

eBook



เคมีอาหาร

FOOD CHEMISTRY



ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. นิชยา รัตนพานนท์

เคมีอาหาร

Food Chemistry

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนাপนนท์



สำนักพิมพ์โอดีเยนสโตร์

วังบูรพา : 860-862 วังบูรพา กรุงเทพมหานคร 10200 โทร. 0-2221-0742, 0-2221-6567 แฟกซ์ 0-2225-3300

ปิ่นเกล้า : 1/35-39 ถนนบรมราชชนนี บางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700 โทร. 0-2434-8814-5 แฟกซ์ 0-2424-0152



เคมีอาหาร (Food Chemistry)

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. นิธิยา รัตนาปนนท์

ราคา 200 บาท

จัดทำเป็นฉบับ E-Book ครั้งที่ 1 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2568

○ หนังสือเล่มนี้สงวนสิทธิ์ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พุทธศักราช 2558
ห้ามผู้ใดพิมพ์ซ้ำ ลอกเลียน ส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรเท่านั้น ○

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

นิธิยา รัตนาปนนท์.

เคมีอาหาร.-- กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2568.

504 หน้า.

1. อาหาร -- การวิเคราะห์. I. ชื่อเรื่อง.

664.07

ISBN (e-book) 978-616-538-340-0

ผู้จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

บรรณาธิการบริหาร: ประสาร สันติวัฒนา **บรรณาธิการ:** กุสลิทธิ พลายชมภู **กองบรรณาธิการ:** สนธยา ราชย์ทอง
ธิติมา เพ็ชรศรี **พิสูจน์อักษร:** จิระภรณ์ ศักดิ์แก้ว **ฝ่ายศิลปกรรม:** ประยง อ่อนแสง ชีรพล ศรีสวัสดิ์ ปัญญา ผูกสินธ์
เอกพันธ์ ขวาเปาะ **รูปเล่มและอาร์ตเวิร์ค:** ชัยวัฒน์ แก้วกู๋ **เรียงพิมพ์:** ณศวรรณ พลสมัคร ออกแบบปก:
กองสุพันธ์ ขวาเปาะ **ประสานงานการผลิต:** ปิยะวัลย์ พันธุ์แจ่ม กัญญา วงศ์ภาคำ อรมา คงสุวรรณ

❁ สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ขอเรียนเชิญครู-อาจารย์และบุคคลทั่วไปทุกท่านที่สนใจในงานเรียบเรียง การเขียนเอกสาร
ประกอบการสอน เอกสารคำสอน ตำรา หนังสือ รายงานการพัฒนา นวัตกรรม งานประดิษฐ์ รวมทั้งผลงานทางวิชาการ
ทุกสาขา และมีผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบผลงานถูกต้องตามหลักวิชาการให้อีกด้วย ทั้งนี้ให้ส่งสำเนาต้นฉบับ ประวัติ สถานที่ทำงาน
เบอร์โทรศัพท์ ที่อยู่สามารถติดต่อได้สะดวกมาในนาม บรรณาธิการ สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ 1/35-39 ถนนบรมราชชนนี
แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700 ❁

© ในกรณีที่ท่านต้องการซื้อเป็นจำนวนมาก เพื่อใช้ในการสอน การฝึกอบรม และส่งเสริมการขาย เป็นต้น
กรุณาติดต่อสอบถามราคาพิเศษได้ที่ สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ทุกสาขา : สาขาปิ่นเกล้า โทร. 0-2434-8814-5
สาขาวังบูรพา โทร. 0-2221-0742, 0-2221-6567 ©

คำนำ

อาหารทุกชนิดทั้งที่มาจากพืชและสัตว์มีส่วนประกอบหลักเป็นสารประกอบทางเคมี ทั้งสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ ตัวอย่างเช่น น้ำ โปรตีน ลิพิด คาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ และวิตามิน เป็นต้น ซึ่งสารประกอบทางเคมีเหล่านี้จัดเป็นสารอาหารที่ร่างกายจำเป็นต้องได้รับจากการบริโภคอาหาร การที่จะทราบว่าอาหารใดมีส่วนประกอบทางเคมีเป็นอย่างไร เรียนรู้ได้จากวิชาเคมีอาหาร

เคมีอาหาร เป็นวิชาที่มีเนื้อหาสาระมากมาย สำหรับหนังสือเคมีอาหารเล่มนี้ ผู้เขียนได้รวบรวมและเรียบเรียงขึ้นเป็นรูปเล่มครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2539 ซึ่งเป็นผลจากการสอนมานานกว่า 20 ปี และเล่มนี้ได้ปรับปรุงให้มีเนื้อหาสาระสมบูรณ์มากขึ้น โดยเน้นเฉพาะสารประกอบทางเคมีที่เป็นส่วนประกอบหลักในอาหาร ได้แก่ น้ำ กรด ด่าง และเกลือ สารละลาย ระบบคอลลอยด์ในอาหาร ลิพิด โปรตีน เอนไซม์ คาร์โบไฮเดรต ไฮโดรคอลลอยด์ วิตามิน แร่ธาตุ รงควัตถุ สารให้รสและสารให้กลิ่น รวมทั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร โดยกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติทางกายภาพและทางเคมี การเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการขนย้าย การเก็บรักษา และในกระบวนการแปรรูปอาหาร เพราะการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร จะมีผลกระทบต่อคุณภาพทั้งลักษณะเนื้อสัมผัส สี กลิ่น รสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารด้วย นอกจากนี้ความรู้ทางด้านเคมีอาหารยังสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง และพัฒนาสูตรอาหาร เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ๆ ที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น รู้จักเลือกใช้ชนิดของวัตถุดิบให้เหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการ ดังนั้นการเรียนรู้และเข้าใจถึงรายละเอียดเกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร

ผู้เขียนจึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า นักศึกษาและผู้สนใจทุกท่าน คงจะได้รับประโยชน์จากการอ่านหนังสือเล่มนี้ในระดับหนึ่ง เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานในการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมด้วยตนเองต่อไป การพิมพ์ครั้งที่ 5 นี้ได้แก้ไขคำวิทยาศาสตร์ให้ถูกต้องตามศัพท์ราชบัณฑิตยสถาน

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทัศน์ สุระวัง และผู้ที่ไม่ได้กล่าวนาม ที่ได้ช่วยเหลือในการจัดทำต้นฉบับ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญศิริ ศรีบุรี ช่วยพิสูจน์อักษร และรองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ รัตนพานนท์ (สามี) ที่ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจในการเรียบเรียงหนังสือเล่มนี้จนสำเร็จ

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. นิธิยา รัตนพานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1	น้ำ 1
	โครงสร้างโมเลกุลของน้ำ 2
	สมบัติของน้ำ 5
	น้ำกระด้าง 13
	ชนิดของน้ำในอาหาร 15
	Water Activity (a_w) 17
	ความสัมพันธ์ระหว่าง a_w กับอัตราเร็วของปฏิกิริยาทางเคมี 21
	ความสัมพันธ์ระหว่าง a_w กับอัตราการเน่าเสียของอาหาร 23
	เอกสารอ้างอิง 25
บทที่ 2	กรด ต่าง และเกลือ 26
	กรด 26
	ด่าง 29
	เกลือ 31
	ผงฟู 33
	เอกสารอ้างอิง 36
บทที่ 3	สารละลาย 37
	ชนิดของสารละลาย 38
	หน่วยในระบบเมตริก 40
	หน่วยของสารละลาย 41
	สมบัติทางกายภาพของสารละลาย 41
	สมบัติทางเคมีของสารละลาย 45
	Buffer Action 48
	พันธะในสารละลาย 51
	เอกสารอ้างอิง 53
บทที่ 4	ระบบคอลลอยด์ในอาหาร 54
	ประวัติการค้นพบ 54
	ลักษณะของระบบคอลลอยด์ 55
	ชนิดของคอลลอยด์ 56
	Lyophilic และ Lyophobic Systems 57
	สมบัติของอนุภาคคอลลอยด์ 57
	Double-layer ของอนุภาคคอลลอยด์ 60
	Protective Colloid 61
	ระบบคอลลอยด์ในอาหาร 62
	Non-Dispersed Colloidal System 78
	เอกสารอ้างอิง 80

	หน้า
บทที่ 5	ลิวติน 81
	การจำแนกชนิดของลิวติน 81
	ลิวตินในอาหาร 84
	ไขมันที่มองเห็นและมองไม่เห็นด้วยตา 85
	กรดไขมัน 85
	ไตรเอซิลกลีเซอรอล 93
	การเรียกชื่อไตรเอซิลกลีเซอรอล 95
	โมโน-และไดเอซิลกลีเซอรอล 96
	สมบัติของไขมันและน้ำมัน 96
	กลไกการเกิดออกซิเดชัน 109
	การเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 111
	การเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 113
	การเกิดออกซิเดชันของคอเลสเตอรอล 116
	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดลิวตินออกซิเดชันในอาหาร 117
	วิธีการตรวจสอบการเกิดลิวตินออกซิเดชัน 119
	การสลายตัวของลิวตินเนื่องจากความร้อน 120
	แวกซ์ 121
	แอลกอฮอล์ในโมเลกุลของลิวติน 122
	ฟอสโฟลิวติน 122
	ไกลโคลิวติน 128
	สเตอรอยด์ 129
	แคโรทีนอยด์และวิตามินที่ละลายในไขมัน 133
	เอกสารอ้างอิง 136
บทที่ 6	คาร์โบไฮเดรต 137
	การจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรต 138
	สมบัติของน้ำตาล 148
	สตาร์ช 154
	สมบัติของสตาร์ช 163
	การใช้ประโยชน์ของสตาร์ชธรรมชาติ 166
	สตาร์ชดัดแปร 167
	เซลลูโลส 177
	เดกซ์ทริน 179
	ไกลโคเจน 180
	อินูลิน 180
	เฮมิเซลลูโลส 181
	สารประกอบเพกทิน 181
	เพนโทแซน 185
	มิวโคพอลิแซ็กคาไรด์ 185
	เส้นใย 186
	เอกสารอ้างอิง 188

	หน้า
บทที่ 7	ไฮโดรคอลลอยด์ 189
	การจำแนกชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ 189
	สมบัติทั่วไปของไฮโดรคอลลอยด์ 193
	หน้าที่ของไฮโดรคอลลอยด์ 196
	การใช้ประโยชน์ของไฮโดรคอลลอยด์ 199
	ไฮโดรคอลลอยด์ธรรมชาติ 200
	ไฮโดรคอลลอยด์กึ่งสังเคราะห์ 222
	เอกสารอ้างอิง 228
บทที่ 8	โปรตีน 229
	กรดแอมิโน 229
	โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีน 231
	การจำแนกชนิดของโปรตีน 243
	สมบัติทางกายภาพของโปรตีน 246
	สมบัติทางเคมีของโปรตีน 247
	การเสถียรภาพธรรมชาติของโปรตีน 250
	การคืนกลับสู่สภาพธรรมชาติของโปรตีน 254
	การเกิดโฟมของโปรตีน 255
	โปรตีนในอาหาร 256
	โปรตีนในอาหารจากสัตว์ 257
	โปรตีนในอาหารจากพืช 262
	หน้าที่ของโปรตีนในอาหาร 263
	Antifreeze Protein 265
	เอกสารอ้างอิง 270
บทที่ 9	เอนไซม์ 272
	การจำแนกชนิดของเอนไซม์ 273
	ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ 276
	แหล่งของเอนไซม์จากธรรมชาติ 278
	สารยับยั้งเอนไซม์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ 282
	ความคงตัวของเอนไซม์ 285
	บทบาทของเอนไซม์ต่อคุณภาพของอาหาร 286
	การใช้ประโยชน์ของเอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหาร 291
	ผลกระทบของเอนไซม์ต่อคุณภาพของอาหาร 306
	อิมโมบิไลซ์เอนไซม์ หรือเอนไซม์ตรึง 307
	เอนไซม์ตรึงในกระบวนการแปรรูปอาหาร 308
	เอกสารอ้างอิง 315
บทที่ 10	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล 316
	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ 316
	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ 321
	การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ด 332
	เอกสารอ้างอิง 334

	หน้า
บทที่ 11	วิตามิน 335
	การจำแนกวิตามิน 335
	หน้าที่ของวิตามิน 336
	วิตามินที่ละลายในไขมัน 336
	วิตามินที่ละลายในน้ำ 350
	ประโยชน์ของวิตามินในกระบวนการแปรรูปอาหาร 373
	การเสริมวิตามินในอาหาร 382
	เอกสารอ้างอิง 384
บทที่ 12	แร่ธาตุ 385
	แร่ธาตุต่างๆ ในร่างกาย 387
	แร่ธาตุหลักที่พบในอาหาร 388
	แร่ธาตุต่างๆ ในนํ้านม 392
	แร่ธาตุในเนื้อสัตว์ 394
	แร่ธาตุจากพืช 396
	แร่ธาตุที่มีปริมาณน้อย 398
	บทบาทของแร่ธาตุในอาหาร 400
	ผลของกระบวนการแปรรูปต่อแร่ธาตุ 402
	เอกสารอ้างอิง 404
บทที่ 13	รงควัตถุ 405
	ความสำคัญของสีอาหาร 405
	รงควัตถุในอาหารจากสัตว์ 406
	รงควัตถุในอาหารจากพืช 415
	คลอโรฟิลล์ 415
	การรักษาสีเขียวของพืชผัก 418
	แอนโทไซยานิน 421
	ฟลาโวนอยด์ 428
	ฟลาโวนอยด์ในอาหาร 430
	แคโรทีนอยด์ 431
	แคโรทีนอยด์ในอาหาร 433
	บีตาเลน 440
	ควิโนน 442
	แซนโทน 443
	แทนนิน 444
	เอกสารอ้างอิง 449
บทที่ 14	สารให้รสและสารให้กลิ่น 450
	รส 451
	กลิ่น 458
	กลิ่นผิดปกติ 482
	สารเพิ่มรสชาติ 484
	เอกสารอ้างอิง 487

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	ปริมาณน้ำในอาหารชนิดต่างๆ 1
ตารางที่ 1.2	สถานะของน้ำและอุณหภูมิที่มีผลต่อ coordination number และความยาวของพันธะ O—H---O 4
ตารางที่ 1.3	การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำกับสารประกอบอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน 6
ตารางที่ 1.4	สมบัติทางกายภาพของน้ำและน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่างๆ 8
ตารางที่ 1.5	อัตราเร็วของปฏิกิริยาและการเจริญของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในอาหารตามชนิดของน้ำหรือค่า a_w ที่มีอยู่ในอาหาร 22
ตารางที่ 2.1	กรดอินทรีย์บางชนิดที่พบในอาหาร 28
ตารางที่ 2.2	ค่า pK ของกรดอ่อนบางชนิด 30
ตารางที่ 2.3	ค่าที่ใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรม 31
ตารางที่ 2.4	ประโยชน์ของเกลือบางชนิดในอุตสาหกรรมอาหาร 33
ตารางที่ 3.1	ชนิดของสารละลายที่พิจารณาตามขนาดของอนุภาคที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลาง 38
ตารางที่ 3.2	แรงดึงดูดของของเหลวบางชนิด 45
ตารางที่ 3.3	ค่าพีเอชของสารละลายกรดและด่าง ของเหลวในร่างกายและอาหารบางชนิด 49
ตารางที่ 4.1	ระบบของคอลลอยด์ที่พบในธรรมชาติ 56
ตารางที่ 4.2	ระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดต่างๆ เนื่องจาก Brownian movement และแรงดึงดูดของโลก 59
ตารางที่ 4.3	Surface-active agents 64
ตารางที่ 5.1	การจำแนกชนิดของลิพิด 82
ตารางที่ 5.2	ปริมาณของไขมันในอาหารบางชนิด 85
ตารางที่ 5.3	กรดไขมันชนิดต่างๆ ที่พบในอาหารประเภทไขมันและน้ำมัน 87
ตารางที่ 5.4	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่พบในไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ (เปอร์เซ็นต์) 90
ตารางที่ 5.5	การกระจายตัวของกรดไขมันในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่พบเป็นส่วนประกอบของไขมันและน้ำมันบางชนิด 94
ตารางที่ 5.6	จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ 98
ตารางที่ 5.7	สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันพืชชนิดต่างๆ 99
ตารางที่ 5.8	ความหนืดของไขมันและน้ำมันบางชนิด 100
ตารางที่ 5.9	ค่า Smoke point, Flash point และ Fire point ของน้ำมันชนิดต่างๆ 101
ตารางที่ 5.10	ความสัมพันธ์ของค่า Smoke point ต่อปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันเมล็ดฝ้าย 101

ตารางที่ 5.11	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีผลต่อค่า Smoke point, Flash point และ Fire point.....	102
ตารางที่ 5.12	สมบัติทางเคมีของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ.....	105
ตารางที่ 5.13	ไฮโดรคาร์บอนและแอลกอฮอล์ที่พบในแก๊ซ.....	121
ตารางที่ 5.14	สูตรโครงสร้างและองค์ประกอบในโมเลกุลของพอลิฟลิทิด และคอเลสเทอรอล.....	125
ตารางที่ 6.1	การจำแนกชนิดและการเรียกชื่อน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์.....	140
ตารางที่ 6.2	ปริมาณน้ำตาลแอลกอฮอล์ในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง).....	145
ตารางที่ 6.3	สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลชนิดต่างๆ.....	149
ตารางที่ 6.4	ระดับความหวานของน้ำตาลบางชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส.....	151
ตารางที่ 6.5	ชนิดและปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่พบในอาหารบางชนิด (เปอร์เซ็นต์).....	154
ตารางที่ 6.6	รูปร่าง ขนาด องค์ประกอบ และสมบัติบางประการของ เม็ดสตาร์ชที่ได้จากพืชชนิดต่างๆ.....	157
ตารางที่ 6.7	สมบัติต่างๆ ไปของเม็ดสตาร์ชจากพืชบางชนิด.....	159
ตารางที่ 6.8	ปริมาณอะไมโลส อุนทุมิที่เกิดเจลลัดในเซชัน และ swelling power ของสตาร์ชชนิดต่างๆ.....	160
ตารางที่ 6.9	สมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน.....	164
ตารางที่ 6.10	Functional properties ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสสตาร์ช.....	166
ตารางที่ 6.11	การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของสตาร์ชธรรมชาติ เมื่อถูกดัดแปรโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความชื้น 27 เปอร์เซ็นต์ นาน 16 ชั่วโมง.....	175
ตารางที่ 6.12	ชนิดของสตาร์ชดัดแปรและการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร.....	176
ตารางที่ 6.13	ปริมาณเพกทินในเนื้อเยื่อพืชบางชนิด.....	183
ตารางที่ 6.14	ปริมาณเส้นใยในอาหารบางชนิด (กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด).....	187
ตารางที่ 7.1	หน้าที่ของไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหาร.....	190
ตารางที่ 7.2	การจำแนกชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ตามแหล่งที่มา.....	191
ตารางที่ 7.3	การจำแนกชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ตามลักษณะ โครงสร้างของโมเลกุล.....	193
ตารางที่ 7.4	ค่าความหนืดสูงสุดของสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ (higher-grade) ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ หลังจาก 24 ชั่วโมง.....	195
ตารางที่ 7.5	สมบัติของไฮโดรคอลลอยด์และภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจล.....	197
ตารางที่ 7.6	ปริมาณการใช้กัมแต่ละชนิดตามหน้าที่ในอุตสาหกรรมอาหาร.....	198
ตารางที่ 7.7	หน้าที่ของไฮโดรคอลลอยด์บางชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร.....	198
ตารางที่ 7.8	ปริมาณการใช้ประโยชน์ของไฮโดรคอลลอยด์ในอุตสาหกรรมของ ประเทศสหรัฐอเมริกา.....	199
ตารางที่ 7.9	การใช้ประโยชน์ไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ.....	200
ตารางที่ 7.10	การเปรียบเทียบสมบัติของคาร์ราจีแนนแต่ละชนิด.....	206

ตารางที่ 7.11	การเปรียบเทียบสมบัติของแคปปา-และไอโอดา-คาร์ราจีแนนใน gelling systems	207
ตารางที่ 8.1	ชนิดของกรดอะมิโนที่พบในอาหาร	232
ตารางที่ 8.2	ชนิดของกรดอะมิโนในร่างกาย ค่าพีไอและความสามารถในการละลายได้ในน้ำ	234
ตารางที่ 8.3	ลักษณะโครงสร้างทุติยภูมิรูปแบบต่างๆ ในโมเลกุลของโปรตีนบางชนิด	237
ตารางที่ 8.4	อิทธิพลของความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน	244
ตารางที่ 8.5	น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนบางชนิดที่พบในอาหาร	247
ตารางที่ 8.6	ความสามารถในการจับกับน้ำของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ	249
ตารางที่ 8.7	ความสามารถในการจับกับน้ำของโปรตีนบางชนิด (กรัมน้ำต่อกรัมโปรตีน)	250
ตารางที่ 8.8	อุณหภูมิที่ทำให้โปรตีนบางชนิดเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ เมื่อได้รับความร้อน	253
ตารางที่ 8.9	ปริมาณกรดอะมิโนซิสเตอีนและซิสทีนในโปรตีนบางชนิด	253
ตารางที่ 8.10	Foaming power ของโปรตีนบางชนิด	256
ตารางที่ 8.11	ปริมาณโปรตีนในอาหารบางชนิด	257
ตารางที่ 8.12	ปริมาณโปรตีนในกล้ามเนื้อของสัตว์บางชนิด (เปอร์เซ็นต์)	258
ตารางที่ 8.13	ปริมาณโปรตีนแต่ละชนิดในกล้ามเนื้อของสัตว์ที่เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์ปีก และปลา (เปอร์เซ็นต์)	258
ตารางที่ 8.14	ชนิดและปริมาณโปรตีนที่พบในน้ำมันวัว	259
ตารางที่ 8.15	ชนิดและปริมาณโปรตีนที่พบในไข่ขาว	261
ตารางที่ 8.16	ปริมาณโปรตีนในอาหารประเภทกึ่ง ปู และหอย	261
ตารางที่ 8.17	ปริมาณโปรตีนในธัญพืชบางชนิด (ความชื้นของเมล็ดประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์)	262
ตารางที่ 8.18	ปริมาณโปรตีนที่พบในแต่ละส่วนของเมล็ดข้าวสาลีและเมล็ดข้าวโพด	263
ตารางที่ 8.19	ปริมาณโปรตีนในเมล็ดพืชบางชนิด	263
ตารางที่ 8.20	สมบัติของโปรตีนในการทำหน้าที่ต่างๆ ในอาหาร	264
ตารางที่ 8.21	บทบาทของโปรตีนในอาหารบางชนิด	265
ตารางที่ 9.1	น้ำหนักโมเลกุลของเอนไซม์บางชนิด	272
ตารางที่ 9.2	ชนิดของเอนไซม์ที่พบในเซลล์ออร์แกเนลล์ของเซลล์สัตว์	276
ตารางที่ 9.3	ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์บางชนิด	279
ตารางที่ 9.4	ปริมาณเอนไซม์ที่พบในพืชอาหารบางชนิด	281
ตารางที่ 9.5	การใช้ประโยชน์ของเอนไซม์ในการปรับปรุงคุณภาพของอาหารบางชนิด	293
ตารางที่ 9.6	สมบัติของเอนไซม์อะไมเลสจากแหล่งต่างๆ กัน	294
ตารางที่ 9.7	เอนไซม์ที่ใช้ประโยชน์ในการทำขนมปัง	300
ตารางที่ 9.8	เอนไซม์ที่ใช้ประโยชน์ในการหมักเบียร์	300
ตารางที่ 9.9	ตัวอย่างที่ใช้เอนไซม์ในการผลิตสารประกอบที่ต้องการใช้ประโยชน์	305
ตารางที่ 9.10	เอนไซม์ที่ใช้ประโยชน์ในการกำจัดสารที่ไม่พึงประสงค์	305
ตารางที่ 9.11	ตัวอย่างเอนไซม์ที่ใช้ในนํ้านมและผลิตภัณฑ์นม	306
ตารางที่ 9.12	เอนไซม์ครึ่งที่นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและอื่นๆ	309
ตารางที่ 9.13	สารประกอบที่เกิดจากการใช้ immobilized living microbial cells	311
ตารางที่ 9.14	เอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์โมเลกุลของสตรัคซ์และไกลโคเจน	312

ตารางที่ 9.15	การผลิตสารให้ความหวานโดยใช้เอนไซม์	313
ตารางที่ 9.16	ตัวอย่างโปรตีนที่ได้จากการไฮโดรไลซิสสตาร์ชด้วยเอนไซม์	314
ตารางที่ 9.17	เอนไซม์ที่ใช้ตัดแปรรูปแป้งบางชนิด	314
ตารางที่ 11.1	ความคงตัวของวิตามินในภาวะต่างๆ	337
ตารางที่ 11.2	ปริมาณวิตามินเอและแคโรทีนในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	339
ตารางที่ 11.3	การกระจายตัวของบีตา-แคโรทีนไอโซเมอร์ในผัก และผลไม้สดและที่ผ่านการแปรรูป	340
ตารางที่ 11.4	Vitamin A activity ของอนุพันธ์วิตามินเอเมื่อเปลี่ยนรูปเป็นซิส-ไอโซเมอร์	341
ตารางที่ 11.5	Vitamin A activity ของบีตา-แคโรทีนเมื่อเปลี่ยนรูปเป็นซิส-ไอโซเมอร์	341
ตารางที่ 11.6	ปริมาณวิตามินดีในอาหารบางชนิด (ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม)	344
ตารางที่ 11.7	ปริมาณวิตามินอีในน้ำมันพืชบางชนิดและผลิตภัณฑ์ไขมัน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	346
ตารางที่ 11.8	ปริมาณวิตามินอีในอาหารจากพืชและสัตว์ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	347
ตารางที่ 11.9	ปริมาณวิตามินเคในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	349
ตารางที่ 11.10	ปริมาณวิตามินบีหนึ่งในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	350
ตารางที่ 11.11	การสูญเสียวิตามินบีหนึ่งระหว่างการเก็บรักษาอาหารบรรจุกระป๋อง	353
ตารางที่ 11.12	ปริมาณวิตามินบีสองในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	355
ตารางที่ 11.13	การกระจายตัวของวิตามินบีสองรูปต่างๆ ที่พบในน้ำมันคน และน้ำมันวัว	356
ตารางที่ 11.14	ปริมาณวิตามินบีหกในอาหารบางชนิด (ไมโครกรัมต่อกรัม)	358
ตารางที่ 11.15	ปริมาณไนอะซินในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	360
ตารางที่ 11.16	ปริมาณกรดแพนโททิกในอาหารบางชนิด (ไมโครกรัมต่อกรัม)	363
ตารางที่ 11.17	ปริมาณไบโอตินในอาหารบางชนิด (ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม)	364
ตารางที่ 11.18	ปริมาณวิตามินบีสิบสองในอาหารบางชนิด	367
ตารางที่ 11.19	ปริมาณกรดโฟลิกในอาหารบางชนิด (ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม)	369
ตารางที่ 11.20	ผลของการหุงต้มต่อความคงตัวของโฟเลตในผักบางชนิด	370
ตารางที่ 11.21	ปริมาณวิตามินซีในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	372
ตารางที่ 11.22	ประโยชน์ของวิตามินในกระบวนการแปรรูปอาหาร	374
ตารางที่ 12.1	ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ที่พบในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	386
ตารางที่ 12.2	ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	387
ตารางที่ 12.3	ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ที่พบในร่างกาย	388
ตารางที่ 12.4	แร่ธาตุหลักที่พบในน้ำมัน (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)	392
ตารางที่ 12.5	ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำมัน (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)	393
ตารางที่ 12.6	แร่ธาตุต่างๆ ที่พบในเนื้อวัว (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	394
ตารางที่ 12.7	ปริมาณแร่ธาตุชนิดต่างๆ ที่พบมากในเมล็ดข้าวสาลี (เปอร์เซ็นต์)	396
ตารางที่ 12.8	ปริมาณแร่ธาตุที่พบในถั่วเหลือง	397
ตารางที่ 12.9	ปริมาณแร่ธาตุในผลไม้บางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	398
ตารางที่ 12.10	ปริมาณแร่ธาตุบางชนิดที่พบอยู่ในแต่ละส่วนของเมล็ดข้าวสาลี	403
ตารางที่ 12.11	ปริมาณโปรตีน แคลเซียม และฟอสเฟตในเนยแข็งบางชนิด	403
ตารางที่ 13.1	การจำแนกชนิดของสารสี	406

ตารางที่ 13.2	รงควัตถุที่พบในเนื้อสด เนื้อหมัก และเนื้อสุก	414
ตารางที่ 13.3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์และอนุพันธ์ระหว่างการลวก และการแปรรูปผักโขมด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆ กัน (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)	419
ตารางที่ 13.4	แอนโทไซยานินในผักและผลไม้บางชนิด	424
ตารางที่ 13.5	แอนโทไซยานินที่พบในผักและผลไม้บางชนิด	425
ตารางที่ 13.6	ค่า Provitamin A ในผักและผลไม้บางชนิด	436
ตารางที่ 13.7	แคโรทีนอยด์ในอาหารบางชนิด	437
ตารางที่ 13.8	การเปลี่ยนแปลงชนิดของแคโรทีนอยด์ระหว่างการสุก ของผลมะเขือเทศ	438
ตารางที่ 13.9	ชนิดและคุณลักษณะของรงควัตถุที่ได้จากธรรมชาติ	447
ตารางที่ 13.10	การกระจายตัวของสารสีในอาหารบางชนิด	447
ตารางที่ 13.11	รงควัตถุที่ได้จากธรรมชาติและได้รับอนุญาตให้ใช้เป็นสีอาหาร	448
ตารางที่ 14.1	สมบัติของกรดบางชนิดเรียงตามระดับสเปรี้ยวเมื่อเปรียบเทียบ กับกรดตาร์ทาริก	453
ตารางที่ 14.2	การเปรียบเทียบระดับความหวานของสารประกอบที่ให้ รสหวานชนิดต่างๆ	454
ตารางที่ 14.3	รสของกรดอะมิโนบางชนิดที่เปลี่ยนไปตามไอโซเมอร์ของโมเลกุล	458
ตารางที่ 14.4	ตัวอย่างพืชที่มีน้ำมันหอมระเหยและนิยมนำไปใช้ประโยชน์ ในอุตสาหกรรมอาหาร	461
ตารางที่ 14.5	สารประกอบ nonterpenoids ที่พบในน้ำมันหอมระเหย	465
ตารางที่ 14.6	สารให้กลิ่นที่สำคัญที่พบในเครื่องเทศและสมุนไพรบางชนิด และนำมาใช้เป็นสารให้กลิ่นในอุตสาหกรรมอาหาร	465
ตารางที่ 14.7	ตัวอย่างอาหารที่ใช้น้ำมันหอมระเหยเป็นสารให้กลิ่น	467
ตารางที่ 14.8	ตัวอย่างสารให้กลิ่นที่ระเหยได้ที่มีอยู่ในผลไม้ตระกูลส้ม	468
ตารางที่ 14.9	สารให้กลิ่นสังเคราะห์พื้นฐานและปริมาณที่ใช้ในอาหาร	478
ตารางที่ 14.10	ส่วนผสมของสารประกอบในสารให้กลิ่นสังเคราะห์ของผลไม้บางชนิด	480
ตารางที่ 14.11	ปริมาณกรดอะมิโนกลุ่มตามิกที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนชนิดต่างๆ	486

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	โครงสร้างโมเลกุลของน้ำและการเกิดพันธะไฮโดรเจน ระหว่างโมเลกุลของน้ำ (เส้นประจุด)	3
รูปที่ 1.2	โครงสร้างโมเลกุลของน้ำแข็งที่เป็น 3 มิติ รูป tetrahedral configuration และลักษณะการยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน (เส้นประ)	3
รูปที่ 1.3	โครงสร้างของน้ำแข็งที่เรียงตัวเป็นรูป hexagonal crystal lattice	9
รูปที่ 1.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารและค่า a_w	18
รูปที่ 1.5	กราฟ Sorption isotherms ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความชื้นในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือกับ a_w	19
รูปที่ 1.6	Adsorption isotherms ของสารประเภท hygroscopic product (A) และ nonhygroscopic product (B)	20
รูปที่ 1.7	Sorption isotherms ของอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลหรือเกลือสูง และมี capillary adsorption ต่ำ	21
รูปที่ 1.8	อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหาร และการเจริญของจุลินทรีย์ ที่ผันแปรตามค่า a_w ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	21
รูปที่ 4.1	การเคลื่อนที่ของอนุภาคคอลลอยด์แบบ Brownian movement	59
รูปที่ 4.2	ลักษณะของ double-layer ที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์	61
รูปที่ 4.3	วิธีการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ชนิดต่างๆ	65
รูปที่ 4.4	การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ ในขณะที่เปลี่ยนจากซอลเป็นเจล	67
รูปที่ 4.5	ลักษณะของ two-phase emulsions (A) และ multiple emulsions (B)	71
รูปที่ 4.6	ลักษณะของอนุภาคคอลลอยด์ในอิมัลชันชนิดต่างๆ ที่มีอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์	73
รูปที่ 4.7	ลักษณะการดูดซับแบบ monomolecular film ของ surfactants ที่อยู่ ระหว่างผิวของน้ำมัน-น้ำ หรืออากาศ-น้ำ ซึ่งเป็นลักษณะของระบบคอลลอยด์ ชนิด non-dispersed (1 = สบู่, 2 = Tween, 3 = พอลิเมอร์โมเลกุลเล็กๆ และ 4 = โปรตีนชนิดโกลบูลาร์)	79
รูปที่ 5.1	แผนภูมิสรุปการเปลี่ยนแปลงระหว่างเกิดการเกิดออกซิเดชันของลิพิด	112
รูปที่ 5.2	กลไกการเกิดออกซิเดชันของคอเลสเทอรอล	117
รูปที่ 5.3	แผนภูมิการสลายตัวของลิพิดเนื่องจากความร้อน	120
รูปที่ 6.1	โครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ชนิดต่างๆ ที่อยู่ในกลุ่มแอลโดส	141
รูปที่ 6.2	โครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ชนิดต่างๆ ที่อยู่ในกลุ่มคีโตส	142

รูปที่ 6.3	การละลายของน้ำตาลบางชนิดที่ผันแปรตามอุณหภูมิ	151
รูปที่ 6.4	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของโอลิโกแซ็กคาไรด์บางชนิด	152
รูปที่ 6.5	ลักษณะและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากพืชบางชนิด	156
รูปที่ 6.6	ลักษณะการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและการเปลี่ยนแปลงความหนืด ของสารละลายสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อนจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสและคงไว้ที่อุณหภูมินี้ (วัดความหนืดด้วยเครื่องมือ Brabender Visco/amylo/graph)	158
รูปที่ 6.7	ลักษณะการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ และการจับกับโมเลกุลของน้ำ	162
รูปที่ 6.8	ไดอะแกรมที่เป็นตัวแทนส่วนของโมเลกุลอะไมโลเพกทิน	165
รูปที่ 6.9	การรวมตัวของสตาร์ช อะไมโลส และอะไมโลเพกทินกับ ไอโอดีนที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ	165
รูปที่ 7.1	กลไกการเกิดเจลของแอลจินेट	202
รูปที่ 7.2	หน่วยโครงสร้างย่อยในโมเลกุลของแคปทา- แลมบ์ตา- และไอโอดา-คาร์ราจีแนน	204
รูปที่ 7.3	ลักษณะโครงสร้างเจลาตาข่ายที่เกิดจาก interaction ของไลคัลดีปีนกับ กับ double-helical ของแซนแทนหรือคาร์ราจีแนนโมเลกุล	210
รูปที่ 7.4	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของกัวร์กัม	210
รูปที่ 7.5	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของกัมอะราบิก	212
รูปที่ 7.6	ผลของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ต่อการเกิดเจลาติโนเซชันของ สารละลายสตาร์ชข้าวโพด 5 เปอร์เซ็นต์	220
รูปที่ 7.7	การเกิดเจลาติโนเซชันของสารละลายสตาร์ชข้าวโพด 5 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน	220
รูปที่ 7.8	ผลของค่าพีเอชต่อการเกิดเจลาติโนเซชันของสารละลายสตาร์ช ข้าวโพด 5 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	220
รูปที่ 8.1	โครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีนแบบ sheet structure	236
รูปที่ 8.2	รูปร่างของโปรตีนโมเลกุลแบบต่างๆ	236
รูปที่ 8.3	ลักษณะรูปร่างและความยาวของเกลียว helix	236
รูปที่ 8.4	พันธะชนิดต่างๆ ในโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีน	238
รูปที่ 8.5	การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ต่างๆ ในโมเลกุลของโปรตีน	238
รูปที่ 8.6	ลักษณะโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีนไมโอโกลบิน	240
รูปที่ 8.7	ลักษณะการเกิดไดเมอร์และเตรเมอร์ในโมเลกุลของโปรตีน ที่มีโครงสร้างจตุรภูมิ	241
รูปที่ 8.8	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนเมื่อได้รับความร้อน และเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ	243
รูปที่ 10.1	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO	317
รูปที่ 10.2	สารประกอบที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน เมื่อน้ำตาลซูโครส ได้รับความร้อนสูงในระยะเวลาต่างๆ กันที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส	322
รูปที่ 10.3	ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด	325
รูปที่ 10.4	การสูญเสียกรดอะมิโนไลซีนในอาหารบางชนิด	326

รูปที่ 10.5	แผนภูมิแสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดลีสน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์	330
รูปที่ 10.6	ขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดลีสน้ำตาลที่มีผลต่อชีวภาพ	331
รูปที่ 11.1	สูตรโครงสร้างของโทอะมินและอนุพันธ์ที่มีคุณค่าทางชีวภาพ	351
รูปที่ 12.1	โครงสร้างคีเลตของแคลเซียมกับพอลิฟอสเฟต	393
รูปที่ 12.2	สูตรโครงสร้างของอินโนลิทอลและกรดไฟติก	397
รูปที่ 13.1	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของฮีม	407
รูปที่ 13.2	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของไมโอโกลบิน	409
รูปที่ 13.3	Spectral curves ของไมโอโกลบิน ออกซีไมโอโกลบิน และเมทไมโอโกลบิน	410
รูปที่ 13.4	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และไฟตอล	416
รูปที่ 13.5	สูตรโครงสร้างของน้ำตาลบางชนิดที่พบในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน	422
รูปที่ 13.6	แผนภูมิการสลายตัวของ all <i>trans</i> -บีตา-แคโรทีน	434
รูปที่ 14.1	บริเวณพื้นที่ลิ้นที่รับรู้รสได้แตกต่างกัน	452
รูปที่ 14.2	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสารที่ให้รสขมบางชนิด	456
รูปที่ 14.3	ผลการแทนที่หมู่ในโมเลกุลของแซ็กคารินต่อรสหวานของแซ็กคาริน	456
รูปที่ 14.4	สูตรโครงสร้างของ bicyclic monoterpenes และ sesquiterpenes	463
รูปที่ 14.5	สูตรโครงสร้างของ acyclic และ monocyclic monoterpenes	464

บทที่ 1

น้ำ

น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญภายในเซลล์ของทั้งพืชและสัตว์ ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายสารต่างๆ น้ำมีหน้าที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาทางเคมี ทั้งปฏิกิริยาการสังเคราะห์และปฏิกิริยาการสลาย ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) ดีไฮเดรชัน (dehydration) และไฮโดรไลซิส (hydrolysis) น้ำยังทำหน้าที่เป็นตัวพาสารอาหารและสารที่ต้องถูกขับทิ้ง ซึ่งอยู่ในของเหลวทั้งภายในและภายนอกเซลล์ของพืชและสัตว์ น้ำจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของสิ่งที่มีชีวิตทั้งหลาย ดังนั้นจึงพบน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในอาหารทุกชนิด ซึ่งจะมีปริมาณผันแปรแตกต่างกัน (ตารางที่ 1.1)¹

ตารางที่ 1.1 ปริมาณน้ำในอาหารชนิดต่างๆ

อาหาร	เปอร์เซ็นต์น้ำ
เนื้อหมู (ดิบ)	53-60
เนื้อวัว (ดิบ)	50-70
เนื้อไก่ (ดิบ)	70-74
เนื้อปลา (ดิบ)	65-81
ผลไม้สดชนิดต่างๆ	80-95
ผักสดชนิดต่างๆ	75-95
เบียร์	90
นํานม	87
เนยแข็ง	37
ขนมปัง	35
แยม	28
น้ำผึ้ง	20
แป้งข้าวสาลี	12
นมผง	4

ที่มา : เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1 และ 2

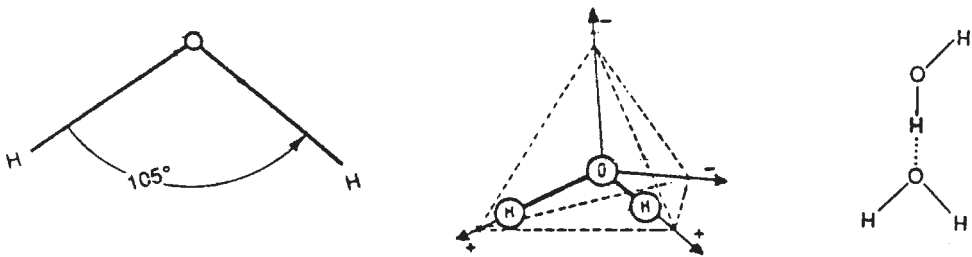
โครงสร้างโมเลกุลของน้ำ^{1,2,3}

น้ำเป็นสารที่มีสมบัติทางกายภาพแตกต่างจากสารอื่น เนื่องจากมี 3 สถานะ คือ เป็นของแข็งหรือน้ำแข็ง (ice water) ของเหลว (liquid water) และก๊าซหรือไอน้ำ (water vapour) ในธรรมชาติน้ำอยู่ในสถานะเป็นของเหลวมากที่สุด น้ำมีสูตรทางเคมีเป็น H_2O และมีน้ำหนักโมเลกุล 18 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอมจับกับออกซิเจน 1 อะตอม ด้วยพันธะโคเวเลนต์ (non linear polar covalent) มุมระหว่างพันธะในโมเลกุลของน้ำประมาณ 105 องศา และความยาวของพันธะระหว่างไฮโดรเจนอะตอมกับออกซิเจนอะตอมประมาณ 0.9572 อังสตรอม (0.096 นาโนเมตร)

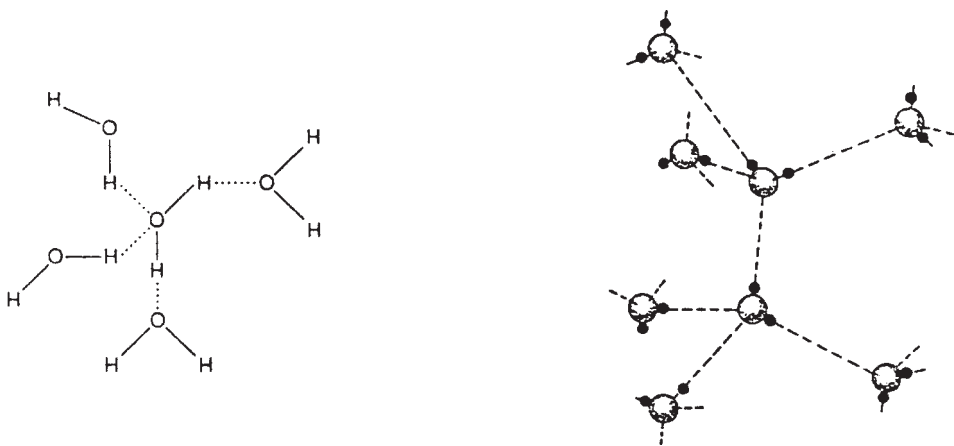
เนื่องจากออกซิเจนอะตอมในโมเลกุลของน้ำมีอิเล็กตรอนอิสระเหลืออยู่เป็น unshared electron pair และเมื่อใช้ Pauling electronegativity scale ออกซิเจนมี electronegativity มากกว่าไฮโดรเจน คือ ออกซิเจนมี 3.5 และไฮโดรเจนมี 2.1 ความแตกต่างของ electronegativity ระหว่างอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนนี้ ทำให้มี δ^- -end เกิดขึ้นที่อะตอมของออกซิเจน และมี δ^+ -end เกิดขึ้นที่อะตอมของไฮโดรเจน โมเลกุลของน้ำจึงมี 2 ขั้ว ทั้งขั้วบวกและขั้วลบ เป็นไดโพล (dipole) และมีแรงดึงดูดเกิดขึ้นระหว่างไฮโดรเจนอะตอมของน้ำโมเลกุลหนึ่งกับออกซิเจนอะตอมของน้ำอีกโมเลกุลหนึ่ง ได้เป็นพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) (รูปที่ 1.1)

น้ำที่อยู่ในสถานะเป็นทั้งของแข็ง (น้ำแข็ง) และของเหลว โมเลกุลของน้ำแต่ละโมเลกุลจะยึดเกาะกับน้ำอีก 4 โมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็น tetrahedral coordination ทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการเรียงตัวเป็น 3 มิติ (three dimensional arrangement) (รูปที่ 1.2) โดยเฉพาะน้ำที่มีสถานะเป็นน้ำแข็ง สำหรับน้ำที่มีสถานะเป็นของเหลว บางครั้งอาจมีจำนวนโมเลกุลของน้ำที่จับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนลดลงเหลือเฉลี่ยประมาณ 3.5

การที่โครงสร้างโมเลกุลของน้ำทางออกเป็นมุมป้านคล้ายรูปตัววี พันธะระหว่าง O-H ในโมเลกุลน้ำทำให้เกิดการกระจายตัวของประจุไม่สมดุล จึงเกิดแรงกระทำต่อกันระหว่างโมเลกุลของน้ำ (intermolecular attractive force) ด้วยพันธะไฮโดรเจนจำนวนมากเป็น multiple hydrogen bonding อยู่ในรูป 3 มิติ พันธะโคเวเลนต์มีแรงหรือพลังงานเท่ากับ 80 กิโลแคลอรีต่อโมล แต่พันธะไฮโดรเจนมีแรงน้อยกว่า 10 กิโลแคลอรีต่อโมล โดยเฉพาะพันธะไฮโดรเจนระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจนมีค่า dissociation energy ประมาณ 3-6 กิโลแคลอรีต่อโมล



รูปที่ 1.1 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำและการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำ (เส้นประจุด)
ที่มา: เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1 และ 4



รูปที่ 1.2 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำแข็งที่เป็น 3 มิติ รูป tetrahedral configuration และลักษณะการยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน (เส้นประจุด)
ที่มา: เอกสารอ้างอิงหมายเลข 3 และ 4

พลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำที่เป็นของเหลวประมาณ 4.5 กิโลแคลอรีต่อโมล ซึ่งเท่ากับประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ใช้สลายพันธะโคเวเลนต์ระหว่างไฮโดรเจนกับออกซิเจนอะตอมในโมเลกุลของน้ำ ซึ่งใช้พลังงาน 110 กิโลแคลอรีต่อโมล ความยาวของ O—H---O ขณะที่น้ำมีสถานะเป็นของแข็งมีค่า 0.276 นาโนเมตร เป็นความยาวระหว่าง O—H ที่เกิดพันธะโคเวเลนต์ 0.101 นาโนเมตร และความยาวระหว่าง H---O ที่เกิดพันธะไฮโดรเจน 0.175 นาโนเมตร และมี coordination number เป็น 4 เมื่อน้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทั้ง coordination number และระยะทางระหว่าง O—H---O จะเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อความหนาแน่นของน้ำด้วย

น้ำที่อยู่ในสถานะและอุณหภูมิต่างกันจะมีผลต่อ coordination number และความยาวของพันธะ O—H---O ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 สถานะของน้ำและอุณหภูมิที่มีผลต่อ coordination number และความยาวของพันธะ O—H---O

สถานะของน้ำ	Coordination number	O—H---O ระยะทาง
น้ำแข็ง (0 องศาเซลเซียส)	4.0	2.76 อังสตรอม
น้ำ (1.5 องศาเซลเซียส)	4.4	2.90 อังสตรอม
น้ำ (83 องศาเซลเซียส)	4.9	3.05 อังสตรอม

ที่มา: เอกสารอ้างอิงหมายเลข 3

น้ำมีความหนาแน่น 0.9998 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส น้ำแข็งมีความหนาแน่น 0.9168 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของโมเลกุลน้ำที่เป็น 3 มิติ และจะไม่มีพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของน้ำ ขณะที่น้ำอยู่ในสถานะเป็นไอ ซึ่งต่างจากน้ำที่อยู่ในสถานะเป็นของแข็งและของเหลว

ความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนที่ยึดกันในโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในสถานะเป็นของเหลวจะลดลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิของร่างกาย) คาดว่ามีพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำที่เป็นของเหลว ประมาณ 35-47 เปอร์เซนต์ เท่านั้น

พันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับ water-solute interaction ในกระบวนการทางสรีรวิทยาของสิ่งที่มีชีวิต และต้องคำนึงเสมอว่าโมเลกุลของน้ำไม่ได้มีพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำเองเท่านั้น แต่ยังสามารถมีพันธะไฮโดรเจนกับหมู่โพลาร์ในโมเลกุลของสารอื่นๆ ได้อีก เช่น กรดคาร์บอกซิลิก แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน

ในโมเลกุลของโปรตีนประกอบด้วยอะตอมของออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจนเป็นจำนวนมาก จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นภายในโมเลกุลของโปรตีนได้ด้วย

พันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำจะเปลี่ยนไป เมื่อมีการละลายของเกลือหรือโมเลกุลของสารที่มีโพลาร์และ/หรือมีหมู่ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic group) นอกจากนั้นในปฏิกิริยาไฮเดรชันของน้ำกับไอออนประจุบวก (cation) หรือไอออนประจุลบ (anion) จะแตกต่างกัน คือ ปลายด้านที่เป็นประจุลบ (negative end) ในโมเลกุลของน้ำจะหันเข้าหาสารรอบๆ

ไอออนประจุบวก ขณะเดียวกันปลายด้านที่เป็นประจุบวก (positive end) ในโมเลกุลของน้ำจะหันเหเข้าหาไอออนประจุลบ ตัวอย่างของสารที่ละลายได้ในน้ำ เช่น น้ำตาลซูโครสและเกลือแกง น้ำตาลซูโครสเป็นสารประกอบประเภทโพลาร์โคเวเลนต์ เมื่อละลายในน้ำจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำกับหมู่โพลาร์ในโมเลกุลของน้ำตาลได้เป็นสารละลายของน้ำตาลในน้ำ แต่เมื่อเกลือแกงละลายในน้ำจะมีความแตกต่างจากน้ำตาลซูโครส คือ จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุ (electrical attraction) ที่อยู่บนโมเลกุลของน้ำกับโซเดียมไอออน (Na^+) ซึ่งจะมากกว่าแรงยึดกัน (attraction holding) ระหว่าง Na^+ และ Cl^- ดังนั้น δ^+ -end ของโมเลกุลน้ำจะดึงด้านประจุลบออกจากโมเลกุลของเกลือ ขณะที่ δ^- -end ของโมเลกุลน้ำจะดึงด้านประจุบวกออกจากโมเลกุลของเกลือ ทำให้แรงยึดพันธะ (bonding force) ระหว่าง Na^+ และ Cl^- ถูกทำลาย ไอออนทั้งสองจึงถูกดึงออกจากกันให้กระจายตัว และถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำเป็นสารละลายเกลือแกงในน้ำ

Degree of hydration จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุ (charge density) ของไอออนนั้นๆ ไอออนที่มีขนาดเล็กจะมีความหนาแน่นของประจุมากกว่าไอออนที่มีขนาดใหญ่ ถึงแม้ไอออนจะมีจำนวนประจุเท่ากันก็ตาม ตัวอย่าง เช่น โพแทสเซียมไอออนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าโซเดียมไอออน แต่ hydrated K^+ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า hydrated Na^+

สมบัติของน้ำ^{1,2,4,5}

สมบัติของน้ำแบ่งออกได้เป็น 2 ทาง คือ สมบัติทางเคมี และทางกายภาพ สำหรับสมบัติทางเคมีเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับการสลายพันธะโคเวเลนต์ระหว่างไฮโดรเจนและออกซิเจนอะตอม ขณะที่สมบัติทางกายภาพโมเลกุลของน้ำยังคงอยู่ในสภาพปกติไม่มีการเปลี่ยนแปลง

สมบัติทางกายภาพของน้ำ^{1,2,5}

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของน้ำ มีดังนี้

1. จุดหลอมเหลวและจุดเดือด (Melting point and boiling point)

น้ำมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ การที่โมเลกุลของน้ำค้างตัวอยู่ในสภาพ 3 มิติ ทำให้น้ำมีสมบัติทางกายภาพแตกต่างจากสารประกอบอื่นๆ ที่มีจำนวนอะตอมและน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน เช่น มีเทน หรือแอมโมเนีย ซึ่งมีโครงสร้างของโมเลกุลเป็น linear อยู่ในสภาพ 2 มิติเท่านั้น (ตารางที่ 1.3)

ตารางที่ 1.3 การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำกับสารประกอบอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน

ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	น้ำหนักโมเลกุล	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)
มีเทน	CH ₄	16	-184	-161
แอมโมเนีย	NH ₃	17	-78	-33
น้ำ	H ₂ O	18	0	+100
ไฮโดรเจนฟลูออไรด์	HF	20	-92	+19
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	H ₂ S	34	-86	-61
ไฮโดรเจนคลอไรด์	HCl	36	-115	-85

ที่มา: เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1 และ 5

จะเห็นได้ว่า น้ำมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงกว่าสารประกอบอื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน สาเหตุเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในสภาพ 3 มิติ ทำให้น้ำเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสารประกอบอื่นๆ

2. ความร้อนจำเพาะ (Specific heat)

น้ำมีความร้อนจำเพาะสูงซึ่งเป็นสมบัติที่ผิดปกติอีกประการหนึ่งของน้ำที่แตกต่างจากสารประกอบอื่นๆ ทำให้น้ำสามารถดูดความร้อนหรือคายความร้อนออกมาได้เป็นจำนวนมาก ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญของน้ำในการดูดซับความร้อนหรือเก็บรักษาความร้อนไว้ในเนื้อเยื่อของร่างกาย น้ำที่อยู่ในสถานะเป็นของเหลวและของแข็งจะมีความร้อนจำเพาะแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1.4

3. ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น หมายถึง อัตราส่วนของน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.9982 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และเพิ่มมากขึ้นเป็น 0.9998 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แต่เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของน้ำจะลดลงเป็น 0.9168 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำมีความหนาแน่นสูงสุดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพราะที่อุณหภูมินี้โครงสร้างโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในสถานะของแข็งมีโมเลกุลของน้ำอิสระน้อยที่สุด ทำให้มีความหนาแน่นมากที่สุด และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย จึงมีจำนวนโมเลกุลของน้ำอิสระเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของน้ำลดลง (ตารางที่ 1.4)

การที่น้ำและน้ำแข็งมีความหนาแน่นต่างกันจะมีผลต่อการทำลายโครงสร้างของอาหารเมื่อนำอาหารไปแช่เยือกแข็ง และความหนาแน่นของน้ำแข็งยังเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิจึงมีผลต่ออุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งด้วย เพราะเมื่อน้ำเกิดการแข็งตัวจะมีความยืดหยุ่นลดลงน้อยกว่าเมื่อเป็นของเหลว ถ้าอุณหภูมิต่ำระหว่างการแช่เยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ไม่คงที่ จะทำให้โครงสร้างของอาหารถูกทำลายได้

4. ความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและการเกิดไอ (Latent heat of fusion and heat of vapourization)

น้ำมีความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและการเกิดไอน้ำ เนื่องจากมีแรงยึดของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำ เมื่อน้ำมีอุณหภูมิต่ำลงพันธะไฮโดรเจนที่มีแรงยึดกันมากจะดึงโมเลกุลของน้ำเข้าหากันมากขึ้นกลายเป็นน้ำแข็ง

ความร้อนแฝงในการหลอมเหลวของน้ำ หมายถึง จำนวนพลังงานเป็นแคลอรีที่สามารถเปลี่ยนน้ำแข็ง 1 กรัมที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นของเหลวที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งมีค่าเป็น 80 แคลอรีต่อกรัม หรือ 1.436 กิโลแคลอรีต่อโมล

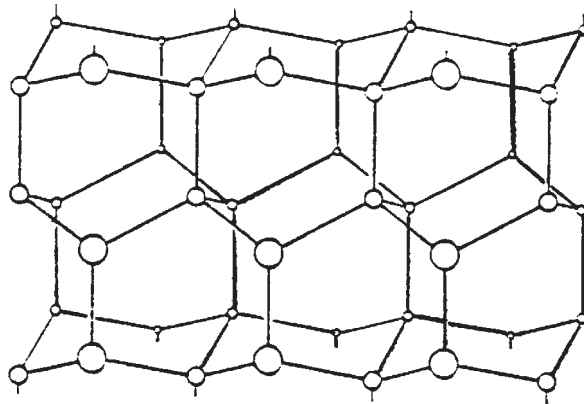
อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำได้อย่างพิสดาร กล่าวคือ เมื่อน้ำถูกทำให้เย็นลงจนกลายเป็นน้ำแข็งจะขยายตัวมีปริมาตรเพิ่มขึ้น และเมื่อหลอมละลายจะหดตัวมีปริมาตรลดลง ณ ที่จุดหลอมเหลว คือ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส น้ำมีสถานะเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว เพียงแต่ใช้พลังงานความร้อน 80 แคลอรีต่อกรัม ดูดซึมเข้าไปในโมเลกุลของน้ำที่มีสถานะเป็นของแข็ง น้ำก็จะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้เนื่องจากพลังงานไปสลายพันธะไฮโดรเจนที่ยึดกันอยู่ระหว่างโมเลกุลของน้ำแข็ง ซึ่งเรียงตัวเป็น hexagonal crystal lattice (รูปที่ 1.3) กลายเป็นของเหลว

ตารางที่ 1.4 สมบัติทางกายภาพของน้ำและน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่างๆ

สมบัติของน้ำ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
	0	20	40	60	80	100
ความดันไอ (มิลลิเมตรปรอท)	4.58	17.53	55.32	149.40	355.2	760.0
ความหนาแน่น (กรัม/ซม. ³)	0.998	0.9982	0.9922	0.9832	0.9718	0.9583
ความร้อนจำเพาะ (แคลอรี/กรัม/°ซ.)	1.0074	0.9988	0.9980	0.9994	1.0023	1.0070
ความร้อนในการเป็นไอ (แคลอรี/กรัม)	597.2	586.0	574.7	563.3	551.3	538.9
การนำความร้อน (กิโลแคลอรี/เมตร ² ซม. °ซ.)	0.486	0.515	0.540	0.561	0.576	0.585
แรงตึงผิว (ไดน์/เซนติเมตร)	75.62	72.75	69.55	66.17	62.60	58.84
ความหนืด (เซนติพอยล์)	1.792	1.002	0.653	0.466	0.355	0.282
การหักเหของแสง	1.3338	1.3330	1.3306	1.3272	1.3230	1.3180

สมบัติของน้ำแข็ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)						
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
ความดันไอ (มิลลิเมตรปรอท)	4.58	3.01	1.95	1.24	0.77	0.47	0.28
ความร้อนในการหลอมเหลว (แคลอรี/กรัม)	79.8	-	-	-	-	-	-
ความร้อนในการระเหิด (แคลอรี/กรัม)	677.8	-	672.3	-	666.7	-	662.3
ความหนาแน่น (กรัม/ซม. ³)	0.9168	0.9171	0.9175	0.9178	0.9182	0.9185	0.9188
ความร้อนจำเพาะ (แคลอรี/กรัม/°ซ.)	0.4837	-	0.4770	-	0.4647	-	0.4504
ความจุความร้อน (จูล/กรัม)	2.06	-	-	-	1.94	-	-

ที่มา : เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1



รูปที่ 1.3 โครงสร้างของน้ำแข็งที่เรียงตัวเป็นรูป hexagonal crystal lattice
ที่มา: เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1

เมื่อน้ำได้รับพลังงานหรือความร้อนเพิ่มมากขึ้น พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายไปเรื่อยๆ แต่น้ำยังคงรักษาสถานะเป็นของเหลวได้ จนกระทั่งอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส พันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำจะถูกทำลายหมด ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ โดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง จำนวนพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ใช้เปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวกลายเป็นไอ เรียกว่า ความร้อนแฝงในการเกิดไอ

ความร้อนแฝงในการเกิดไอของน้ำ คือ จำนวนพลังงานความร้อนเป็นแคลอรีที่ใช้ในการเปลี่ยนน้ำ 1 กรัม จากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หรือที่จุดเดือดของน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 539 แคลอรีต่อกรัม หรือ 9.705 กิโลแคลอรีต่อโมล

การที่น้ำมีค่าความร้อนแฝงและความจุความร้อนสูง มีความสำคัญมากต่อกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะการแช่เยือกแข็งและการทำแห้ง

5. การนำความร้อน (Thermal conductivity)

น้ำเป็นตัวนำความร้อนที่ดี สามารถนำความร้อนได้มากกว่าของเหลวชนิดอื่น น้ำที่อยู่ในสภาพเป็นน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นำความร้อนได้ดีกว่าน้ำที่อยู่ในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิเดียวกันถึง 4 เท่า

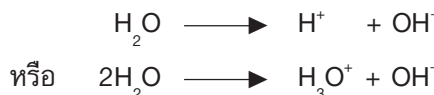
6. ความหนืด (Viscosity)

น้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีความหนืด 1.002 เซนติพอยส์ เมื่ออุณหภูมิลดลง ความหนืดของน้ำจะเพิ่มขึ้น น้ำที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีความหนืด 1.792 เซนติพอยส์ (ตารางที่ 1.4)

สมบัติทางเคมีของน้ำ^{4,5}

1. การแตกตัวของน้ำ (Dissociation of water)

โมเลกุลของน้ำสามารถแตกตัวออกเป็นไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกซิลไอออนได้ในปริมาณจำกัด สมการแสดงการแตกตัวของน้ำ มีดังนี้



น้ำบริสุทธิ์จะมีจำนวนไฮโดรเจนไอออน เท่ากับจำนวนไฮดรอกซิลไอออน น้ำบริสุทธิ์จึงมีสมบัติเป็นกลาง คือ ไม่เป็นกรดและไม่เป็นด่าง

น้ำบริสุทธิ์ 1 กรัม มีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ 3.46×10^{22} โมเลกุล แต่ไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำแตกตัวเป็นไฮโดรเจนไอออนได้เพียง 1 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ดังนั้นจะมีไฮโดรเจนไอออนอะตอมประมาณ 0.0000000018 หรือ 1.8×10^{-9} นั่นคือ ทุกๆ หนึ่งไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกซิลไอออนในน้ำบริสุทธิ์ จะมีน้ำบริสุทธิ์อยู่ 1.8×10^9 โมเลกุล (1.8 billion โมเลกุล)

จากสมการการแตกตัวของน้ำจะมีค่า dissociation constant (K) ดังนี้

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

[] หมายถึง ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (หรือไฮโดรเนียมไอออน) ไฮดรอกซิลไอออน และน้ำที่ยังไม่แตกตัว มีหน่วยเป็นโมลาร์

น้ำ 1 โมล มีน้ำหนักโมเลกุล 18 กรัม

น้ำบริสุทธิ์ปริมาตร 1 ลิตร มีน้ำหนัก 1,000 กรัม จะมีจำนวนโมลทั้งหมด

$$\begin{aligned} &= \frac{1,000}{18} \\ &= 55.56 \text{ โมล} \end{aligned}$$

นั่นคือ น้ำบริสุทธิ์ปริมาตร 1 ลิตร มี 55.56 โมลาร์ หรือโมลต่อลิตร

น้ำบริสุทธิ์เมื่อแตกตัวจะมีจำนวนไฮโดรเจนไอออนเท่ากับจำนวนไฮดรอกซิลไอออนเสมอ และในน้ำบริสุทธิ์จะมีไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออน เท่ากับ 1.8×10^{-9} อะตอม

ดังนั้น ความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออน คำนวณได้ โดยคูณ 1.8×10^{-9} ด้วยจำนวนโมลต่อลิตรของน้ำ ได้เป็น $1.8 \times 10^{-9} \times 55.56 = 1.0 \times 10^{-7}$ โมลต่อลิตร

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} \\
 &= \frac{[10^{-7}][10^{-7}]}{[55.56]} \\
 &= 0.018 \times 10^{-14} = 1.8 \times 10^{-16} \text{ โมลต่อลิตร}
 \end{aligned}$$

กำหนดให้ K_w เป็น ion product ของน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่าง K และ K_w มีดังนี้

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} \\
 &= 1.8 \times 10^{-16} \text{ โมลต่อลิตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_w &= (K) [H_2O] = [H^+][OH^-] \\
 &= (1.8 \times 10^{-16} \text{ โมลต่อลิตร}) (55.56 \text{ โมลต่อลิตร}) \\
 &= 1.00 \times 10^{-14} \text{ (โมลต่อลิตร)}^2
 \end{aligned}$$

$$K_w = [H^+][OH^-] \text{ (โมลต่อลิตร)}^2$$

$$K_w = [H^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14} \text{ (โมลต่อลิตร)}^2$$

ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

$$K_w = (10^{-7})^2 = 10^{-14} \text{ (โมลต่อลิตร)}^2$$

เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ค่า K_w จะน้อยกว่า 10^{-14}

และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ค่า K_w จะมากกว่า 10^{-14}

ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิของร่างกาย 37 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของน้ำบริสุทธิ์ จะมากกว่า 10^{-7} โมลต่อลิตรเล็กน้อย อย่างไรก็ตามในช่วงอุณหภูมิจำกัด จะกำหนดให้สารละลายทุกชนิดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย มีค่า $K_w = 10^{-14}$ (โมลต่อลิตร)²

2. ค่าพีเอช (pH) ของน้ำ

ในปี ค.ศ. 1909 Sorensen ได้กำหนดให้ค่าพีเอช หมายถึง “the negative log of the hydrogen ion concentration” ซึ่งเป็นกรวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน หรือความเป็นกรด-ด่างของสารละลายนั้นๆ

pH มาจากคำว่า puissance d'hydrogen หมายถึง power of hydrogen

$$pH = -\log [H^+]$$

$$[H^+] = \text{ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน หรือไฮโดรเนียมไอออน}$$

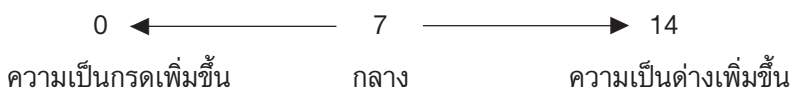
น้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเท่ากับ 10^{-7} โมล

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log[10^{-7}] \\ &= -(-7) \\ &= 7 \end{aligned}$$

ค่าพีเอชจะลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น และค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนลดลง

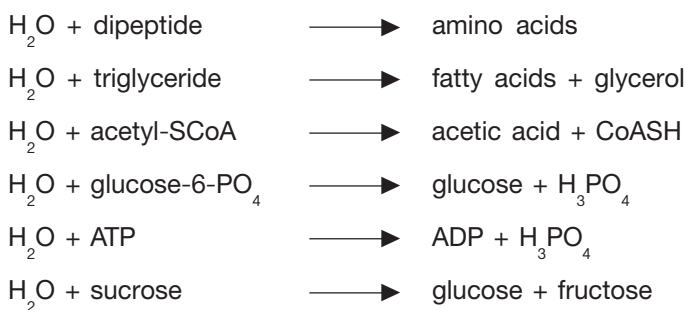
$$\begin{aligned} K_w &= [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \\ \log[\text{H}^+] + \log[\text{OH}^-] &= \log 10^{-14} \\ \text{pH} + \text{pOH} &= 14 \end{aligned}$$

ดังนั้น สเกลของค่าพีเอชจึงถูกกำหนดให้อยู่ในช่วง 0-14 ที่พีเอชเท่ากับ 7 ถือว่าเป็นกลาง

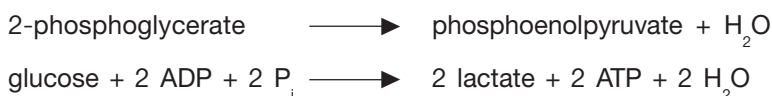


3. การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

นอกจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่สำคัญแล้ว น้ำยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสภายในร่างกายและเซลล์ของสิ่งที่มีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ตัวอย่างของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่จำเป็นต้องมีโมเลกุลของน้ำเข้าไปเกี่ยวข้องในปฏิกิริยา เช่น



อย่างไรก็ตาม มีปฏิกิริยาทางเคมีบางชนิดที่มีน้ำเป็นผลพลอยได้ออกมาด้วย ตัวอย่างเช่น



คาร์โบไฮเดรต 1 กรัม เมื่อผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึมอย่างสมบูรณ์ จะได้น้ำเป็นผลพลอยได้ออกมา 0.6 กรัม ส่วนไขมัน 1 กรัม จะได้น้ำออกมา 1.1 กรัม และโปรตีน 1 กรัม จะได้น้ำออกมา 0.4 กรัม เรียกว่า metabolic water

น้ำมีความสำคัญและจำเป็นต่อการทำงานในหน้าที่ต่างๆ ภายในเซลล์ ดังนั้นจึงพบน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ในอาหารทุกชนิด ซึ่งปริมาณจะผันแปรไปตามชนิดของอาหาร (ตารางที่ 1.1)

น้ำกระด้าง⁶ (Hard water)

น้ำกระด้าง หมายถึง น้ำที่มีเกลือของแร่ธาตุต่างๆ ละลายอยู่ในน้ำกระด้าง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. **น้ำกระด้างชั่วคราว** (Temporary hardness) คือ น้ำกระด้างที่มีเกลือคาร์บอเนตของแคลเซียมหรือแมกนีเซียมปนอยู่ เมื่อนำไปต้มให้เดือดจะลดความกระด้างของน้ำลงได้ น้ำกระด้างชั่วคราวเกิดจากน้ำฝนที่ตกลงมา แล้วมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายปนอยู่ด้วย ทำให้เกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นกรดอ่อน ดังสมการ



เมื่อน้ำไหลผ่านบริเวณที่เป็นหิน กรดคาร์บอนิกสามารถละลายแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอยู่ในหินประเภท limestone ออกมาได้ และเกิดปฏิกิริยาเป็นแคลเซียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต



นอกจากนั้นยังมีแมกนีเซียมคาร์บอเนต ซึ่งจะละลายออกมาได้บ้างเล็กน้อยและเกิดปฏิกิริยาทำนองเดียวกันได้เป็นแมกนีเซียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตด้วย

2. **น้ำกระด้างถาวร** (Permanent hardness) คือ น้ำกระด้างที่มีเกลือแคลเซียม และแมกนีเซียมซัลเฟตละลายปนอยู่ น้ำกระด้างชนิดนี้ไม่สามารถลดความกระด้างได้โดยการต้ม

ความกระด้างของน้ำพิจารณาจากปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแคลเซียมไอออนที่ละลายอยู่ในน้ำ น้ำอ่อนจะมีปริมาณแคลเซียมไอออนน้อยกว่า 50 ส่วนต่อล้านส่วน น้ำกระด้างปานกลาง มีแคลเซียมไอออนประมาณ 100 ส่วนต่อล้านส่วน และน้ำกระด้างมากจะมีแคลเซียมไอออนมากกว่า 200 ส่วนต่อล้านส่วน

ข้อเสียของน้ำกระด้าง⁶

1. น้ำกระด้างจะทำให้สบู่ไม่เกิดฟอง แต่เกิดเป็นตะกอนเนื่องจากสบู่เป็นเกลือโซเดียมของกรดไขมัน เมื่อละลายในน้ำกระด้างเกลือโซเดียมของกรดไขมันบางส่วนจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมหรือแมกนีเซียมไอออนที่อยู่ในน้ำกระด้าง ได้เป็นเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมของกรดไขมันซึ่งไม่ละลายน้ำ จะจับตัวอยู่กับเส้นใยเสื้อผ้าหรืออยู่ที่ผิวหน้าของน้ำ ซึ่งแก้ไขได้โดยการใชฟองซักฟอก (detergent) แทนสบู่ เพราะเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนที่ทำปฏิกิริยากับฟองซักฟอกละลายได้ในน้ำ

2. น้ำกระด้างชนิดชั่วคราว ซึ่งมีแคลเซียมและแมกนีเซียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เมื่อนำไปต้มให้เดือด จะสลายตัวได้เป็นแคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนต ซึ่งไม่ละลายน้ำจะเป็นตะกอน (fur) จับอยู่ด้านในของภาชนะที่ใช้ต้มน้ำ



โรงงานอุตสาหกรรมอาหารที่ใช้ น้ำกระด้างต้มเพื่อผลิตไอน้ำ จะมีตะกอนจับที่หม้อต้มไอน้ำ (boiler) และตามท่อน้ำร้อน (hot-water pipes) ซึ่งจะลดประสิทธิภาพการทำงานของหม้อต้มไอน้ำ และถ้าเกิดตะกอนมากขึ้นอาจทำให้ท่อน้ำร้อนอุดตันได้ หากไม่ระมัดระวังตรวจสอบดูแล อาจทำให้หม้อน้ำระเบิดได้

การกำจัดตะกอนออกจากหม้อต้มไอน้ำหรือภาชนะอื่นๆ ทำได้โดยใช้กรด เช่น กรดฟอสฟอริก หรือกรดฟอร์มิก ซึ่งเรียกว่า descaling agent กรดเหล่านี้จะละลายตะกอนได้

3. น้ำกระด้างเมื่อนำมาใช้ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจะมีผลต่อสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ และมีผลต่อความเหนียวของแป้งขนมปังขณะเตรียมโด (dough)

ข้อดีของน้ำกระด้าง⁶

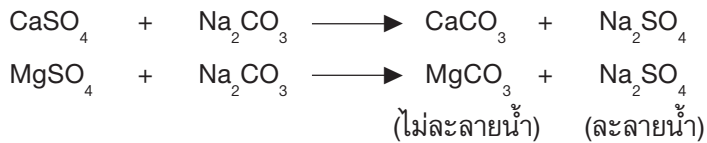
1. ในน้ำกระด้างมีแคลเซียมและแมกนีเซียมจะทำให้ร่างกายได้รับแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์มากขึ้น

2. น้ำกระด้างมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมเหล็ก และอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ ทำให้ได้เบียร์ที่มีคุณภาพดีกว่าใช้น้ำอ่อน

3. น้ำกระด้างช่วยลดความเป็นพิษของท่อน้ำที่ทำจากตะกั่วได้ดีกว่าน้ำอ่อน

วิธีแก้ความกระด้างของน้ำ⁶

1. โดยการเติม **Washing soda** Washing soda หรือโซเดียมคาร์บอเนต เมื่อเติมลงในน้ำกระด้าง จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนได้เป็นเกลือคาร์บอเนตที่ไม่ละลายน้ำ



โซเดียมคาร์บอเนตยังใช้เป็นส่วนผสมใน washing powders และ bath salts

2. โดยใช้ **Ion-exchange** วิธีนี้เป็นการลดความกระด้างของน้ำที่ใช้กันมากทั้งในอุตสาหกรรมและน้ำดื่มในครัวเรือน โดยใช้สารเรซิน (resins) ธรรมชาติหรือสังเคราะห์ เช่น permutit และ zeolite บรรจุอยู่ในท่อ เมื่อน้ำกระด้างไหลผ่านเรซิน จะเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนในน้ำกระด้างกับโซเดียมไอออนในเรซิน หลังจากใช้เรซินไประยะหนึ่งสามารถทำให้กลับคืนเป็นโซเดียมไอออนใหม่ได้ โดยล้างเรซินด้วยสารละลายเกลือแกงเข้มข้น

3. โดยใช้ **Sequestering agents** สารที่เป็น sequestering agent เช่น Calgon (sodium hexametaphosphate) เมื่อเติมลงในน้ำกระด้าง จะรวมตัวกับแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายได้ในน้ำและไม่ทำปฏิกิริยากับสบู่ แต่สารนี้มีราคาแพงจึงนำมาใช้ในครัวเรือนเท่านั้น และไม่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้

ชนิดของน้ำในอาหาร²

อาหารแต่ละชนิดมีน้ำเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่แตกต่างกัน น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญภายในเซลล์ ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายของสารต่างๆ น้ำจึงมีบทบาทเกี่ยวข้องกับธรรมชาติของอาหาร ทำให้อาหารเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและทางชีวเคมี และมีผลทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นการชะลอการเน่าเสียของอาหารจึงใช้วิธีลดปริมาณน้ำในอาหารให้น้อยลง ทำให้มีน้ำไม่เพียงพอสำหรับใช้ในปฏิกิริยาทางเคมี และยังชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ต่างๆ นอกจากนั้นเมื่ออาหารมีปริมาณน้ำลดน้อยลง จะทำให้ตัวถูกละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นหลักการสำคัญที่ใช้ในการถนอมอาหารด้วยวิธีการต่างๆ

น้ำในอาหารมีอยู่ในรูปที่แตกต่างกัน แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. Monolayer water (very tightly bound หรือ true bound water หรือ Langmuir) เป็นน้ำที่มีความคงตัวมาก สามารถถูกยึดเกาะได้อย่างเหนียวแน่น มีระเบียบและมีรูปทรง (rigid) น้ำนี้ไม่สามารถนำไปใช้เป็นตัวทำละลายได้ และเป็นน้ำที่ไม่แข็งตัว (unfreezeable water) เมื่อนำอาหารไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิใดๆ ดังนั้นน้ำในอาหารชนิดนี้จึงหมายถึงน้ำที่เหลืออยู่ในสภาพของเหลวขณะที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส หรือต่ำลงถึง -20 องศาเซลเซียส สำหรับอาหารแช่เยือกแข็ง (frozen food)

ปริมาณน้ำชนิด monolayer water ที่มีอยู่ในอาหารจะผันแปรขึ้นอยู่กับปริมาณของ โปรตีนในอาหารแต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น ในเนื้อเยื่อสัตว์จะมีน้ำที่ไม่แข็งตัวเป็นน้ำแข็งประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมด ในไข่ขาว ไข่แดง เนื้อสัตว์ และเนื้อปลา มีน้ำที่ไม่แข็งตัวเป็นน้ำแข็งประมาณ 0.4 กรัมต่อกรัมของโปรตีน หรือเทียบเท่ากับน้ำ 11.4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมดในอาหาร

อาหารประเภทผักและผลไม้ส่วนใหญ่ จะมีน้ำที่ไม่แข็งตัวเป็นน้ำแข็งน้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมด แต่ในธัญพืชมีสูงถึง 34 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมด ขนมังคุดมีน้ำที่ไม่แข็งตัวประมาณ 0.3 กรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง น้ำในขนมังคุดจะไม่แข็งตัวเมื่อขนมังคุดมีความชื้นต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ อาหารที่ประกอบไปด้วยตัวถูกละลายมากจะมีน้ำที่เป็น monolayer เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2. Capillary water เป็นน้ำที่อยู่ในโครงสร้างของเนื้อเยื่อ และเมื่อโครงสร้างของเนื้อเยื่อถูกทำลาย เช่น การแช่เยือกแข็งจะทำให้มีการสูญเสียน้ำ (drip loss) เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อนั้นได้ นอกจากนั้น capillary water ยังมีบทบาทต่อการเกิดฮิสเทอรีซิส (hysteresis) ในอาหารด้วย

3. Free water (loosely bound water) เป็นน้ำที่อยู่ในรูปอิสระและเป็นน้ำที่นำมาใช้เป็นตัวทำละลายได้ เนื้อสัตว์ต่างๆ มีปริมาณน้ำอิสระประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมด น้ำชนิดนี้จะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ และระยะเวลาภายหลังจากที่สัตว์ถูกฆ่า เช่น น้ำอิสระจะลดลงอย่างรวดเร็วในระหว่างวันแรกภายหลังจากที่สัตว์ถูกฆ่า หลังจากนั้นน้ำอิสระจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

น้ำที่อยู่ในรูปอิสระอาจวิเคราะห์หาได้ง่ายๆ โดยการอัดตัวอย่างอาหารไว้ระหว่างกระดาษกรอง (filter paper) หรือใช้วิธีทำ dilution ของสารให้สี หรือใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง แต่ปัจจุบันมีวิธีใหม่ที่เรียกว่า wide-line nuclear magnetic resonance ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในอาหารจะรายงานผลในรูปน้ำหนักสด (wet-weight basis) หรือน้ำหนักแห้ง (dry-weight basis)

$$\% \text{ น้ำหนักสด} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำ}}{\text{น้ำหนักของอาหาร}} \times 100$$

$$\% \text{ น้ำหนักสด} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำ}}{\text{น้ำหนักน้ำ} + \text{ของแข็งทั้งหมด}} \times 100$$

$$\% \text{ น้ำหนักแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำ}}{\text{น้ำหนักของแข็งทั้งหมด}} \times 100$$

Water Activity (a_w)^{1,2,3,7,8}

Water activity หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (p) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่จุดอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน (p_0)

$$a_w = p/p_0$$

Raoult's law กล่าวว่า ตัวถูกละลายจะลดความดันไอของน้ำในอาหาร มีผลทำให้ค่า a_w ลดลงด้วย อาหารทุกชนิดมีน้ำเป็นส่วนประกอบ สถานภาพของน้ำในอาหารอธิบายโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่รอบๆ อาหารนั้น อัตราส่วนของตัวเลขทั้งสองนี้เป็นค่า a_w

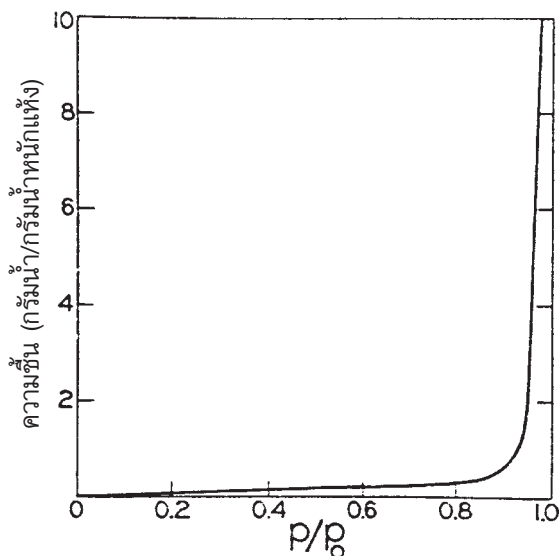
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สัมพันธ์กับค่าความชื้นเฉพาะหนึ่งๆ (specific moisture content) ของอาหาร เรียกว่า equilibrium relative humidity (ERH)

$$a_w = \text{ERH} / 100$$

น้ำในอาหารทำให้เกิดความดันไอ ซึ่งความดันไอที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร
2. อุณหภูมิ
3. ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น เกลือและน้ำตาล

อาหารที่มีความชื้นสูงหรือมีปริมาณน้ำมากกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง จะมีค่า a_w เท่ากับ 1.0 และเมื่ออาหารมีความชื้นต่ำลงหรือมีปริมาณน้ำน้อยกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง ค่า a_w จะลดลงต่ำกว่า 1.0 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารที่มีหน่วยเป็นกรัมของน้ำต่อกรัม น้ำหนักแห้งของอาหาร และค่า a_w ดังแสดงในรูปที่ 1.4

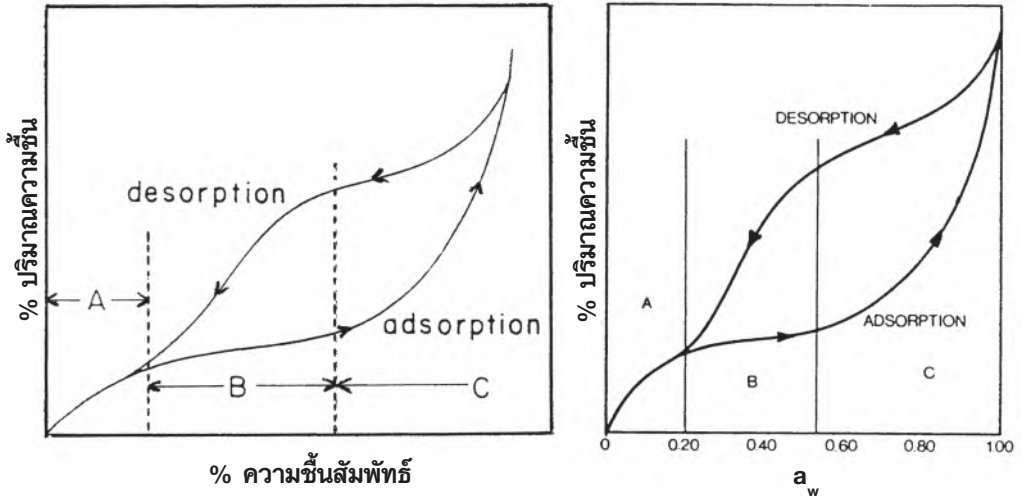


รูปที่ 1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารและค่า a_w
ที่มา: เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2

เมื่ออาหารมีความชื้นลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด จะทำให้ค่า a_w ลดลงอย่างรวดเร็ว ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และ a_w ยังขึ้นกับอุณหภูมิด้วยการเปลี่ยนแปลง a_w จะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำแห้ง หรือกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze-drying) ดังนั้นเมื่อนำค่า a_w มาเขียนเส้นกราฟกับปริมาณความชื้นในอาหาร จะได้เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือกับ a_w กราฟนี้เรียกว่า sorption isotherms ซึ่งจะมีกระบวนการลดความชื้น (desorption) และการเพิ่มความชื้น (adsorption) เกิดขึ้นได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และจะมีผลต่อค่า a_w ด้วย (รูปที่ 1.5)

กระบวนการ adsorption และ desorption ไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกัน หรือเป็นการเปลี่ยนกลับไปมา แต่มีความแตกต่างกันระหว่าง adsorption และ desorption isotherms ณ ความชื้นหนึ่งๆ ของอาหาร ค่า a_w ของ desorption จะต่ำกว่า adsorption หรือ ณ ค่า a_w หนึ่งๆ ปริมาณความชื้นของ desorption จะมากกว่า adsorption เสมอ (รูปที่ 1.5)

กราฟ desorption isotherm เป็นการวิเคราะห์ระดับความแห้งของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น หรือความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ ลดต่ำลงจนถึงจุดสมดุลกับสถานะแวดล้อม หรือความชื้นของอากาศขณะนั้น ดังนั้นจึงใช้ desorption isotherm สำหรับกระบวนการทำแห้ง

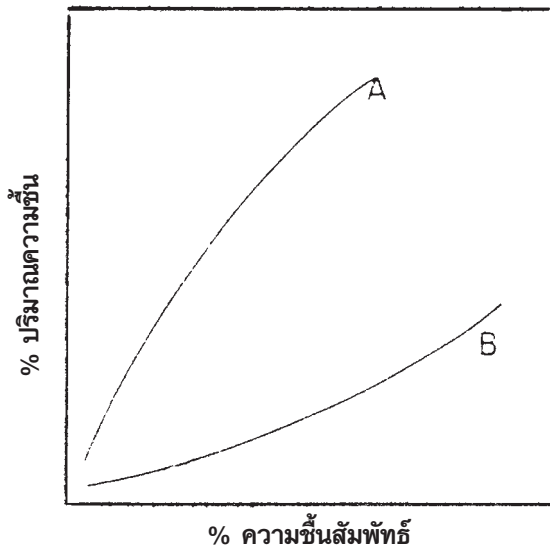


รูปที่ 1.5 กราฟ Sorption isotherms ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือกับ a_w

ที่มา: เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1 และ 8

สำหรับกราฟ adsorption หรือ resorption isotherm เป็นการวิเคราะห์ความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากอาหารนั้นมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้ หากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และอาหารมีความสามารถในการดูดความชื้นได้มาก เส้นกราฟ adsorption isotherm จะมีความชันมาก อาหารประเภทนี้เรียกว่า hygroscopic product และถ้าอาหารไม่มีความไวต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เพิ่มขึ้น เส้นกราฟจะมีความชันน้อย อาหารประเภทนี้เรียกว่า nonhygroscopic product (รูปที่ 1.6)

อาหารหลายชนิดมีรูปกราฟของ adsorption ต่างจากรูปที่ 1.6 คือ เส้นกราฟจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงแรก เมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้นเป็นพวก low hygroscopicity และเส้นกราฟจะชันขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงปลายเป็นพวก high hygroscopicity ดังแสดงในรูปที่ 1.7 ซึ่งรูปกราฟของ adsorption isotherm เช่นนี้เป็นสมบัติของอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลหรือเกลือสูง เนื่องจากมี capillary adsorption ต่ำ ดังนั้นอาหารใดที่มีสมบัติเป็น hygroscopic เมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จะทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



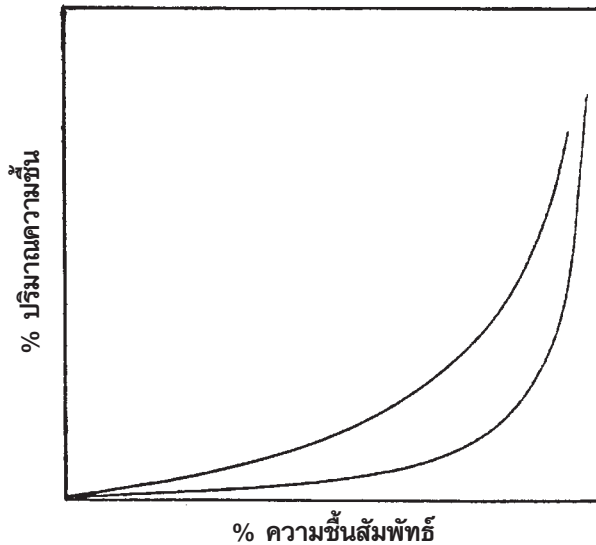
รูปที่ 1.6 Adsorption isotherms ของสารประเภท hygroscopic product (A) และ nonhygroscopic product (B) ที่มา: เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1

รูปกราฟของ sorption isotherm โดยทั่วไปจะเป็นรูป sigmoid และแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ซึ่งจะแตกต่างกันตามปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอาหาร หรือค่า a_w (รูปที่ 1.5)

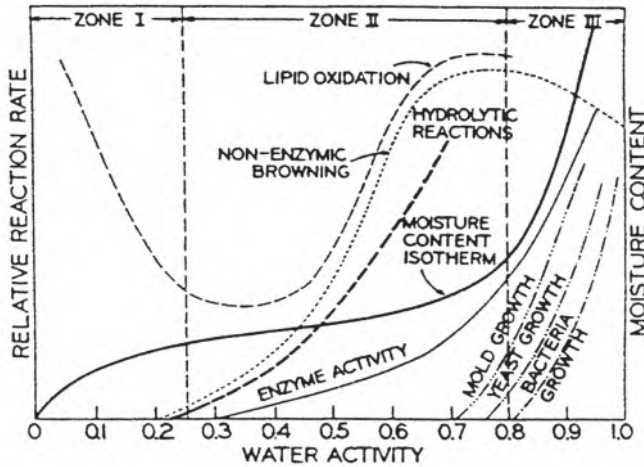
Zone I (A) ของ isotherm เส้นกราฟค่อนข้างชัน สอดคล้องกับ monomolecular layer ของน้ำ ซึ่งเป็นน้ำที่เกาะอยู่กับสารประกอบในอาหารอย่างเหนียวแน่น และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0-0.25 หรือ 0.3

Zone II (B) เส้นกราฟค่อนข้างราบ สอดคล้อง capillary water ที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งเป็นน้ำที่กำจัดออกได้แต่ค่อนข้างยาก ถ้าปริมาณน้ำส่วนนี้ลดลงจะทำให้ค่า a_w ลดลง และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในอาหารได้ด้วย ปริมาณความชื้นจะลดลงเหลือประมาณ 3-7 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและอุณหภูมิ ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.3-0.8

Zone III (C) เป็นน้ำอิสระที่มีอยู่ในเนื้อเยื่ออาหารทั้งจากพืชและสัตว์ สามารถกำจัดออกได้โดยง่าย น้ำเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย และถูกใช้สำหรับการเจริญของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี อาหารจะมีน้ำประมาณ 12-25 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า a_w มากกว่า 0.8-1.0 (รูปที่ 1.8)



รูปที่ 1.7 Sorption isotherm ของอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลหรือเกลือสูง และมี capillary adsorption ต่ำ
ที่มา: เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1



รูปที่ 1.8 อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหาร และการเจริญของจุลินทรีย์ที่ผันแปรตามค่า a_w ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ที่มา: เอกสารอ้างอิงหมายเลข 3

ความสัมพันธ์ระหว่าง a_w กับอัตราเร็วของปฏิกิริยาทางเคมี^{1,2,3,7}

a_w มีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาทางเคมีหลายชนิดที่เกิดขึ้นในอาหาร และอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งจะสัมพันธ์กับชนิดของน้ำในอาหาร ดังแสดงในรูปที่ 1.8 และตารางที่ 1.5

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหารซึ่งเป็นเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ จะเป็นปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะไม่เกิดขึ้นในอาหารที่มีน้ำชนิด monolayer water ซึ่งมีค่า a_w ระหว่าง 0-0.2 รวมทั้งจุลินทรีย์ต่างๆ ก็ไม่สามารถเจริญได้ จึงทำให้อาหารมีความคงตัวสูงและเก็บรักษาได้นาน

ตารางที่ 1.5 อัตราเร็วของปฏิกิริยาและการเจริญของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในอาหารตามชนิดของน้ำหรือค่า a_w ที่มีอยู่ในอาหาร

ปฏิกิริยาและการเจริญของจุลินทรีย์	Monolayer water a_w 0-0.3	Capillary water a_w 0.3-0.8	Loosely bound water a_w 0.8-1.0
Enzymatic activity	0	ต่ำ	สูง
Nonenzymatic browning	0	เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว	สูง
การไฮโดรไลซิส	0	เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว	สูง
ลิวติฟิเคชัน	สูง	เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว	สูง
การเจริญของรา	0	ต่ำ*	สูง
การเจริญของยีสต์	0	ต่ำ*	สูง
การเจริญของแบคทีเรีย	0	0	สูง

*การเจริญของราและยีสต์จะเริ่มเมื่อมีค่า a_w ประมาณ 0.7

ที่มา: เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1

ดังนั้นการลดปริมาณน้ำในอาหารให้เหลือน้อยที่สุด หรือลดค่า a_w ให้ต่ำที่สุดจึงเป็นวิธีการถนอมอาหารให้เก็บรักษาได้นาน กระบวนการที่ใช้ลดปริมาณน้ำและ a_w เช่น การอบแห้งและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (non-enzymatic browning หรือ Maillard reaction) จะไม่เกิดขึ้นเมื่อ a_w มีค่าต่ำกว่า 0.25 ซึ่งตรงกันข้ามกับอัตราเร็วของปฏิกิริยาลิวติฟิเคชัน จะเริ่มสูงขึ้นเมื่อ a_w มีค่าอยู่ในช่วง 0.3-0.4 และจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและถึงจุดสูงสุดเมื่อ a_w เป็น 0.8 (รูปที่ 1.8) เพราะความชื้นหรือปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นช่วยทำให้เอนไซม์และซับสเตรตเคลื่อนย้ายได้ง่าย ดังนั้น a_w จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณภาพ อายุการเก็บรักษา และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

อาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำน้อยเป็น monolayer water เมื่อได้รับความชื้นเพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนเป็น multilayer adsorption และถูกดูดซับเข้าไปในรูเล็กๆ และช่องว่าง capillary ทำให้เกิดการละลายของตัวถูกละลายได้ น้ำจะถูกจับอยู่ในอาหารโดยทางกลทำให้อาหารมีค่า a_w เพิ่มขึ้น

อาหารประเภทที่มีความชื้นปานกลาง (intermediate-moisture food, IMF) จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากในอาหารมีปริมาณความชื้นมากพอจนทำให้ขบวนการของปฏิกิริยาละลายได้ทั้งหมด แต่ถ้าความชื้นเพิ่มมากขึ้นหรือค่า a_w เพิ่มสูงขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาอาจจะลดลงได้ เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นทำให้สารละลายขบวนการเจือจางลง

ผลของ a_w ต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันค่อนข้างซับซ้อน อย่างไรก็ตาม การออกซิเดชันของลพิดจะลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นเพราะลพิดไม่ละลายในน้ำ

ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้ง เมื่อมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.85 เช่น เอนไซม์อะไมเลส ฟีนอลออกซิเดส และเพอร์ออกซิเดส แต่เอนไซม์ลิเพสสามารถทำงานเร่งปฏิกิริยาได้ ถึงแม้ a_w จะลดต่ำลงเป็น 0.3 ก็ตาม น้ำมันสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ที่ a_w ต่ำประมาณ 0.15 ขณะที่ไขมันถูกไฮโดรไลซ์ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

สำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ ก็เป็นปฏิกิริยาสำคัญที่มีผลทำให้เกิดการเน่าเสียของอาหารได้ และปฏิกิริยาจะเกิดสูงสุดในช่วง a_w ประมาณ 0.6-0.8 เช่น ปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในนมผงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า a_w สูงขึ้น และมีจุดสูงสุดเมื่อ a_w มีค่า 0.65 หลังจากนั้นถึงแม้ค่า a_w จะเพิ่มขึ้น แต่ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลก็จะลดลง ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในนมผงและอาหารที่มีโปรตีนจะมีผลทำให้สูญเสียกรดแอมิโนไลซีน ซึ่งเป็นกรดแอมิโนจำเป็นต่อร่างกาย จึงทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่าง a_w กับอัตราการเน่าเสียของอาหาร^{1,2}

a_w เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพและการเน่าเสียของอาหาร เพราะความชื้นในอาหารและค่า a_w จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีหรือปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์อย่างช้าๆ และมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้น ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้อาหารเน่าเสีย ดังนั้นการลดปริมาณน้ำในอาหารให้น้อยลงเพื่อทำให้ค่า a_w ลดต่ำลง จึงเป็นการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี วิธีการลดปริมาณน้ำอาจใช้วิธีการทำแห้งแบบต่างๆ หรือการเติมตัวถูกละลายลงไป เช่น การเติมน้ำตาลลงในแยม หรือผลไม้แช่อิ่ม หรือการเติมเกลือลงไปในผักดอง เป็นต้น

จุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเมื่ออาหาร มีค่า a_w 0.6 หรือต่ำกว่า จุลินทรีย์ประเภทราจะหยุดการเจริญเมื่อ a_w มีค่า 0.7 หรือต่ำกว่า และยีสต์จะเริ่มเจริญได้เมื่ออาหารมี a_w อยู่ใน ช่วง 0.7-0.8 ส่วนแบคทีเรียจะเริ่มเจริญเมื่อ a_w มีค่ามากกว่า 0.8 (รูปที่ 1.8)

ตัวอย่างค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น และ a_w ในอาหารมีดังนี้

อาหาร	% ความชื้น	a_w
น้ำแข็ง (0 °ซ.)	100	1.00*
เนื้อสด	70	0.985
ขนมปัง	40	0.96
น้ำแข็ง (-10 °ซ.)	100	0.91*
มาร์มาเลด	35	0.86
น้ำแข็ง (-20 °ซ.)	100	0.82*
แป้งข้าวสาลี	14.5	0.72
น้ำแข็ง (-50 °ซ.)	100	0.62*
ลูกเกด	27	0.60
มะกะโรนี	10	0.45
ผงโกโก้		0.40
ลูกอม (boiled sweets)	3.0	0.30
บิสกิต	5.0	0.20
นมผง	3.5	0.11
มันฝรั่งทอด (crisps)	1.5	0.08

*vapour pressure ของน้ำแข็ง/vapour pressure ของน้ำ

หมายเหตุ อาหารที่มีความชื้นสูงต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่ช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้น อาหารที่มีความชื้นต่ำมากต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่ช่วยป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าไปได้

เอกสารอ้างอิง

1. DeMAN, J.M. (1990). *Principles of Food Chemistry*. 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 1-35.
2. FENNEMA, O.R. (1996). Water and Ice. In *Food Chemistry*. 3rd ed. (FENNEMA, O.R. ed.) Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 17-94.
3. FENNEMA, O.R. (1976). Water and Ice. In *Principles of Food Science. part 1: Food Chemistry*. (FENNEMA, O.R. ed.) Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 13-39.
4. MURRAY, R.K., GRANNER, D.K., MAYES, P.A. and RODWELL, V.W. (1990). *Harper's Biochemistry*. 22nd ed. Prentice-Hall International, Inc., pp. 1-97.
5. AURAND, L.W. and WOODS, A.E. (1973). *Food Chemistry*. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, pp. 1-5.
6. GAMAN, P.M. and SHERRINGTON, K.B. (1990). *The Science of Food*. 3rd ed., Pergamon Press, Oxford, pp. 113-115.
7. CHINACHOTI, P. (2539). *Water Activity*. เอกสารการสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง Water Activity and Functional Food Ingredients for Health Foods. 13-18 ธันวาคม ณ โรงแรมโซลทวินทาวเวอร์, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-7.
8. TROLLER, J.A. and CHRISTIAN, J.H.B. (1978). *Water Activity and Food*. Academic Press, New York, 236 pp.

บทที่ 2

กรด ต่าง และเกลือ

อาหารทุกชนิดประกอบด้วยน้ำ และส่วนที่เป็นของแข็งที่ละลายและกระจายตัวอยู่ในน้ำ ซึ่งมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สำหรับสารอนินทรีย์มีทั้งที่เป็นกรด ต่าง และเกลือ ซึ่งละลายอยู่ในน้ำเป็นสารละลายแท้ ดังนั้นการเข้าใจถึงสมบัติของสารละลายกรด ต่าง และเกลือ จะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในอาหารได้ดียิ่งขึ้น

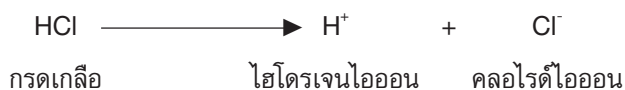
สารละลายใดๆ จะมีสมบัติเป็นกรดหรือเป็นด่าง ขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวถูกละลายเมื่อแพร่กระจายตัวอยู่ในน้ำหรือตัวทำละลาย

น้ำบริสุทธิ์มีสมบัติเป็นกลาง มีจำนวนไฮโดรเจนไอออน (H^+) เท่ากับจำนวนไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) เมื่อมีสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ละลายอยู่ในน้ำ จะทำให้อัตราส่วนของไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนเปลี่ยนไป ถ้าสารละลายใดมีจำนวนไฮโดรเจนไอออนมากกว่าจำนวนไฮดรอกซิลไอออน สารละลายนั้นจะมีสมบัติเป็นกรด และถ้ามีจำนวนไฮดรอกซิลไอออนมากกว่าไฮโดรเจนไอออน สารละลายนั้นจะมีสมบัติเป็นด่าง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด จะเป็นตัวให้ H^+ หรือ proton donor และสารละลายที่มีสมบัติเป็นด่าง จะเป็นตัวให้ OH^- หรือรับ H^+ คือ เป็น proton acceptor

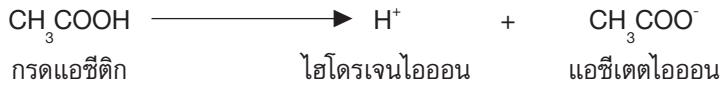
กรด^{1,2}

กรด คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน กรดที่แตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้อย่างสมบูรณ์ เรียกว่า กรดแก่ (strong acid) และกรดที่แตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้เพียงบางส่วนเรียกว่า กรดอ่อน (weak acid) อย่างไรก็ตาม กรดทั้งสองชนิดนี้ที่ความเข้มข้นเดียวกัน จะมีค่าปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity หรือ titratable acidity) เท่ากัน

ตัวอย่างของกรดแก่ เช่น HCl , HNO_3 และ H_2SO_4



ตัวอย่างของกรดอ่อน เช่น H_2CO_3 , H_3PO_4 และ CH_3COOH



สารละลายกรดแอซติกแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้เพียง 1.3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

การวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนว่ามีมากน้อยเท่าใดทำได้โดยการวัดค่าพีเอชของสารละลายนั้น

ดังนั้นค่าพีเอช คือ ค่าความเป็นกรด หรือความเป็นด่างของสารละลายใดๆ ซึ่งจะผันแปรตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในสารละลายนั้นๆ

$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ เมื่อ $[\text{H}^+]$ คือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน

เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชจะลดลง

การจำแนกชนิดของกรด กรดสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. กรดอินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นกรดชนิดกรดแก่ เป็นสารเคมีสังเคราะห์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ และกรดแก่บางชนิดพบได้บ้างในร่างกาย เช่น กรดไฮโดรคลอริกหรือกรดเกลือ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยในกระเพาะอาหารที่หลั่งออกมาจากเซลล์ของเยื่อบุผนังกระเพาะอาหาร

ตัวอย่างของกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดแก่ เช่น

กรดไฮโดรคลอริกหรือกรดเกลือ HCl

กรดซัลฟิวริกหรือกรดกำมะถัน H_2SO_4

กรดไนตริก HNO_3

2. กรดอินทรีย์ เป็นกรดชนิดกรดอ่อนที่พบในอาหารและในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ตัวอย่างของกรดอินทรีย์ที่พบในอาหารดังแสดงในตารางที่ 2.1

สมบัติของกรด

1. กรดมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึงต่ำกว่า 7 และเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง

2. กรดมีรสเปรี้ยว เช่น กรดซิตริก ทำให้เกิดรสเปรี้ยวในน้ำมะนาว

3. กรดทำให้เกิดการกัดกร่อนแก่ผิวหนัง เลื้อผ้า และโลหะบางชนิดได้ เช่น กรดกำมะถัน และกรดเกลือ

4. กรดจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอเนต หรือไฮโดรเจนคาร์บอเนตให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสมบัติของผงฟู (baking powder)

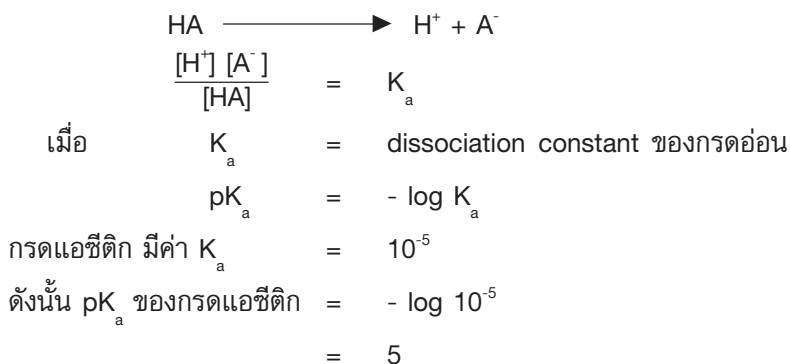
ตารางที่ 2.1 กรดอินทรีย์บางชนิดที่พบในอาหาร

ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์และสูตรทางเคมี	อาหารที่พบมาก
กรดแอสซิติค	Ethanoic acid (CH ₃ COOH)	น้ำส้มสายชู
กรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี)	Ascorbic acid (C ₆ H ₁₂ O ₆)	ผักและผลไม้สดทุกชนิด
กรดเบนโซอิก	Benzoic acid (C ₆ H ₅ COOH)	สารกันบูด นิยมใช้กับน้ำผลไม้
กรดซิตริก	Hydroxypropane-1,2,3-tricarboxylic acid	ผลไม้ตระกูลส้ม
กรดแล็กติก	2-Hydroxypropanoic acid	นมเปรี้ยว โยเกิร์ต อาหารหมักดอง
กรดมาลิก	2-Hydroxybutanedioic acid	แอปเปิล เชอร์รี่
กรดออกซาลิก	Ethanedioic acid	ผักโขม (spinach)
กรดทาร์ทาริก	2,3-Dihydroxybutanedioic acid	องุ่น มะขาม และเป็นส่วนผสมของผงฟู

ที่มา : เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2

Dissociation Constant ของกรดอ่อน³

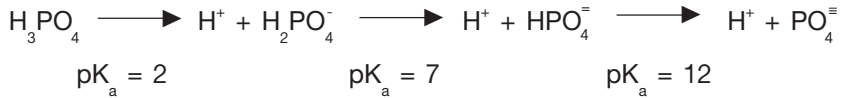
กรดอ่อนเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้เพียงบางส่วนเท่านั้น สมมุติให้ HA เป็นตัวแทนของกรดอ่อน เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออน ดังนี้



pK_a ของกรดแอสซิติค มีค่าเป็น 5 หมายถึง กรดแอสซิติค 1 โมล เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนเท่ากับ 10^{-5} โมล

กรดอ่อนที่มีค่า K_a สูง จะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้มากกว่ากรดอ่อนที่มีค่า K_a ต่ำ และกรดอ่อนที่มีค่า K_a ต่ำจะมีค่า pK_a สูง กรดอ่อนบางชนิดสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน

ได้หลายไอออน เช่น กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) จะทำให้มีค่า pK_a หลายค่าด้วย ดังสมการ



ค่า pK_a ของกรดอ่อนชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า pH และ pK_a ทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned} K_a &= \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \\ [\text{H}^+] &= \frac{K_a[\text{HA}]}{[\text{A}^-]} \\ \log [\text{H}^+] &= \log K_a + \log [\text{HA}] - \log [\text{A}^-] \\ -\log [\text{H}^+] &= -\log K_a - \log [\text{HA}] + \log [\text{A}^-] \\ \text{pH} &= \text{pK}_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \end{aligned}$$

เมื่อสารละลายกรดอ่อนถูกทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายต่าง จนความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดอ่อนลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง นั่นคือ เกลือที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นครึ่งหนึ่ง เท่ากับความเข้มข้นของกรดอ่อนที่ลดลงด้วย ดังนั้น $[\text{HA}] = [\text{A}^-]$ จุดนี้เรียกว่า half neutralization ค่าพีเอชของสารละลายจะเท่ากับค่า pK_a ของกรดอ่อนนั้น

ต่าง²

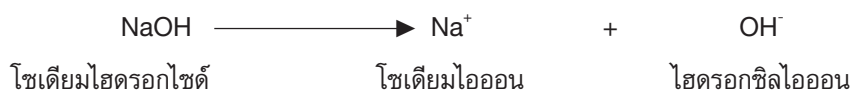
ต่าง คือ สารที่ละลายในน้ำแล้วแตกตัวให้หมู่ไฮดรอกซิลไอออน ได้แก่ สารพวกออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ของโลหะ ไฮดรอกไซด์ของ alkaline metal จะให้ต่างแก่ และความแรงของต่าง (strength) จะเพิ่มขึ้นเมื่อ alkaline metal มีขนาดใหญ่ขึ้น ความแรงของต่างแต่ละชนิดเรียงลำดับได้ดังนี้ $\text{KOH} > \text{NaOH} > \text{Ca}(\text{OH})_2 > \text{Mg}(\text{OH})_2 > \text{Al}(\text{OH})_3$

ตารางที่ 2.2 ค่า pK_a ของกรดอ่อนบางชนิด

กรดอ่อน	สูตร	ค่า pK _a
กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid)	H ₃ PO ₄	pK _{a1} 2.0
กรดซิตริก (Citric acid)	C ₃ H ₄ (OH)(COOH) ₃	pK _{a1} 3.1
กรดฟอร์มิก (Formic acid)	HCOOH	3.8
กรดเบนโซอิก (Benzoic acid)	C ₆ H ₅ COOH	4.2
กรดแอสिटิก (Acetic acid)	CH ₃ COOH	4.7
กรดซิตริก (Citric acid)	C ₃ H ₄ (OH)(COOH) ₃	pK _{a2} 4.7
กรดคาร์บอนิก (Carbonic acid)	H ₂ CO ₃	pK _{a1} 6.3
กรดซิตริก (Citric acid)	C ₃ H ₄ (OH)(COOH) ₃	pK _{a3} 6.4
กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid)	H ₃ PO ₄	pK _{a2} 6.7
Tris(hydroxymethyl)-aminomethane		8.1
กรดบอริก (Boric acid)	H ₃ BO ₃	9.2
กรดคาร์บอนิก (Carbonic acid)	H ₂ CO ₃	pK _{a2} 10.4
กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid)	H ₃ PO ₄	pK _{a3} 12.4

ที่มา : เอกสารอ้างอิงหมายเลข 3

ดังนั้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงเป็นด่างแข็งแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์



สำหรับด่างอ่อน เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

สมบัติของด่าง

1. ด่างมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงมากกว่า 7 ขึ้นไปถึง 14 และสารละลายด่างจะเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน

2. ต่างมีรสขม มีอาหารเพียงบางชนิดเท่านั้นที่มีสมบัติเป็นด่าง
3. สารละลายต่างเมื่อสัมผัสจะสิ้นคล้ายสบู่ และสารละลายสบู่ในน้ำมีสมบัติเป็นด่าง
4. สารละลายต่างเข้มข้นมีสมบัติกัดกร่อนได้

การใช้ประโยชน์ของต่างในอุตสาหกรรมดังแสดงในตารางที่ 2.3

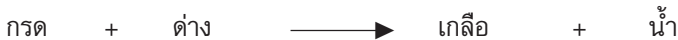
ตารางที่ 2.3 ต่างที่ใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรม

ชื่อทางเคมี	ชื่อสามัญ	สูตร	ประโยชน์
แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	-	NH_4OH	cleaning agents
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	Slaked lime	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	water softener และใช้สกัด เจลาตินออกจากกระดูกและหนังสัตว์
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	Caustic potash	KOH	ผลิตสบู่
โซเดียมไฮดรอกไซด์	Caustic soda	NaOH	ผลิตสบู่

ที่มา : เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2

การทำให้เป็นกลาง² (Neutralization)

การทำให้สารละลายเป็นกลาง หมายถึง การทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดและด่าง ได้สารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่เป็นเกลือและน้ำ โดยไฮโดรเจนไอออนที่แตกตัวออกมาจากรดจะรวมกับไฮดรอกซิลไอออนที่แตกตัวออกมาจากด่างได้เป็นน้ำดังสมการ



ตัวอย่างเช่น



นั่นคือ ในสารละลายที่เป็นกลาง จะไม่มีไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนอิสระเหลืออยู่ ทำให้สารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 7

เกลือ²

เกลือเป็นสารประกอบประเภทไอออน (ionic compound) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการทำให้เป็นกลางระหว่างกรดกับด่าง หรือปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับกรด



ตัวอย่างเช่น



ถ้าโมเลกุลของกรดมีไฮโดรเจนไอออนมากกว่าหนึ่งไอออน การทำปฏิกิริยาระหว่างกรดและด่างอาจไม่ถึงจุดที่เป็นกลางได้ ตัวอย่างเช่น



โซเดียมไฮโดรเจนซัลเฟตที่เกิดขึ้นเรียกว่า acid salt คือ ยังมีสมบัติเป็นกรดเพราะมีไฮโดรเจนไอออนเหลืออยู่และเป็นเกลือด้วย

การเรียกชื่อเกลือจะเรียกชื่อโลหะที่มาจากโมเลกุลของด่างก่อน แล้วตามหลังด้วยชื่อของกรดที่มีค่าลงท้ายเปลี่ยนไป เช่น เกลือโซเดียมของกรดไฮโดรคลอริก เรียกว่า โซเดียมคลอไรด์ ดังนั้นจึงเรียกเกลือของกรดไฮโดรคลอริกว่า คลอไรด์ เกลือของกรดไนตริก เรียกว่า ไนเตรต เกลือของกรดซัลฟิวริก เรียกว่า ซัลเฟต เกลือของกรดแอสติค เรียกว่า แอซีเตต และเกลือของกรดซิตรีค เรียกว่า ซิเตรต เป็นต้น

สมบัติของเกลือ²

1. เกลือมีจุดหลอมเหลวสูง
2. สามารถตกผลึกได้
3. เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาการทำให้เป็นกลาง เมื่อละลายน้ำ สารละลายที่ได้จะมีสมบัติเป็นกลาง คือ มีค่าพีเอช เป็น 7

สำหรับเกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างด่างแก่กับกรดอ่อน เมื่อละลายน้ำ สารละลายเกลือที่ได้จะมีสมบัติเป็นด่าง เช่น โซเดียมคาร์บอเนตเป็นเกลือที่เกิดจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นด่างแก่กับกรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอ่อน ทำให้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตในน้ำมีสมบัติเป็นด่าง

4. ความสามารถในการละลายของเกลือในตัวทำละลายจะแตกต่างกัน เกลือที่ละลายได้ดีในน้ำจะเป็นเกลือของโซเดียมและโพแทสเซียม แต่เกลือของแคลเซียมไม่ละลายในน้ำหรือละลายได้เพียงเล็กน้อย

ตัวอย่างของเกลือที่ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ประโยชน์ของเกลือบางชนิดในอุตสาหกรรมอาหาร

เกลือของกรดอินทรีย์	สูตร	การใช้ประโยชน์
โมโนโซเดียมกลูตาเมต (MSG)		สารเพิ่มรสชาติอาหาร
โพแทสเซียมไฮโดรเจนทาร์เทรต (cream of tartar)		ผงฟู
แอมโมเนียมคาร์บอเนต	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	สารเพิ่มปริมาตร (raising agent)
แคลเซียมคาร์บอเนต (ขอลัก)	CaCO_3	ใช้เติมในแป้งเพื่อเพิ่มแคลเซียม
โพแทสเซียมโบรเมต	KBrO_3	ปรับปรุงคุณภาพแป้ง
โพแทสเซียมคลอไรด์	KCl	ใช้แทนเกลือบางส่วนเพื่อลดปริมาณโซเดียม
โพแทสเซียมไอโอไดด์	KI	เพิ่มปริมาณไอโอดีนในเกลือแกง
โพแทสเซียมไนเตรต (saltpetre)	KNO_3	ถนอมรักษาสลัดกัณฑ์เนื้อ
โซเดียมคาร์บอเนต (washing soda)	Na_2CO_3	ทำให้น้ำอ่อน (water softener)
โซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง)	NaCl	สารให้รสชาติและช่วยถนอมรักษาอาหาร
โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (baking soda)	NaHCO_3	สารเพิ่มปริมาตร
โซเดียมไฮโปคลอไรด์	NaOCl	ผงฟอกขาวและสารทำลายจุลินทรีย์
โซเดียมเมแทโบซัลไฟต์ (Campden tablets)	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	ถนอมรักษาสลัดกัณฑ์ผักและผลไม้
โซเดียมไนเตรต (Chile saltpetre)	NaNO_3	ถนอมรักษาสลัดกัณฑ์เนื้อ
โซเดียมซัลไฟต์	Na_2SO_3	ถนอมรักษาสลัดกัณฑ์ผักและผลไม้

ที่มา : เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2

ผงฟู (Baking powders)²

ผงฟูเป็นส่วนผสมของเกลืออนินทรีย์ที่สลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเติมน้ำลงไปและได้รับความร้อน เช่น นำไปอบ หรือนึ่ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีปริมาตรเพิ่มขึ้น