในผลไม้ส่วนใหญ่มักจะเพิ่มขึ้นก่อนในระยะเวลาที่ผลไม้เริ่มสุก แต่จะลดลงเรื่อย ๆ อย่างช้า ๆ จนกระทั่งผลไม้สุก ดังนั้น เมื่อผลไม้สุกปริมาณของกรดอินทรีย์จะลดลง

แต่ในบางกรณี เช่น กล้วยและสับปะรดจะมีปริมาณกรดมากที่สุดเมื่อสุกแล้ว

กรดอินทรีย์ เป็นสารที่ใช้ในการหายใจของพืชเช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรต แต่ในผลไม้บางชนิด การเก็บในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน มิได้ทำให้ปริมาณกรดลดลงแต่อย่างใด ดังนั้น กลไกเกี่ยวกับการเพิ่มและการลดความเป็นกรดในผลไม้สุกจึงยังไม่เป็นที่ทราบกันในปัจจุบัน

กรดควินิก (Quinic acid) เป็นกรดสำคัญในผลไม้ที่ยังไม่เจริญเต็มที่ เช่น แอปเปิ้ล, สาลี่และพีช เป็นต้น ขณะที่ผลไม้เจริญเต็มที่ กรดนี้มักจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งเมื่อผลไม้สุก มันจะเหลือน้อยมากเมื่อเทียบกับกรดมาลิก (malic acid) และกรดซิตริกซึ่งมีมากในผลไม้สุก ปริมาณและชนิดของกรดอินทรีย์ในผลไม้สุกแสดงอยู่ในตารางที่ 5.7



Quinic acid

3. สารเพกติก (Pectic Substances)

การเปลี่ยนแปลงของสารเพกติกมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลไม้ ผลไม้ดิบมีโปรโตเพกตินมาก แต่เมื่อผลไม้สุก โปรโตเพกตินจะถูกเปลี่ยนเป็นเพกติน เอ็นไซม์ 2 ชนิดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้คือ เพกตินเอสเทอเรส (pectinesterases) ซึ่งจะดีเอสเทอร์ไฟฟ (de-esterify) เมธีลเอสเทอร์ และปลดปล่อยหมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลกทูโรนิก (galacturonic acid) ออกมา และเอ็นไซม์โพลิกาแลกทูโรเนส (polygalacturonases) ซึ่งทำให้โซ่โพลิกาแลกทูโรนิก (polygalacturonide chains) แตกเป็นโซ่สั้นลง และอาจสั้นลงจนเป็นกรดกาแลกทูโรนิกในที่สุด การเปลี่ยนจากโปรโตเพกตินไปเป็นเพกตินจะทำให้ผลไม้สุกมีเนื้อนุ่มขึ้น

4. โปรตีน

โปรตีนมีอยู่เพียงเล็กน้อยในผลไม้ที่สุกเต็มที่ ปริมาณของโปรตีนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในแอปเปิ้ล มะเขือเทศ และอะโวคาโดในระหว่างที่ผลไม้กำลังสุก

จากการศึกษาสารสีพันธุ์บาร์ทเลทท์ (Bartlett pear) โดย Frenkel และผู้ร่วมงานพบว่าการสังเคราะห์โปรตีนจำเป็นต่อการสุกของผลไม้ และโปรตีนเหล่านี้ที่สังเคราะห์ขึ้นส่วนใหญ่เป็นพวกเอ็นไซม์ เช่น aldolase, carboxylase, chlorophyllase, phosphorylase, phosphatase,

invertase, pectic enzymes เป็นต้น จากการทดลองใส่ไซโคลเฮกซิมิด (cycloheximide) ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนในผลไม้ที่บ่มด้วยเอธิลีน เช่น กัลวี่ (รูปที่ 5.9) พบว่าผลไม้จะลดการผลิตเอธิลีน และจะไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองและไม่สุกด้วย การทดลองนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการสุกและการสังเคราะห์โปรตีน

5. รงควัตถุ

ผลไม้สุกจะมีการเปลี่ยนแปลงสีซึ่งมักจะเกิดจากการสังเคราะห์รงควัตถุ แต่การแตกสลายของคลอโรฟิลล์ก็มีส่วนสำคัญมากต่อการเปลี่ยนสี รงควัตถุแคโรทีนอยด์มักจะถูกบดบังโดยคลอโรฟิลล์ เมื่อผลไม้สุกจะเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ สีเหลืองส้มของผลไม้จึงแสดงออกมาให้เห็น ในมะเขือเทศจะมีการสังเคราะห์รงควัตถุโดยเฉพาะไลโคเพน (lycopene) ในระยะที่สุกเต็มที่ สีของแอนโทไซยานินไม่ถูกบดบังโดยสีของคลอโรฟิลล์ และยังมีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินขณะที่ผลไม้สุกด้วย

6. กลิ่นรส

ผลไม้สุกมักมีการเกิดสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น เอสเทอร์, แอลดีไฮด์, แอลกอฮอล์, คีโตน, เทอร์พีน เป็นต้น ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ให้กลิ่นรสของผลไม้สุก สารระเหยเหล่านี้เกิดในปริมาณน้อยมาก เอธิลีนเป็นสารระเหยที่เกิดมากที่สุด สารระเหยเหล่านี้มักจะเกิดระหว่างช่วงไคลแมทเทอร์ริก (climacteric stage) และเกิดต่อเนื่องจนถึงช่วงที่สุกงอม สารระเหยเหล่านี้นอกจากจะเป็นสารที่ให้กลิ่นรสแล้วยังอาจเป็นตัวการที่ทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาในผลไม้ในระหว่างเก็บด้วย

7. สารประกอบฟลาโวนอยด์

สารประกอบฟลาโวนอยด์บางชนิดเป็นสารประกอบฟีนอลที่ให้รสฝาดในผลไม้ดิบ แต่ระหว่างที่ผลไม้สุก ปริมาณของสารฟลาโวนอยด์ตลอดจนกรดอินทรีย์ต่าง ๆ จะค่อย ๆ ลดลง ซึ่งจะทำให้ผลไม้สุกมีกลิ่นรสกลมกล่อมไม่ฝาด

5.4.9 การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้ระหว่างขบวนการแปรรูป

1. ขบวนการความร้อนและการหุงต้ม

การลวก (Blanching), การหุงต้ม, และการสเตอริไลส์โดยใช้ความร้อนเป็นขบวนการ

ความร้อนที่ใช้มากที่สุดสำหรับแปรรูปผักและผลไม้ การลวกเป็นการใช้ความร้อนโดยวิธีต้มหรือนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลาสองสามนาทีที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 1 บรรยากาศก่อนหน้าที่จะนำผักไปทำให้แห้ง แขนงหรือฉายด้วยรังสี จำเป็นจะต้องลวกผักเพื่อทำลายเอ็นไซม์ในผักและผลไม้ ส่วนการลวกก่อนนำผักและผลไม้ไปสเตอริไลส์นั้นมีเหตุผลหลายอย่าง เหตุผลที่สำคัญที่สุดคือ ต้องการกำจัดอากาศออกจากเนื้อเยื่อของผัก การสเตอริไลส์หรือหุงต้มนานสามารถทำให้เนื้อเยื่อของผักเสียหาย และทำให้สูญเสียคุณค่าของผักได้ง่าย การหุงต้มผักโดยใช้เวลานานและอุณหภูมิปานกลาง เอ็นไซม์อาจถูกทำลายได้ไม่หมด ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการของผักได้

ก. การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส ในระหว่างที่ให้ความร้อนแก่ผักและผลไม้จะทำให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อของพืชบ้าง ทำให้สารสามารถผ่านเข้าและออกจากเซลล์ได้ง่ายขึ้น ทำให้เซลล์สูญเสียความเต่ง ผักและผลไม้จะไม่กรอบ ทำให้เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้เปลี่ยนแปลงไป เซลลูโลสจะถูกทำลายเพียงเล็กน้อย การนึ่งทำให้ผนังเซลล์บางลง สันนิษฐานว่าอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลลูโลส การเติมแอมโมเนีย และโซดา (โซเดียมคาร์บอเนต) ในน้ำต้มผัก จะทำให้เซลลูโลสสลายตัว ผักจะนุ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและอาจถึงกับและได้ การเติมกรด เช่น กรดน้ำส้ม จะให้ผลในทางตรงข้ามคือ ทำให้ผักแข็งขึ้น และต้องใช้เวลาหุงต้มนานกว่าปกติจึงจะนุ่ม

การเปลี่ยนแปลงของสารจำพวกเพกติกโดยใช้ความร้อนมีผลทำให้ผักและผลไม้นุ่มขึ้น การนึ่งผักจะทำให้สารจำพวกเพกติกทั้งหมดลดลง โปรโตเพกตินจะสลายตัวให้เพกตินและเกลือเพกเตตเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้ผักนุ่มขึ้น การเติมโซดาลงไปในน้ำต้มผักจะทำให้เกิดการแตกหักของโซ่โพลีกาแลกตุโลเนต (polygalacturonate chain) มาก ซึ่งจะทำให้ผักนุ่มขึ้น

ไฮโดรลิซิส (hydrolysis) ของสารจำพวกเพกติกขึ้นกับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ ทั้งยังขึ้นกับ pH ของผลิตภัณฑ์และสภาวะในการเก็บผลิตภัณฑ์หลังจากให้ความร้อนแล้ว เช่น การให้ความร้อนกับพีชคลิงสโตน (clingstone peach) และพีชฟรีสโตน (freestone peach) จะเกิดการไฮโดรไลส์สารเพกติกบางส่วน พีชคลิงสโตนสุกมีปริมาณโปรโตเพกตินสูงในผนังเซลล์ การไฮโดรไลส์สารจำพวกเพกติกบางส่วนในระหว่างที่ให้ความร้อนทำให้เนื้อสัมผัสของพีชคลิงสโตนกระป๋องเปลี่ยนแปลงน้อย ในทางตรงข้าม พีชฟรีสโตนที่สุกจะมีองค์ประกอบของผนังเซลล์ลดลงอยู่แล้ว ทั้งยังเกิดการสูญเสียสารจำพวกเพกติกระหว่างที่ให้ความร้อน ทำให้พีชฟรีสโตน

กระป๋องมีเนื้อและไม่นำมารับประทาน

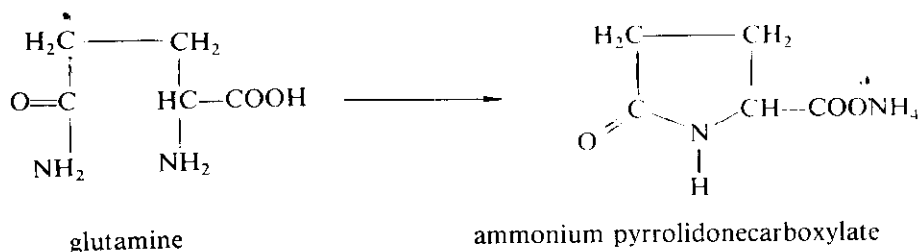
การต้มผักในน้ำกระด้างจะทำให้ผักมีเนื้อแน่น เพราะแคลเซียมในน้ำกระด้างจะรวมกับกรดเพกติกให้แคลเซียมเพกเตตซึ่งไม่ละลายน้ำ แคลเซียมที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เซลล์โลส ดังนั้นการแช่ผักในน้ำปูนใส ผักจะกรอบนำมารับประทาน ในทางอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องใช้แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.07 แทนน้ำปูนใส

ผลไม้ที่ต้มในน้ำเชื่อมซูโครสจะมีเนื้อแน่นกว่าที่ต้มในน้ำธรรมดา ถ้าความเข้มข้นของน้ำตาลสูงพอ จะมีการดึงน้ำออกจากผลไม้ ทำให้โพลีแซกคาไรด์ที่ผนังเซลล์อยู่ชิดกันมากขึ้น ทำให้เกิดแรงกระทำต่อกันโดยพันธะไฮโดรเจนและแรงดึงดูด van der waals ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความแข็งของเซลล์

การเกิดเจล (gelatinization) ของแป้งอาจมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผักบางชนิด เช่น มันฝรั่ง เป็นต้น การให้ความร้อนกับเนื้อเยื่อของผักเหล่านี้ไม่ว่าจะเป็นการต้ม, การนึ่ง, การย่าง หรือการทอด จะมีผลต่อปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อ และต่อปริมาณการเกิดเจลตลอดจนเนื้อสัมผัสของผัก

ข. การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส การให้ความร้อนแก่ผักและผลไม้จะมีผลทำให้สารประกอบที่ระเหยได้ในผักและผลไม้ระเหยหรือถูกทำลายไป ผักพวกกะหล่ำปลีและหัวหอมจะสูญเสียสารที่ให้กลิ่นรสไปบางส่วนโดยการระเหยและการสลายตัว เมื่อต้มกะหล่ำปลีและข้าวโพดจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารระเหยอื่น ๆ ทำให้เกิดกลิ่นคูก (cooked flavor) กระป๋องที่เคลือบดีบุก ซัลไฟด์จะทำปฏิกิริยากับดีบุกที่เคลือบกระป๋อง ทำให้เกิดสแตนนัสซัลไฟด์ (stannous sulfide) ซึ่งมีสีดำ

สารระเหยที่อยู่ในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ เช่น แอลดีไฮด์, คีโตน, เอสเทอร์ และกรดอาจเกิดออกซิเดชันและถูกไฮโดรไลส์ระหว่างที่หุงต้มหรือได้รับความร้อน ในกระป๋องที่เคลือบดีบุก อาจเกิดรีดักชัน (reduction) ของแอลดีไฮด์และคีโตนไปเป็น 1° และ 2° แอลกอฮอล์ (primary and secondary alcohols) กลิ่นไม่ดีในผักและผลไม้กระป๋องอาจเกิดจากการเกิดแอมโมเนียไมไพร์โรลิโดนคาร์บอกซิเลท (ammonium pyrrolidonecarboxylate) ซึ่งเกิดโดยการปิดวง (cyclization) ของกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine) ดังสมการต่อไปนี้

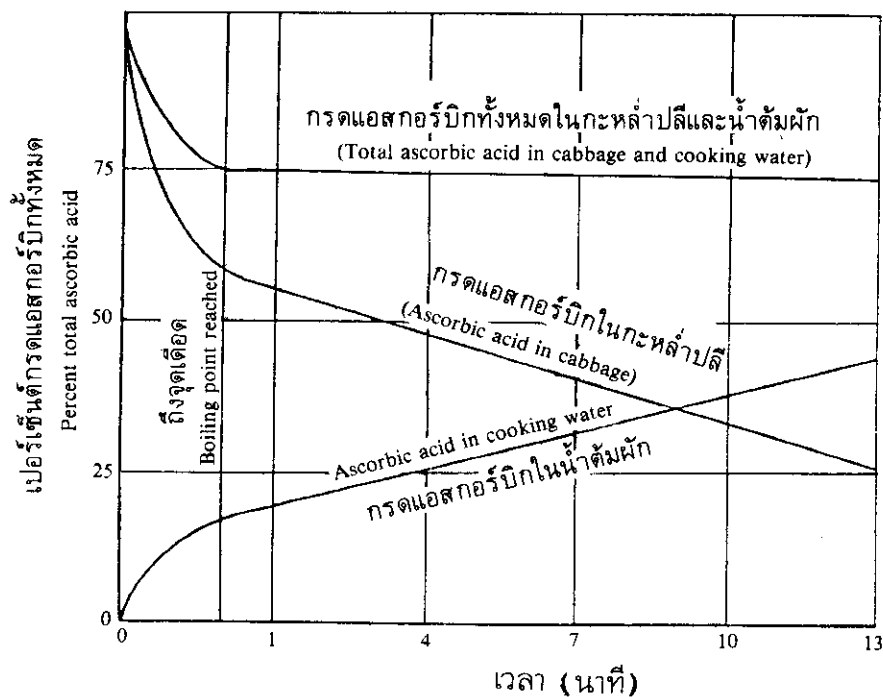


การทำลายเอ็นไซม์ได้ไม่หมดอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของผักและผลไม้ในระหว่างการแปรรูปและระหว่างเก็บ เอ็นไซม์ที่ทนความร้อนได้ดี เช่น เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) อาจทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาในผักที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์โดยวิธี HTST

ค. การเปลี่ยนแปลงสี การเปลี่ยนแปลงสีของผักและผลไม้ระหว่างหุงต้มได้กล่าวถึงมากพอควรแล้วในหัวข้อ 5.4 การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นคือ ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาล ถ้าเอ็นไซม์ phenolase ไม่ถูกทำลายในระยะแรกที่ทำให้ความร้อน อาจทำให้เกิดปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ ยังอาจเกิดสีน้ำตาลโดยปฏิกริยาเมลลาร์ด (Maillard reactions) ซึ่งจะทำให้เกิดตรงควัตถุสีเข้มในผลิตภัณฑ์ เพราะสภาวะต่าง ๆ เช่น ความร้อน, pH สูงเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกริยาเหล่านี้

ง. การสูญเสียวิตามิน ผักและผลไม้เป็นแหล่งของวิตามินโดยเฉพาะกรดแอสคอร์บิก ความร้อนสามารถทำให้กรดแอสคอร์บิกและไรโบฟลาวินสลายตัว กรดแอสคอร์บิกและไรโบฟลาวิน จะไม่อยู่ตัวที่ pH ใกล้เคียงเป็นกลางหรือสูงกว่า จากการทดลองเกี่ยวกับการสูญเสียกรดแอสคอร์บิก ในกะหล่ำปลีหั่นฝอยในรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าประมาณเกือบหนึ่งในสี่ของกรดแอสคอร์บิกถูกทำลายเมื่อเริ่มใส่ผักในน้ำร้อน การสูญเสียกรดแอสคอร์บิกในตอนแรกนี้เกิดจากกรดแอสคอร์บิก ถูกออกซิไดส์โดยมีเอ็นไซม์อยู่ พอน้ำเดือดเอ็นไซม์ในผักจะถูกทำลายหมด การสูญเสียในช่วงหลังนี้เกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก การใส่ผักลงในน้ำที่เดือดจะช่วยให้การสูญเสียกรดแอสคอร์บิกน้อยลง เพราะจะช่วยลดการสูญเสียกรดแอสคอร์บิกเนื่องจากเอ็นไซม์ในช่วงที่รอให้น้ำเดือด

ตารางที่ 5.14 เปรียบเทียบผลของการหุงต้มผักด้วยวิธีต่าง ๆ ต่อการสูญเสียกรดแอสคอร์บิก จะเห็นได้ว่าการนึ่งธรรมดาและการนึ่งโดยใช้หม้ออัดความดันจะสงวนกรดแอสคอร์บิก ได้ดีกว่าการต้มธรรมดา



รูปที่ 5.11 การสูญเสียกรดแอสคอร์บิกในกะหล่ำปลีที่ต้มด้วยไฟ

ตารางที่ 5.14 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่คงเหลือในผักเมื่อหุงต้มด้วยวิธีต่าง ๆ

| ผัก | กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) | | | | |
|--------------|---------------------------------------|-----------|----------|------|----------------|
| | ปริมาณคงเหลือในผักสุก (ร้อยละ) | | | | |
| | ผักดิบ | ต้มเปิดฝา | ต้มปิดฝา | นึ่ง | นึ่งอัดความดัน |
| หน่อไม้ฝรั่ง | 20.1 | 43 | 71 | 78 | 80 |
| คะน้าฝรั่ง | 123.0 | 33 | 67 | 79 | 82 |
| กะหล่ำดอก | 52.2 | 37 | 55 | 71 | 70 |
| หอมใหญ่ | 16.3 | 36 | 86 | 67 | 53 |
| ถั้วหวาน | 27.1 | 44 | 66 | 67 | 64 |
| ผักโขม | 90.2 | 45 | 63 | 64 | 78 |

2. การแช่แข็ง (Freezing)

การแช่แข็งเป็นขบวนการที่ใช้เพื่อหยุดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ช้าลง ขบวนการแช่แข็งที่ทำอย่างถูกต้องและเหมาะสมจะลดการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้ แต่เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้มักจะเสียหาย จึงมักจะมีการลวกหรือนึ่งผักและผลไม้เพื่อฆ่าเอ็นไซม์ก่อนจะนำไปแช่แข็ง มิฉะนั้นแล้วเอ็นไซม์อาจทำให้คุณภาพทั้งหมดของผักและผลไม้เสื่อมไปได้

ก. การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส การแช่แข็งมักจะทำให้เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้เปลี่ยนแปลง ผลไม้และผักจะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการฉีกขาดหรือการทำลายเซลล์โดยผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น การแช่แข็งแบบเร็ว (ultrarapid freezing) จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ๆ ผลิตภัณฑ์ที่ละลายน้ำแข็งแล้วจะมีเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติการอุ้มน้ำดีกว่าการแช่แข็งแบบช้า ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ สำหรับองค์ประกอบของผนังเซลล์จะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงโดยการแช่แข็ง

ข. การเปลี่ยนแปลงสี การแตกสลายของรงควัตถุจะไม่เกิดขึ้นถ้าหากมีการลวกหรือนึ่งเพื่อทำลายเอ็นไซม์ในผักและผลไม้ตั้งแต่แรก เอ็นไซม์บางชนิด เช่น lipooxygenase, anthocyanase และ polyphenol oxidase จะต้องทำลายให้หมดฤทธิ์เพื่อป้องกันการทำลายรงควัตถุโดยเอ็นไซม์เหล่านี้ สิ่งที่เกิดปกติ เช่น การเกิดสีน้ำเงินในสตอเบอรี่ที่ละลายน้ำแข็งแล้วอาจเกิดจากการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างโลหะและรงควัตถุ (metal-pigment complexes) ในเซลล์ที่ฉีกขาดเนื่องจากการแช่แข็ง

ค. การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของผักและผลไม้แช่แข็งมักพบเฉพาะหลังจากที่เก็บไว้นาน ปฏิกิริยาเหล่านี้ อาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดขึ้นช้า ๆ ในอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บ ผักแช่แข็งที่เก็บไว้นานอาจมีกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนา เนื่องจากเอ็นไซม์ peroxidase และ lipooxygenase

ง. การสูญเสียวิตามิน การแช่แข็งเพียงอย่างเดียวมีผลน้อยมากต่อการสูญเสียวิตามิน แต่การละลายน้ำแข็งจะทำให้วิตามินบางส่วนที่ละลายน้ำสูญเสียไป วิตามินโดยเฉพาะกรดแอสคอร์บิกจะมีปริมาณลดลงมากถ้าเก็บผักและผลไม้ที่แช่แข็งไว้นาน ตารางที่ 5.16 แสดงการสูญเสียกรดแอสคอร์บิกระหว่างที่เก็บสตอเบอรี่ไว้ การสูญเสียอาจเกิดจากปฏิกิริยาที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องหรือเกิดจากปฏิกิริยาที่มีโลหะเป็นตัวเร่ง โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่มีการกำจัดออกซิเจนออก

ตารางที่ 5.18 การสูญเสียกรดแอสกอร์บิกในสตอเบอร์รี่ที่แช่แข็งระหว่างการเก็บที่ 0 องศาฟาเรนไฮด์

| เวลา(วัน) | กรดแอสกอร์บิก (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมผลไม้) |
|-----------|---|
| 0 | 31 |
| 60 | 30.5 |
| 120 | 29 |
| 240 | 26 |
| 480 | 20 |
| 720 | 14 |

3. การทำให้แห้ง (Dehydration)

การทำผลไม้และผักแห้งก็เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดแอกติวิตีของน้ำซึ่งจะป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และทำให้ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เกิดช้าลงด้วย วิธีการในการทำให้แห้งมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทางกายภาพและทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์ การทำผักและผลไม้แห้งมีหลายวิธี เช่น การตากแห้ง การทำให้แห้งโดยใช้สุญญากาศ (vacuum drying) การทำให้แห้งโดยวิธีออสโมซิส (osmotic dehydration) การทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) วิธีเหล่านี้ล้วนมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน

ก. การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้แห้งจะมีลักษณะอย่างไรขึ้นกับวิธีการทำให้แห้ง ผักที่ทำให้แห้งแบบเยือกแข็งจะมีเนื้อสัมผัสดีเมื่อนำไปแช่น้ำเย็น หรือน้ำร้อนจะดูดน้ำกลับเข้าได้ดี แต่ผักที่อบแห้งโดยใช้ลมร้อนจะมีเนื้อสัมผัสที่ผิดไปจากผักสด การทำให้แห้งแบบเยือกแข็งเป็นวิธีที่ดีที่สุด เพราะช่วยให้อาหารมีสภาพคล้ายอาหารสด แต่เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงเป็นวิธีที่ยังไม่ใช้กันแพร่หลายนัก

ข. การเปลี่ยนแปลงสี การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดกับผักและผลไม้คือ การเกิดสีน้ำตาล การเกิดสีน้ำตาลนี้อาจมีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (ถ้าไม่ได้ผ่านการลวกอย่างถูกวิธี) และไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง วิธียับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลอาจใช้วิธีรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องเป็นส่วนใหญ่ แต่ก็มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิด

สีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องด้วย การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนอาจมีผลทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นฟิโอฟทิน แคโรทีนอยด์จะอยู่ตัวในผักและผลไม้แห้งหลายชนิดที่ผ่านการฆ่าเอ็นไซม์โดยเฉพาะเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในการอบแห้งธรรมชาติ ถ้าผักและผลไม้ไม่ผ่านการรมควันด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แอนโทไซยานินจะไม่อยู่ตัวและจะเปลี่ยนเป็นสีเทา การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ยังไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริง

พวกผักและผลไม้ที่มีสีเขียว ส่วนใหญ่สีจะเปลี่ยนขณะทำให้แห้ง ถ้าหากมิได้ทำให้สีอยู่ตัว (fixed color) ก่อนทำให้แห้ง สีจะซีดหรือเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล วิธีทำให้สีอยู่ตัวคือการลวกน้ำร้อน หรือแช่ในสารเคมีบางอย่าง เช่น สารละลายด่าง (ออลัน) จะทำให้สีอยู่ตัวมากขึ้น แต่จะทำให้ผักและผลไม้แข็งกระด้างขึ้น

นอกจากนี้อาจเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนในผลไม้ในขณะที่อบแห้ง ปฏิกิริยานี้คือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) นั้นเอง

ค. การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส การทำให้แห้งมักจะทำให้กลิ่นรสเดิมของผักและผลไม้เปลี่ยนแปลงไป สารที่ให้กลิ่นรสส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดและปฏิกิริยาเคมีอื่น ๆ เช่น ลูกพรุน (prunes) ที่อบแห้งจะเกิดโครโตนัลดีไฮด์ (crotonaldehyde) จากอะซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) และเป็นตัวทำให้เกิดกลิ่นของลูกพรุนแห้ง

ง. การเปลี่ยนแปลงวิตามิน ผักและผลไม้อบแห้งจะมีการสูญเสียวิตามินที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ วิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปในระหว่างการลวกเพื่อฆ่าเอ็นไซม์ ขณะตากแดด วิตามินซีและวิตามินเอจะถูกทำลายเมื่อถูกกับอากาศ และวิตามินบีสองถูกทำลายได้โดยแสง การตากแห้งจะสูญเสียวิตามินมากกว่าการทำให้แห้งโดยเครื่องจักร การรมควันด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะลดการสูญเสียวิตามิน แต่วิตามินบีหนึ่งจะถูกทำลายเร็วขึ้น