บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาหารประเภทผักและผลไม้

ผักส่วนใหญ่จะมีพลังงานและโปรตีนต่ำ ในผักไม่มีวิตามินเอ แต่มีโปรวิตามินเอ เช่น แคโรทีน ซึ่งมีสีส้มเข้ม เมื่อรับประทานเข้าไปจะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอที่ลำไส้เล็ก โปรวิตามินเอ มีมากในผักใบเขียว ผักสีส้มหรือแดง วิตามินซีมีมากในผักใบเขียว พริกหยวก มะรุม ฯลฯ นอกจากวิตามินเอและซีแล้วผักส่วนใหญ่จะมีวิตามินบี1 และไนอะซินน้อย ผักใบเขียวยังให้แคลเซียมและเหล็กแต่ผักใบเขียวบางชนิด เช่น ผักโขม และใบพลู มีกรดออกซาลิค เมื่อรวมตัวกับแคลเซียมแล้วจะทำให้แคลเซียมไม่ถูกดูดซึม ผักส่วนมากนั้นไม่มีโปรตีนและไขมัน คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในผักได้แก่ แป้ง กลูโคส เซลลูโลส และสารประกอบจำพวกเพคติน เมื่อร่างกายได้รับเซลลูโลสเข้าไปแล้วจะไม่สามารถย่อยได้ แต่จะถูกขับถ่ายออกมาเป็นกากอาหาร ช่วยป้องกันโรคท้องผูก ผักมีน้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญ ผักใดที่มีน้ำมากจะมีคาร์โบไฮเดรตน้อย ผักใบเขียวที่มีเซลลูโลสมากก็ให้พลังงานต่ำ ทำให้สามารถบริโภคผักใบเขียวได้ไม่จำกัดปริมาณ (เกศราภรณ์ มนชัยภูมิวัฒน์, 2545)

ความต้องการของผู้บริโภค

ผักและผลไม้สดนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยอีกประเภทหนึ่งที่นำเงินตราเข้าประเทศปีละหลายพันล้านบาททั้งในรูปของผักและผลไม้สดแช่เย็นแช่แข็ง และสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรผู้เพาะปลูกและผู้ส่งออกของไทยได้เป็นอย่างดี ด้วยสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศทำให้ประเทศไทยเป็นแหล่งเพาะปลูกผักผลไม้หลากหลายชนิดและเป็นที่นิยมบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ อาทิ ญี่ปุ่น สหภาพยุโรป จีน และฮ่องกง ดังนั้น การเพาะปลูกจึงไม่ได้มุ่งเพียงเพื่อการบริโภคภายในประเทศเท่านั้น แต่ยังมุ่งเพื่อการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศด้วย อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าผักและผลไม้สดของไทยจะมีมูลค่าการส่งออกมากในแต่ละปีเมื่อเทียบกับสินค้าอุตสาหกรรม แต่มักประสบปัญหาในกระบวนการผลิตและการส่งออกหลายประการ อาทิ ปัญหาด้านภาษี ปัญหาสินค้าไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ปัญหามาตรการกีดกันทางการค้า ปัญหาด้านสุขอนามัย ปัญหาการแข่งขัน และปัญหาการขนส่ง เป็นต้น (สิรินาฏ พรศิริประทาน, ม.ป.ป.)

จากภาพรวมการส่งออกผักสดแช่เย็นแช่แข็งไปยังตลาดโลก พบว่า มูลค่าการส่งออกสินค้าดังกล่าวของไทยไปยังตลาดโลกมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2533 แต่การขยายตัวมีอัตราลดลงในปี 2549 ในปี 2553 ไทยส่งออกผักสดแช่เย็นแช่แข็งไปยังตลาดโลกเป็นมูลค่าทั้งสิ้น 6,142.32 ล้านบาท ลดลงจากปี 2552 ที่มีมูลค่ากว่า 6,216 ล้านบาท ตลาดส่งออกผักสดแช่เย็นแช่แข็งสำคัญ 5 อันดับแรกของไทยในปี 2553 ได้แก่ ญี่ปุ่น อังกฤษ มาเลเซีย สหรัฐอเมริกา และไต้หวัน ญี่ปุ่นนับเป็นตลาดส่งออกผักสดแช่เย็นแช่แข็งของไทยอันดับหนึ่งมาโดยตลอดตั้งแต่ปี 2532 โดยในปี 2553 มูลค่าการส่งออกไปยังตลาดญี่ปุ่นอยู่ที่ 2,898.8 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 47.19 ของมูลค่าการส่งออกผักสดแช่เย็นแช่แข็งของไทยทั้งหมด ในปี 2534 ถึงปี 2541 มีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 60 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการส่งออกในรูปผักสดแช่แข็ง หากพิจารณาตลาดสหภาพยุโรป รวม 27 ประเทศ พบว่า ไทยส่งออกสินค้าผักสดแช่เย็นและผัดสดแช่แข็งไปยังตลาดสหภาพยุโรปมากเป็นอันดับสองรองจากตลาดญี่ปุ่นมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2545 โดยในปี 2553 มูลค่าการส่งออกไปยังตลาดสหภาพยุโรปอยู่ที่ 1,086 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วนการส่งออกร้อยละ 17.68 ของมูลค่าการส่งออกผักสดแช่เย็นแช่แข็งทั้งหมด ซึ่งผักสดที่ไทยส่งออกไปยังตลาดสหภาพยุโรป ได้แก่ หน่อไม้ฝรั่ง หน่อไม้สด ข้าวโพดฝักอ่อน กระเจี๊ยบขาว ขึ้นฉ่าย และผักในกลุ่มมะเขือ กลุ่มกะหล่ำ ถั่วฝักยาว รวมทั้งพืชผักสวนครัวกลุ่มกะเพรา โหระพา แมงลักและยี่หร่า กลุ่มพริกหยวก พริกซี้ฟ้าและพริกขี้หนู กลุ่มมะระจีน มะระขี้นก กลุ่มมะเขือเปราะ มะเขือยาว มะเขือม่วง มะเขือเหลือง มะเขือขาว และมะเขือขื่น กลุ่มผักชีฝรั่งและใบผักชี เป็นต้น (สิรินาฎ พรศิริประทาน, ม.ป.ป.)

ปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ อาหารที่ให้ความสะดวกสบาย อาหารที่ปลอดภัย และมีความสนใจที่จะปรุงอาหารเองโดยใช้วัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ (Ohlsson, 1994) กระบวนการถนอมอาหารแบบดั้งเดิมนั้นอาจเปลี่ยนแปลงสภาพของของสดเป็นอย่างมากเนื่องจากมีวิธีการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงในการถนอมอาหาร เช่น การทำอาหารกระป๋อง การทำแห้ง และการแช่เยือกแข็ง จึงเกิดแนวคิดในการถนอมอาหารที่ไม่รุนแรงเกินไป โดยอาศัยเทคนิคหรือวิธีการถนอมอาหารต่าง ๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกับของสดเรียกวิธีนี้ว่าเทคโนโลยีเฮอร์เดิล (Hurdle Technology) (Leistner and Gorris, 1995)

ในปัจจุบันผู้บริโภคจึงหันมานิยมบริโภคผักและผลไม้สดมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดตัดแต่ง (fresh-cut fruit and vegetable products) จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดีเนื่องจากมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ด้านสี กลิ่น

รส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงผักและผลไม้สดมากที่สุด (รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย และนัฏชรี ศรีบูรณศรี, 2548)

การเปลี่ยนแปลงในผักและผลไม้หลังเก็บเกี่ยว

ผลิตผลจากการเกษตรจัดเป็นสิ่งมีชีวิตแม้ว่าจะเก็บเกี่ยวแล้วก็ตาม กระบวนการต่าง ๆ ที่เคยดำเนินอยู่ภายในเนื้อเยื่อของผลิตผลขณะที่ยังติดอยู่บนต้นก็จะยังคงมีต่อไปหลังการเก็บเกี่ยว อาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับชนิดของพืชและสภาพแวดล้อมในขณะการเก็บรักษาและมักจะมีกระบวนการใหม่ ๆ เกิดขึ้นด้วย (จิรา ณ หนองคาย, 2536)

ผักและผลไม้หลังจากเก็บเกี่ยวใหม่จะมีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดี และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเก็บรักษาไว้นานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น โดยเฉพาะสภาพอากาศร้อนจะทำให้เสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว โดยปกติผักและผลไม้ไม่สมควรเก็บรักษาค้างคืน ควรนำไปแช่เย็นในกรณีที่ยังบริโภคเหลือ เนื่องจากก่อนทำการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้จะได้รับน้ำ คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ จากท่อส่งน้ำและอาหาร แต่หลังจากทำการเก็บเกี่ยว อาหารในเซลล์จะค่อย ๆ หมดไปเซลล์ต่าง ๆ ที่ยังมีชีวิตยังมีการหายใจเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและมีการคายน้ำ นอกจากนี้ยังมีกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ เกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลในผลไม้ การเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแป้งในข้าวโพด แต่ว่าไม่มีการสังเคราะห์แสง ซึ่งจะทำให้ผักและผลไม้เกิดการเน่าเสียจากกิจกรรมเหล่านั้นได้ (เกศราภรณ์ มนชัยภูมิวัฒน์, 2545) เช่น

การหายใจ สิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจนไปเผาผลาญอาหารเพื่อดำเนินปฏิกิริยาของการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ผลที่ได้ คือ น้ำ ความร้อน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การหายใจของพืชเป็นต้นเหตุสำคัญที่ทำให้พืชเน่าเสียและมีผลโดยตรงต่อการเก็บรักษา (จิรา ณ หนองคาย, 2536)

การระเหยของน้ำ ผักและผลไม้ที่มีชีวิตอยู่จะคายน้ำสู่บรรยากาศตลอด น้ำระเหยในตอนกลางวันมากกว่าตอนกลางคืน ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงพืชจะระเหยน้ำได้มากกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ถ้าอากาศมีความชื้นสูงน้ำจะระเหยช้า ถ้าอากาศมีความชื้นน้อยน้ำจะระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ในที่ที่ลมพัดผ่านลมจะพัดเอาไอน้ำระเหยออกจากผักและผลไม้ไปที่อื่นทำให้อากาศในที่มีไอน้ำน้อยลงส่งผลให้น้ำระเหยออกจากพืชเรื่อยๆ

การสูญเสียน้ำตาล ผักที่เก็บไว้นาน ๆ จะไม่หวานเท่ากับผักสด ในระหว่างการเก็บรักษาน้ำตาลในผักจะลดน้อยลงเนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจและถูกเปลี่ยนเป็นแป้ง ผักที่มีรอยช้ำจะมีอัตราการสูญเสียน้ำตาลและการหายใจสูงขึ้นและยังทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าไปในผักตามรอยช้ำทำให้ผักเสียเร็ว

การสุกของผลไม้ เมื่อเก็บผักออกมาจากลำต้น ผักก็ยังมีการหายใจโดยใช้ออกซิเจน และคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (เกศราภรณ์ มนชัยภูมิวัฒน์, 2545)

ผลิตภัณฑ์สดตัดแต่ง

กระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา (United States Department of Agriculture; USDA) และองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (United States Food and Drug Administration; USFDA) ได้ให้คำจำกัดความของผลิตภัณฑ์สดตัดแต่ง (fresh-cut product) หรือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำ (minimal process) เป็นผลิตภัณฑ์สดที่ผ่านการตัดแต่งเบื้องต้นขณะที่ยังสดอยู่ ผ่านการล้าง การบรรจุ และการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิตู้เย็น นอกจากนี้องค์กรการผลิตผลิตภัณฑ์สดตัดแต่งนานาชาติ(The International Fresh-cut Produce Associations; IFPA) ได้ให้คำจำกัดความของผลิตภัณฑ์สดตัดแต่งไว้ว่า เป็นผักหรือผลไม้ที่มีการตัดแต่ง และ/หรือปอกเปลือก และ/หรือมีการตัดให้ได้ส่วนที่ใช้งานได้ร้อยละร้อย แล้วบรรจุขายให้กับผู้บริโภค มีคุณค่าทางโภชนาการสะดวกต่อผู้บริโภคและมีกระบวนการเก็บรักษากลิ่นรส ความสดให้คงอยู่ (Beaulieu and Lea, 2003)

ผักและผลไม้สดตัดแต่ง หมายถึง การนำผักหรือผลไม้สด ที่ผ่านการคัดเลือกคุณภาพ มีความแก่-อ่อน ที่เหมาะสมในการบริโภคมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก เจาะแกน ตัดแต่ง ตำหนิ ล้างทำความสะอาด หั่นให้เป็นชิ้นและบรรจุ ซึ่งผักและผลไม้ตัดแต่งนั้นถือเป็นการแปรรูปขั้นต่ำ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ตัดแต่งจึงเป็นผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดบรรจุพร้อมบริโภค อย่างไรก็ตามผักและผลไม้ตัดแต่งยังเป็นเนื้อเยื่อที่มีชีวิตซึ่งยังคงกิจกรรมการมีชีวิตหรือมีปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในเซลล์เหมือนกับผักและผลไม้สด เช่น มีการหายใจอยู่ตลอดเวลา จึงยังคงมีกระบวนการสุกตามธรรมชาติ (Greve and Labavitch, 1991) ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในทางเสื่อมคุณภาพ เช่น การนิ่มขึ้นของเนื้อผลไม้ สีของผักหรือเนื้อผลไม้ที่ซีดลงและมีการเปลี่ยนแปลงของรสชาติ เป็นต้น อย่างไรก็ตามขั้นตอนในกระบวนการตัดแต่ง เช่น การปอกเปลือก การเจาะแกนตัดแต่งและการหั่นเป็นชิ้น มีผลทำให้เนื้อเยื่อพืชเกิดความเสียหายซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ของเซลล์ส่งผลให้เนื้อผลไม้ตัดแต่งเน่าเสียเร็วขึ้น นอกจากนี้อัตราการหายใจที่สูงขึ้นของเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหายจะไปเร่งการสูญเสียน้ำของเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหายจะไปเร่งการสูญเสียน้ำของเนื้อเยื่อซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียความกรอบอันเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญอันหนึ่งของผลไม้

โดยปกติผักและผลไม้ตัดแต่งเกิดการเน่าเสียได้ง่ายกว่าผักและผลไม้ที่มีเปลือกเนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสกับอากาศเพิ่มขึ้นแก๊สออกซิเจนจึงสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเซลล์เพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ชั้นของเปลือกเป็นโครงสร้างของพืชที่จะช่วยป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์และความเสียหายของเนื้อเยื่อที่เกิดจากแรงกระแทกบริเวณส่วนที่เป็นรอยตัดที่เกิดจากการปอกเปลือกการตัดแต่งและการหั่นให้เป็นชิ้นจะเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Brecht, 1995) ดังนั้นในการแปรรูปผักและผลไม้ตัดแต่งจึงต้องมีการจัดการแนวทางในการผลิตที่ดี (Good Manufacturing Practice) อย่างเคร่งครัด และมีการควบคุมอุณหภูมิในการผลิตเพื่อลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนั้นขั้นตอนเหล่านี้ควรจะเป็นกรรมวิธีที่ทำให้เนื้อเยื่อผลไม้เกิดการเสียหายน้อยที่สุด ดังนั้นอุปกรณ์และเทคนิคในการตัดแต่งจึงจำเป็นที่ต้องใช้ใบมีดที่มีความคมมากเพื่อลดความเสียหายเนื่องจากการฉีกขาดของเนื้อเยื่อและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะผิวหน้าของชิ้นผลไม้ตัดแต่งให้คงลักษณะปรากฏที่ดึงดูดผู้บริโภคให้สนใจในตัวผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นคุณลักษณะลำดับต้น ๆ ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ใช้ตัดสินในการยอมรับหรือซื้อผลิตภัณฑ์นอกเหนือไปจากรสชาติเนื้อสัมผัสความสดกรอบของผลิตภัณฑ์ผลไม้ตัดแต่ง

เนื้อเยื่อของพืชที่เกิดการเสียหายหรือ ฉีกขาดจะเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆ มีผลทำให้ผักและผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะและคุณภาพไป โดยทั่วไปผลไม้ตัดแต่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดกว่าผักตัดแต่ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ผลไม้มีการตัดแต่งและรอยตัดมากกว่าผักและเนื้อเยื่อของผลไม้มักจะมีสีที่อ่อนกว่าจึงสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดมากกว่า การเปลี่ยนแปลงของผลไม้ตัดแต่งที่สำคัญได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลที่ผิวและการสูญเสียความกรอบไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคในที่สุด (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) ทั้งนี้ผลไม้ที่ผ่านการตัดแต่งมักมีอายุการเก็บรักษาลดลงจากสัปดาห์เป็นวัน (Ahvenainen, 1996) ปัจจุบันมีการใช้วิธีการต่าง ๆ หลายวิธีเพื่อช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลไม้ตัดแต่ง เช่น การใช้สารเคมี การควบคุมอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการผลิต การแช่ในสารละลายกรดอินทรีย์หรือสารละลายแคลเซียม การใช้สารจากธรรมชาติเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์ การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง และการใช้สารเคลือบเป็นต้น

การปนเปื้อนของผักและผลไม้

ผักและผลไม้มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ตั้งแต่อยู่ในแปลงหรือในสวนอยู่เดิมแล้วจากเชื้อจุลินทรีย์ประจำถิ่นนอกจากนี้ทันทีที่ผักและผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปจำหน่ายยังมีการปนเปื้อนเพิ่มขึ้นจากผู้เกี่ยวข้อง ภาชนะบรรจุ แม้กระทั่งจากผักและผลไม้ด้วยกันเอง เนื่องจากการเก็บเกี่ยวมักนำผลผลิตที่ได้มาใส่ภาชนะบรรจุเดียวกันจนเต็มทำให้ผลผลิตบางชิ้นอาจเกิดการเน่าเสียจากอาการช้ำซึ่งถ้าไม่ได้ทำการคัดออกจะทำให้เกิดการปนเปื้อนส่งทอดไปยังผลผลิตที่สมบูรณ์ นอกจากนี้การบรรจุที่แน่นเกินไป การโยนใส่ภาชนะบรรจุ หรือการทับถมกันมาก ๆ จะทำให้เกิดการช้ำ และส่งผลให้ผลผลิตอ่อนแอต่อการทำลายของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนเข้ามา นอกจากนี้การล้างหรือการพรมน้ำผักและผลไม้ให้สด เช่น การจุ่ม แกว่งน้ำ หรือสเปรย์ซึ่งอาจเป็นการเพิ่มการแพร่กระจายของจุลินทรีย์จากส่วนเสียไปยังส่วนดี และเป็นการเพิ่มความชื้นทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีขึ้น (สุมาลี เหลืองสกุล, 2527) ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยควรจะมีการล้างผักและผลไม้ให้สะอาดหรือมีการใช้สารเคมีกับผลไม้โดยตรง เช่น การชุบ การสเปรย์ลงพื้นผิวบนผลิตภัณฑ์

การชะลอการเน่าเสียของผักผลไม้หลังจากเก็บจากแปลงสวน ควรล้างให้สะอาดและเก็บไว้ในตู้เย็น ถ้าต้องการเก็บถนอมผักผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาจใช้วิธีการแช่แข็ง การให้ความร้อน การทำให้แห้ง หรือการฉายรังสีเป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด (นวพร ล้ำเลิศกุล, 2549) อย่างไรก็ตามการล้างผักด้วยน้ำที่ไม่สะอาดหรือการใช้น้ำแข็งที่มีการปนเปื้อนในการขนส่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Escherichia coli* O157:H7 และ *Salmonella enterica* serovars Typhimurium (Chang and Fang, 2006) หรือแม้แต่ผักที่ผ่านกระบวนการแล้วถ้าไม่ได้ล้างทำความสะอาดก่อนรับประทานก็อาจพบการปนเปื้อนของเชื้อโรคได้เช่นกัน มีรายงานการปนเปื้อนของผักสลัดจากการสำรวจจากซูเปอร์มาร์เก็ตท้องถิ่น เฟรนไชส์ฟาสต์ฟู้ด และภัตตาคารขนาดเล็ก พบว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคในผักสลัด ได้แก่ *Listeria monocytogenes Salmonella* spp. *Escherichia coli* และ *Escherichia coli* O157:H7 ซึ่งอาจมาจากการทำความสะอาดที่ไม่ทั่วถึง รวมไปถึงน้ำแข็งที่ทำการเก็บรักษา (Lin, Fernando, and Wei, 1996)

เชื้อที่มีการปนเปื้อนในผักและผลไม้สด

ผักและผลไม้สดมักติดเชื้อแบคทีเรีย ราและไวรัส โดยเข้าสู่เนื้อเยื่อในขณะที่ผักและผลไม้กำลังเจริญ และในระยะหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อเกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อจะทำให้ติดเชื้อได้ง่าย เนื่องจากจุลินทรีย์มาสามารถเจริญได้ใน แป้ง น้ำตาล โปรตีน และเกลือแร่ที่ละลายน้ำ ซึ่งซึมออกมาจากผักและผลไม้

จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนและเป็นสาเหตุให้ผักและผลไม้เกิดการเน่าเสียนั้นมักติดมาจากดิน ฝุ่นละออง และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ แบคทีเรียที่ติดมาจากดินส่วนใหญ่เป็นชนิดที่ไม่สร้างสปอร์ ผลไม้และผักที่มีน้ำตาลมากมักเน่าเสียเนื่องจากราและยีสต์ ส่วนผักที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบเหมาะสำหรับแบคมีเรียสร้างกรด (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ, 2544) แบคทีเรียที่ก่อโรคนั้นสามารถพบได้ทั่วไปในผักและผลไม้ โดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียที่อยู่บนใบนั้นจะอยู่ในส่วนที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของปากใบ ส่วนฐานของไตรโครม (trichomes) ชั้นของอิพิเดอมอล (epidermal) และในส่วนของท่อลำเลียง (Beattie and Lindow, 1999) จากการศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของใบกะหล่ำปลีซึ่งยังไม่ได้ทำการล้างพบว่าบริเวณผิวชั้นบนและล่างนั้นมีแบคทีเรียและเศษซากอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อทำการล้างด้วยน้ำประปานั้นจะสามารถที่จะลดจำนวนของแบคทีเรียและเศษซากออกจากบริเวณผิวหน้าของใบที่ไม่มีการกำบังออกได้ อย่างไรก็ตามยังพบเชื้อแบคทีเรียอยู่เป็นจำนวนมากในชั้นของอิพิเดอมอลและรอบพับต่อ (Adams, Hartley, and Cox, 1989) นอกจากนี้ยังมีรายงานการพบ *Escherichia coli* O157:H7 ในผักและผลไม้ที่บริเวณผิวหน้าของใบกะหล่ำ แครอทหั่น แตงกวา เมลอน กะหล่ำปลีหั่นฝอย (Abdul-Raouf, et al., 1993; Del Rosario and Beuchat, 1995; Gleeson and O'Beirne, 2005; Seo and Frank, 1999) *Salmonella* typhimurium ในเนื้อดิบ ผลิตภัณฑ์นม ผัก และน้ำ (Bopp, et al., 2003; Franz, et al., 2005; Johannessen, et al., 2005; Sivapalasingam, et al., 2004)

Escherichia coli เป็นแบคทีเรียที่ตั้งชื่อตามที่อยู่ คำว่า coli มาจาก colon หมายถึงอยู่ในลำไส้ ฉะนั้น *Escherichia coli* จึงเป็นแบคทีเรียที่พบมากในลำไส้ของคนและสัตว์ และในบางครั้งพบในน้ำใช้และน้ำดื่ม ในสัตว์ทะเลจำพวกหอย นมและอาหารอื่น ๆ จัดเป็นแบคทีเรียที่อยู่ใน Family *Enterobacteriaceae* ในกลุ่ม Coliform bacteria แบคทีเรียชนิดนี้เมื่อออกนอกร่างกายจะมีอายุได้ประมาณ 1 - 2 สัปดาห์เท่านั้น ไม่สามารถมีชีวิตแบบอิสระได้ ดังนั้นถ้าตรวจพบเชื้อ *Escherichia coli* ในที่อื่น ๆ แสดงว่าเกิดจากการปนเปื้อนจากของเสียซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำไปบริโภคเนื่องจากอาจมีจุลินทรีย์ก่อให้เกิดโรคในทางเดินอาหารอื่น ๆ ที่ติดมาจากของเสียปนเปื้อนตามมาด้วย เช่น *Vibrio cholerae* Hepatitis virus เชื้อ *Escherichia coli* ตามปกติเมื่ออยู่ในลำไส้

จะไม่ก่อโรคแต่จะเกิดประโยชน์ให้กับ host โดยช่วยสังเคราะห์วิตามิน B และ K แต่ถ้าอยู่นอกระบบทางเดินอาหารด้วยสาเหตุใดก็ตาม *Escherichia coli* จะสามารถก่อโรคได้ที่อวัยวะนั้น ๆ ซึ่ง *Escherichia coli* เป็นสาเหตุที่พบบ่อยที่สุดของโรคติดต่อที่เกิดจากแบคทีเรียกลุ่ม gram-negative bacilli *Escherichia coli* ก่อให้เกิดโรคดังนี้ คือ โรคติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะ โรคทั่วไป เช่น การติดเชื้อที่บาดแผลทางเดินถุงน้ำดี ติดเชื้อที่ตับ การติดเชื้อที่กระแสเลือด และอุจจาระร่วง (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2539)

Escherichia coli O157:H7 เป็นแบคทีเรียสาเหตุการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษในหลายประเทศทั่วโลก ผู้ติดเชื้อจะมีอาการท้องเสียถ่ายอุจจาระเป็นน้ำ หรืออาการลำไส้ใหญ่อักเสบมีเลือดออก (haemorrhagic colitis, HC) คือปวดเกร็งอย่างรุนแรงในช่องท้อง ถ่ายเป็นเลือดสด ไม่มีไข้หรือมีไข้ต่ำ ผู้ป่วยที่ถ่ายเป็นเลือดสดโดยเฉพาะเด็กเล็กและผู้สูงอายุมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดอาการ haemolytic uremic syndrome (HUS) ตามมา ในผู้สูงอายุอาจเกิด thrombotic thrombocytopaenic purpura (TTP) ร่วมด้วยทำให้เสียชีวิตได้ ผู้ติดเชื้ออาจไม่แสดงอาการของโรคแต่สามารถถ่ายทอดเชื้อให้ผู้อื่นได้ *Escherichia coli* O157:H7 ก่อโรคโดยสร้างชิกาทอกซิน (Shiga toxin) ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนชิกาทอกซินของ *Shigella dysenteriae* type 1 ชิกาทอกซินแบ่งย่อยได้ 2 ชนิด คือ ชิกาทอกซิน 1 (Stx1) และชิกาทอกซิน 2 (Stx2) เรียก *Escherichia coli* ที่สร้างชิกาทอกซินว่า Shiga toxin-producing *E. coli* (STEC) ปัจจุบันพบ STEC มากกว่า 200 เซโรไทป์ (serotypes) แต่บางเซโรไทป์เท่านั้นที่ทำให้เกิดโรคในคนเหมือน *Escherichia coli* O157:H7 เรียกเชื้อกลุ่มนี้ว่า Enterohaemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC) เซโรไทป์ที่เคยมีการระบาดเช่น O26:H-, O111:H- เป็นต้น (อรอนงค์ รัชตราเชนชัย, ม.ป.ป.)

Salmonella เป็นแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคได้เมื่อมีปริมาณมาก พบได้ในลำไส้มนุษย์และสัตว์ อาหารที่พบว่ามักมีการปนเปื้อน คือ เนื้อและเครื่องใน โดยเฉพาะเนื้อไก่ ไข่และนมดิบ การติดเชื้อจะทำให้เกิดอาการภายใน 12 - 36 ชั่วโมง อาการที่พบได้ คือ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องร่วง เป็นไข้ ระยะเวลาที่เป็นอาจเป็นนาน 1 - 8 วัน โดยกลุ่ม Non-Typhoidal Strain ที่ไม่ใช่กลุ่ม Typhoidal มักจะทำให้เกิดการติดเชื้อทางเดินอาหาร โดยจะแสดงอาการประมาณ 1 สัปดาห์ขึ้นไปหลังจากได้รับเชื้อ แต่ละปีในสหรัฐจะมีผู้ป่วยประมาณ 1 ล้าน-4 ล้านรายและพบว่าตายด้วยกลุ่ม Non - Typhoidal ประมาณ 1,000 ราย ในประเทศไทยได้มีการคาดคะเนว่ามีผู้ป่วยติดเชื้อในกลุ่มนี้ 76 - 1,057 รายต่อประชากรแสนคน ซึ่ง *Salmonella* ทุกสายพันธุ์ล้วนก่อให้เกิดโรค Salmonellosis ได้ทั้งสิ้น ยกเว้น *Salmonella* typhi *Salmonella* paratyphi A B และ C ทำให้เกิดโรคไทฟอยด์ (Typhoid) ซึ่งเป็นไข้ที่รุนแรง มักจะติดเชื้อในกระแสเลือดพบในประเทศกำลังพัฒนา

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ส่วนในสหรัฐอเมริกามักไม่ค่อยพบมากนัก มีรายงานประมาณปีละ 400 ราย ซึ่ง 70% จะมาจากกลุ่มคนเดินทาง ส่วนอาการไข้ที่คล้ายกันคือไข้พาราไทฟอยด์ (Paratyphoid) ซึ่งเกิดจาก *Salmonella* paratyphi A ส่วน *Salmonella* paratyphi B และ C ปัจจุบันไม่ค่อยพบในประเทศไทย ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาไข้ไทฟอยด์ยังคงมีการตรวจพบซึ่งจะมีข้อมูลการพบจากตัวอย่างเลือดมากกว่า ตัวอย่างอุจจาระ ซึ่งจะพบในตัวอย่างเลือด ประมาณ 80% ของคนไข้ที่มีอาการในสัปดาห์แรกและเปอร์เซ็นต์จะสูงขึ้นในสัปดาห์ต่อๆ ไป *Salmonella* เป็นเชื้อที่พบได้ทั่วไป ได้แก่ ในสัตว์ปีก สัตว์เลื้อยคลาน สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม รวมทั้งมนุษย์สามารถก่อให้เกิดโรคได้ดีในผู้ที่มีความต้านทานต่ำหรือได้รับเชื้อเข้าสู่ร่างกายเป็นจำนวนมาก สาเหตุทั่วไปของการติดเชื้อเกิดจากการรับประทานอาหารหรือน้ำที่มีเชื้อปะปนเข้าไป (อรุณ บ่างตระกูลนนท์, มปป)

Staphylococcus aureus เป็นแบคทีเรียรูปร่างทรงกลมติดสีแกรมบวก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ไมโครเมตร เรียงตัวเป็นกลุ่ม ๆ ทำให้ดูเหมือนพวงองุ่น แต่จะพบเป็นเซลล์เดี่ยว เป็นคู่และเป็นสายสั้น ๆ (โดยมากไม่เกิน 4 เซลล์) อยู่ปะปนด้วยเสมอ เชื้อนี้ไม่สร้างสปอร์ ส่วนใหญ่ไม่มีแคปซูล ให้ผลบวกในการทดสอบ catalase และในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะสลายน้ำตาลกลูโคสให้กรด เป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคอุจจาระร่วง โดยจะก่อโรคอย่างเฉียบพลัน มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดินอย่างแรงจนอ่อนเพลียมาก ปวดท้องและเป็นตะคริวได้ ส่วนมากไม่มีไข้ในรายรุนแรงอาจช็อกได้แต่ส่วนใหญ่อาการจะดีขึ้นใน 8 - 14 ชั่วโมง การติดเชื้อเกิดจากการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนสารพิษเอนเทอโรทอกซิน (enterotoxin) ของเชื้อ *Staphylococcus aureus* เข้าไป ประมาณร้อยละ 30-50 ของ *Staphylococcus aureus* สร้างสารพิษชนิดนี้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 8 ชนิด ได้แก่ ชนิด A B C1 C2 C3 D E และ H สารพิษนี้มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ทนต่อความร้อนได้สูง โดยอุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที ไม่สามารถที่จะทำลายสารชนิดนี้ได้ อาหารที่มีเชื้อและสารพิษปนเปื้อนอยู่จะไม่มีกลิ่น สี หรือรสผิดปกติไป ผู้ป่วยจะเกิดอาการของอาหารเป็นพิษขึ้นหลังจากรับประทานอาหารที่มีเชื้อปนเปื้อนเข้าไปประมาณ 1 - 6 ชั่วโมง เนื่องจากสารพิษไปออกฤทธิ์ที่เยื่อบุลำไส้เล็ก ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน ปวดท้องและท้องเดิน ส่วนมากไม่มีไข้ ในรายรุนแรงอาจช็อกได้ แต่ส่วนใหญ่อาการจะดีขึ้นใน 8 - 24 ชั่วโมง โรคนี้มีลักษณะพิเศษซึ่งอาจใช้เป็นแนวทางในการวินิจฉัยได้ คือ มีประวัติเป็นพร้อมๆ กันหลายคนและมีระยะฟักตัวสั้น อาการรุนแรงของโรคขึ้นกับจำนวนสารพิษในอาหารที่รับประทานเข้าไป ซึ่งพบมากโดยการรับประทานอาหารหรือดื่มน้ำที่มีเชื้อปนเปื้อน (ประภาวดี ดิษยาธิคม, ม.ป.ป.)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 18 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน 250019
เลขเรียกหนังสือ

จากรายงานการสำรวจของอดิสร เสวตวิวัฒน์ และปรีชา จึงสมานุกุล (2538) ตรวจพบ *Salmonella* และ *Listeria monocytogenes* ในผักที่วางจำหน่ายในตลาดและห้างสรรพสินค้าในเขตกรุงเทพฯ จำนวน 80 ตัวอย่าง จากผักที่นิยมรับประทานสด 6 ชนิด (ต้นหอม ผักกาดหอม สะระแหน่ กะหล่ำปลี ผักชี และโหระพา) ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พบ *Salmonella* จำนวน 7 ตัวอย่าง พบมากที่สุดใน สะระแหน่ รองลงมา คือ โหระพา กะหล่ำปลี และผักกาดหอม ส่วน *Listeria monocytogenes* พบ 3 ตัวอย่างจาก ผักกาดหอม ผักชี และสะระแหน่

Szabo, et al. (2000) ได้รายงานการตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนในผักกาดหั่นและบรรจุขายในถุงพลาสติกในประเทศออสเตรเลีย ซึ่งตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ 10^3-10^9 cfu/g จากจำนวนสุ่มตรวจ 120 ตัวอย่าง ซึ่งในจำนวนที่ตรวจพบนั้นเป็นแบคทีเรียก่อโรคที่สามารถเพิ่มจำนวนได้แม้ว่าเก็บไว้ในตู้เย็นถึง 3 ชนิด คือ *Listeria monocytogenes* พบจาก 3 ตัวอย่าง *Aeromonas hydrophila* พบ 66 ตัวอย่าง และ *Yersinia enterocolitica* 71 ตัวอย่าง

จากสรุปรายงานปัญหาการนำเข้า/ส่งออกสินค้าเกษตรของไทยประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2552 (กรมวิชาการเกษตร, 2552) พบรายงานการแจ้งข้อมูลสินค้าที่มีปัญหาจากประเทศไทย 11 รายการ ซึ่งเป็นปัญหาการตรวจพบ *Salmonella* ในสินค้าการเกษตรถึง 4 รายการ โดยพบในใบบัวบก ผักแพร้ว ใบโหระพา และใบชะอม โดยแจ้งพบจากประเทศเนเธอร์แลนด์ทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีรายงานการแจ้งเตือนของสหภาพยุโรป (EU) พบสินค้าทางการเกษตร-อาหารที่มีปัญหารวมทั้งหมด 294 รายการ ซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับเดือนมกราคมในปีเดียวกัน (เดือนมกราคม 2552 พบ 248 รายการ) แบ่งเป็นสินค้าที่ได้มีการวางขายในท้องตลาดแล้ว 64 รายการ สินค้าที่ยังไม่ได้มีการวางขายในท้องตลาด 84 รายการ และสินค้าที่ถูกควบคุม ณ ด่านนำเข้า 149 รายการ โดยที่ 87 รายการเป็นสินค้าที่มีปัญหาจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์หรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ (รวมถึงการพบปรสิต ซากแมลง มูลสัตว์ อาหารเน่าเสีย อาหารเป็นพิษประเภทต่าง ๆ) ซึ่งส่วนมากเป็นการตรวจพบ *salmonella* พบมากถึง 40 รายการ ถัดมาคืออาหารเน่าเสีย 19 รายการ เชื้อปรสิต 10 รายการ *Listeria monocytogenes* 5 รายการ พบซากสัตว์และแมลง 5 รายการ นอกนั้นเป็นปัญหาการตรวจพบ *Escherichia coli Enterobacteriaceae Bacillus cereus* แบคทีเรียและเชื้อราอื่น ๆ อีก 8 รายการ

จากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคที่หลงเหลือบนผักและผลไม้ ย่อมสามารถส่งผลไปยังผลิตภัณฑ์สดที่แปรรูปต่อไป ซึ่งในจุดนี้จะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเป็นอย่างมากดังนั้นใน

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้จึงจำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรค เพื่อให้อาหารที่ได้มีความปลอดภัย

การควบคุมจุลินทรีย์โดยใช้สารเคมี

การตายของจุลินทรีย์เนื่องมาจากสารเคมี เมื่อนำข้อมูลระหว่างปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตเมื่อได้รับความเข้มข้นของสารเคมีในระดับหนึ่ง ๆ และเวลามาสร้างกราฟบนกระดาษเซมิลอก (semi–log paper) จะทำให้ได้กราฟที่มีลักษณะเช่นเดียวกับการตายของจุลินทรีย์เนื่องมาจากความร้อน โดยเวลาที่สารเคมีสัมผัสกับจุลินทรีย์นั้นเรียกว่า contact time เมื่อเส้นกราฟผ่าน 1 วงจรลอก (1 log cycle) จะทำให้ได้ค่า D ของสารเคมีชนิดหนึ่ง ๆ ซึ่งหมายถึงเวลาที่สารเคมีสัมผัสกับจุลินทรีย์และทำให้จุลินทรีย์นั้นลดจำนวนลงร้อยละ 90 กลุ่มของสารเคมีประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ ยกตัวอย่างเช่น ฮาโลเจน (halogens) กรดอินทรีย์ (organic acids) ด่าง (alkalis) กรดอนินทรีย์ (inorganic acids) โอโซน (ozone) สารปฏิชีวนะ (antibiotics) ยาต้านจุลชีพสังเคราะห์ (synthetic antimicrobial drugs) เป็นต้น

เนื่องจากสารเคมีต่าง ๆ ที่กล่าวมามีความเป็นพิษ (toxicity) ต่อมนุษย์แตกต่างกัน จึงไม่สามารถนำมาใช้ในอาหารหรืออุตสาหกรรมได้ทั้งหมด สารเคมีที่นำมาใช้กับอาหารนั้นจะต้องไม่เป็นพิษในปริมาณที่ใช้ได้ รวมทั้งไม่ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติเนื่องจากตัวสารเองหรือเมื่อทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหาร เช่น คลอรีนที่ทำปฏิกิริยากับแทนนินในเบียร์ทำให้เกิดกลิ่นของฟีนอลที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (ธีรพร กงบังเกิด, 2546)

กลไกการทำลายจุลินทรีย์ของกรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์ เช่น กรดมาลิก กรดซิตริกและทาร์ทาริก มักพบในผลไม้ตามธรรมชาติ และสามารถยับยั้งแบคทีเรียส่วนใหญ่ รวมทั้งกรดแลกติกและอะซิติก ที่สร้างจากจุลินทรีย์บางชนิดจะให้ผลเช่นเดียวกัน กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) สร้างโดย *Propionibacterium* spp. ที่มีในเนยแข็งและกรดเบนโซอิก (benzoic acid) พบในแครนเบอรี่ (cranberries) จุลินทรีย์ต่าง ๆ จะดูดซึมกรดเหล่านี้เข้าไปในเซลล์ในรูปของกรดที่ไม่แตกตัว และเข้าไปแตกตัวภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้ค่า pH ภายในเซลล์ลดลงและส่งผลให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox) จากการพยายามรักษาระดับ pH ไว้ให้เป็นกลางเพื่อความอยู่รอด เซลล์จุลินทรีย์จะทำการขับไล่โปรตอนออกจากเซลล์โดยแบ่งพลังงานบางส่วนเพื่อจัดการโปรตอน ซึ่งทำให้เซลล์เสียพลังงานไปมาก (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549; Hunter and Segel, 1973) นอกจากนี้เมื่อระบบถูกกระตุ้นต่อเนื่องสันนิษฐานว่าระบบการสร้าง Adenosine triphosphate (ATP) และการลำเลียงเซลล์ด้วยวิธี Active transport จะถูกส่งผลกระทบไปด้วยซึ่งจะส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Eklund, 1983;

Eklund, 1985) และส่งผลต่อกระบวนการเมเทบอลิซึมทำให้เซลล์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ สำหรับปริมาณการแตกตัวของกรดชนิดต่างๆ จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น ดังนั้นกรดต่าง ๆ จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งทำลายจุลินทรีย์ได้ดีที่สุดในสภาพที่เป็นกรด ซึ่งจะมีปริมาณกรดที่ไม่แตกตัวอยู่มาก กรดอินทรีย์เหล่านี้มักใช้ในการควบคุมยีสต์และเชื้อรา เช่น กรด โพรพิโอนิก นอกจากนี้ยังมีการใช้สำหรับป้องกันการเกิดเมือก (ropiness) ในขนมปังที่เกิดจาก *Bacillus subtilis* (ธีรพร กงบังเกิด, 2546)

กรดอินทรีย์เป็นกรดที่พบจากอาหารทั่วไปในธรรมชาติ ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายในการใช้เป็นสารถนอมอาหาร คุณสมบัติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์นั้นจะมีพื้นฐานจากความสามารถในการลดค่า pH ในอาหาร ซึ่งเมื่อ pH มีค่าต่ำว่า 4.0 กรดจะจำกัดการเจริญเติบโตของเชื้อ โดยกรดจะทำการเจาะเข้าไปในชั้นของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ในรูปของกรดที่ไม่แตกตัว เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำให้เซลล์ตายโดยทำให้เกิดการแยกตัวและเปลี่ยนสภาพให้เป็นกรดของไซโตพลาสซึม กลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของกรดอินทรีย์นั้นจะเป็นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ความสามารถในการเลือกผ่าน การขนส่งแร่ธาตุ สารอาหารและกระบวนการเผาผลาญพลังงาน (Samelis, Greece and Sofos, 2003) โดยมากแล้วจะเน้นไปที่การทำลายผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้สมบัติการยอมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลงไป มีผลให้องค์ประกอบภายในของเซลล์รั่วไหลออกมา ซึ่งเมื่อเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลายจะมีผลต่อการชะงักการเจริญเติบโตของเซลล์และนำไปสู่การตายของเซลล์ในที่สุด (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ, 2544)

กรดซิตริก (Citric Acid)

Citric acid หรือ กรดมะนาว เป็นกรดที่หาได้ในธรรมชาติจากผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เช่น ส้ม มะนาว เนื่องจากกรดมะนาวนี้มีความสำคัญต่อวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ที่เราพบเห็นกันอยู่มักมีกรดมะนาวเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย เช่น ในวงการอุตสาหกรรมอาหารใช้เป็นส่วนผสมในการทำลูกกวาด ผลไม้เชื่อม เยลลี่ แยม ไวน์ ในวงการอุตสาหกรรมยาใช้ผสมในยาที่มีลักษณะเป็นฟองฟู่เมื่อผสมน้ำดื่ม ในอุตสาหกรรมทำเครื่องสำอาง เช่น พวกครีมนวดผม น้ำยาเซตผม โลชั่น และในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น พวกน้ำยาล้างขัดโลหะ น้ำหมึก สี เป็นต้น (จุไรรัตน์ ดวงเดือน, ม.ป.ป.)

กรดซิตริกมีลักษณะทั่วไป 2 รูปแบบ คือ ชนิดของแข็งที่เป็นกรดเข้มข้นมีลักษณะเกล็ดสีขาวเป็นผงหรือละเอียดและในรูปแบบสารละลาย ค่าความเป็นกรดด่าง 2.31 มีมวลโมเลกุล 192.12 กรดซิตริกช่วยทำให้เกิดรสเปรี้ยว เพิ่มประสิทธิภาพให้สารกันบูด กันหืน เพิ่มความหอม ช่วยในการผสมผสานเข้ากัน หรือแยกกระจายทั่ว ป้องกันกลิ่นเหม็นหืนจากการทอด อาหาร

กระป๋องอนุญาตให้เติมได้ร้อยละ 0.015 National standard (GB 2760-96) ใช้เพิ่มประสิทธิภาพของการฟอกขาวในอัตรา 0.025 กรัมต่อกิโลกรัม สำหรับน้ำมัน สัตว์ เนื้อแห้ง ร้อยละ 0.01 องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติและองค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) ให้ใช้กับซอสมะเขือ ซอสแอปเปิ้ล ข้าวโพดหวาน สับปะรด สลัดผลไม้ อาหารกระป๋อง กฎหมายของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA) CFR 381. 174. 2000 ใช้ในไขมันสัตว์ 0.01% ใช้อย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับสารกันบูด (สุกิจ นววงศ์, 2548)

กรดแลกติก (Lactic Acid)

เป็นของเหลวเข้มข้น ไม่มีสีหรือสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นฉุน เปรี้ยวจัด ผลิตภัณฑ์มีความเข้มข้นอยู่ที่ร้อยละ 50-90 มีมวลโมเลกุล 90.08 กรดแลกติก เป็นสารให้ความเปรี้ยว ใช้ปรับความเป็นกรดด่าง ปรับปรุงคุณภาพแป้ง กรดแลกติกห้ามสัมผัสโดยตรงกับอาหารต้องละลายในตัวทำละลายก่อนการใช้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารให้ความเปรี้ยวและสารกันเสีย องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติและองค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) อนุญาตให้ใช้ได้กับอาหารกระป๋อง เนยเทียม แตงกวาดอง ซุปเนื้อ เครื่องดื่มหรือเพิ่มความหอมของซอสผลิตภัณฑ์โดยให้ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 2.8-3.5 ใช้ 0.4 - 2 กรัมต่อกิโลกรัม (สุกิจ นววงศ์, 2548)

มีรายงานการศึกษาเรื่องความสามารถของกรดอินทรีย์ที่ช่วยลดจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคมาเป็นจำนวนมาก ในปี 1994 Hwang และ Beuchat ได้ทำการศึกษาผลของกรดแลกติกและโซเดียมเบนโซเอทในน้ำล้างไก่เพื่อที่จะลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียในไก่ที่จะทำการผลิต โดยทำการทดสอบกับ *Salmonella Campylobacter jejuni Listeria monocytogenes Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* O157:H7 ที่กำหนดปริมาณเชื้อเริ่มต้นไว้ที่ 10^9 cfu/ml. หลังจากนั้นการล้างเพื่อลดปริมาณของเชื้อแบคทีเรียด้วยการล้างน้ำที่เป็นชุดควบคุมและชุดทดสอบที่เป็นสารละลายกรดแลกติก 5% ผสมสารละลายโซเดียมเบนโซเอท 0.05% โดยใช้ไก่แช่แข็งจากซุปเปอร์มาเกตมาทำการทดลองทำการล้างเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปทำการทดสอบเพื่อศึกษาปริมาณการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย ผลการศึกษาพบว่าการใช้สารละลายร่วมระหว่างกรดแลกติกและโซเดียมเบนโซเอทสามารถที่จะลดปริมาณของเชื้อที่ทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปี 1998 Beuchat และคณะ ได้ทำการทดสอบการลดปริมาณจุลินทรีย์โดยฉีดพ่นสารละลายคลอรีนความเข้มข้นประมาณ 2,000 ppm. ในแอปเปิล ฝรั่งหั่นชิ้นและผักกาด โดยให้ระยะเวลาการสัมผัสผักผลไม้นาน 1 - 10 นาที ปรากฏว่าสามารถลดปริมาณ *Salmonella Escherichia coli* O157:H7 และ *Listeria monocytogenes* ได้ หรืออาจจะมีการใช้สารเคลือบผิวผลไม้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ เช่น ใช้ไข (wax) ไฮโปคลอไรท์ (Hypochlorite)

ไบเฟนิล (biphenyl) และด่าง (base) หรือใช้ก๊าซในการเก็บรักษา ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide) โอโซน (ozone) และเอธิลีนผสมสารไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีนผสมอยู่

ในปี 2545 ได้มีการศึกษาเชื้อจุลินทรีย์จากผักสดที่ผ่านการล้างด้วยวิธี Rinse test พบว่าถึงจะผ่านการล้างแล้วก็ตาม ปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบในตัวอย่างก็ยังคงสูงอยู่ในช่วง 10^4-10^6 cfu/g และหากมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในกลุ่มเชื้อ เช่น Pathogenic *Escherichia coli Salmonella* sp. *Shigella* sp. ฯลฯ การล้างด้วยน้ำธรรมดาไม่สามารถลดการปนเปื้อนได้ (วราภา มหากาญจนกุล และปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2545 อ้างอิงใน สาวิตรี วทัญญูไพศาล, 2548)

Dubal, et al. (2003) ทดสอบกรดอินทรีย์ที่เป็นเกรดผสมอาหารในการยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Staphylococcus aureus Listeria monocytogenes Escherichia coli* และ *Salmonella* typhimurium ในเนื้อแพะและแกะแช่เย็น เนื้อที่ทำการทดสอบจะผ่านการสเปรย์น้ำด้วยความร้อน 90 °C ก่อนที่จะนำไปป้ายเชื้อเริ่มต้นที่กำหนดจำนวนเริ่มต้นไว้ที่ 10^3 cfu/ml. หลังจากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที ก่อนนำไปศึกษาผลของกรดโดยการสเปรย์ กรดที่ใช้ในการศึกษาคือกรดแลกติก 2% และกรดที่ผสมระหว่าง กรดแลกติก 1.5% กับกรดโพรพิโอนิค 1.5% เป็นชุดทดลอง ผลการศึกษาพบว่าการใช้กรดแลกติกและกรดผสมนั้นสามารถลดจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์โดยรวมได้โดยลดจำนวนได้ถึง 0.52 และ 1.16 $\log_{10}$ cfu/g (Dubal et. al., 2003)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษากรดอินทรีย์จากธรรมชาติโดยตรง เช่น การใช้น้ำมะนาว น้ำส้มสายชูเพื่อยับยั้ง *Salmonella* typhimurium น้ำส้มสายชูจากข้าวในการยับยั้ง *Escherichia coli* O157:H7 และ *Salmonella enterica* serovars Typhimurium อีกด้วย (Sengun and Karapinar, 2004; Chang and Fang, 2006)

Sengun and Karapinar (2004) ได้ศึกษาการใช้กรดจากธรรมชาติในการลดจำนวน *Salmonella* typhimurium ในแครอท โดยใช้น้ำมะนาวคั้นสด (ประกอบด้วยกรดซิตริก 4.46% v/v) น้ำส้มสายชูและสารละลายผสมระหว่างน้ำมะนาวและน้ำส้มสายชู (ประกอบด้วยกรดอะซิติก 4.03% v/v) ในอัตราส่วน 1:1 ทดสอบกับแครอทหั่นชิ้นที่ผ่านการล้างทำความสะอาดและลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โดยจุ่มลงในสารละลายแอลกอฮอล์ 70% หลังจากนั้นทำการปลูกเชื้อเริ่มต้นที่ 10^8 cfu/ml แล้วจึงทำการทดสอบด้วยกรด โดยการใช้แครอทหั่นชิ้นแช่กรดอินทรีย์เป็นเวลา 0 15 30 และ 60 นาที จากการทดสอบพบว่ากรดอินทรีย์ผสมนั้นมีความสามารถในการลดจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ที่ทำการทดสอบได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยที่การแช่ตัวอย่างตั้งแต่เวลา

30 นาทีขึ้นไปจะตรวจไม่พบ *Salmonella* typhimurium รองลงมา คือ กรดจากน้ำมะนาวคั้นสด และน้ำส้มสายชู ตามลำดับ (Sengun and Karapinar, 2004)

Chang and Fang (2006) ได้ศึกษาการใช้กรดอินทรีย์จากธรรมชาติเช่นกัน แต่เป็นการศึกษาความสามารถของกรดน้ำส้มสายชูที่ทำจากข้าว (มีส่วนประกอบของกรดอะซิติก) ต่อเชื้อ *Escherichia coli* O157:H7 และ *Salmonella enterica* serovars typhimurium โดยทำการศึกษาในกะหล่ำปลีหั่นซึ่งปลูกเชื้อตั้งต้นที่ 10^8 cfu/ml ทดสอบด้วยน้ำส้มสายชูจากข้าวที่ผ่านการควบคุมความเข้มข้นของกรดอะซิติกให้อยู่ที่ 0 0.05 0.5 และ 5% ซึ่งพบว่าการใช้น้ำส้มสายชูจากข้าวที่มีความเข้มข้นของกรดอะซิติก 5% สามารถที่จะลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ได้สูงที่สุด (Chang and Fang, 2006)

กลไกการทำลายจุลินทรีย์ของเกลืออินทรีย์

ความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเกลืออินทรีย์นั้นประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ความความสามารถในการซึมผ่านและผลของค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (A_w) สำหรับเกลือของกรดอินทรีย์นั้น ส่วนมากจะมีค่า pH อยู่ค่อนข้างเป็นกลางจึงไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของ pH ภายในและภายนอกของเซลล์แบคทีเรียมากนัก แต่อย่างไรก็ตาม Inhibition mechanism จะเป็นไปตามทฤษฎีดังที่เกิดในกรดอินทรีย์ แต่ในกรณีของเกลืออินทรีย์แล้วการแตกตัวนั้นจะเกิดขึ้นใน aqueous phase เป็นส่วนมาก และในส่วนของค่า A_w นั้นส่วนของไอออนลบที่แตกตัวออกและละลายในน้ำนั้นจะส่งผลให้ค่า A_w ลดลง (Miller,1992; Nolan, Chamblin, and Troller,1992; Shelef, 1994)

จุลินทรีย์ทุกชนิดต้องการสารอาหารจากน้ำที่อยู่ล้อมรอบ ดังนั้นจึงต้องการน้ำมากว่า 80-90% สำหรับใช้ในการเจริญเติบโต เมื่อเซลล์จุลินทรีย์อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นมากว่าภายในเซลล์ น้ำภายในเซลล์จะไหลออกจากเยื่อหุ้มเซลล์ไปยังนอกเซลล์ที่มีความเข้มข้นมากกว่าเป็นผลทำให้เซลล์เหี่ยว (plasmolysis) ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์หดตัวแยกจากผังเซลล์ส่งผลให้การเจริญถูกยับยั้งทำให้จุลินทรีย์เติบโตช้าลงหรือเกิดการตายได้ (นวพร ล้ำเลิศกุล, 2549; Tortora, Funke, and Case, 2006)

โซเดียมซิเตรท (Sodium citrate)

โซเดียมซิเตรทมีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น เมื่อนำไปละลายน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 5 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.6-8.6 มีมวลโมเลกุล 294.10

โซเดียมซิเตรทมีประสิทธิภาพเป็น buffer emulsifier sequestrant มีคุณสมบัติทำให้สารมีความอยู่ตัว เพิ่มความสามารถในการยึดเกาะ มักใช้ในการผลิตเนยแข็ง ทำลูกชิ้นปลาหรือใช้กับไอศกรีมเพื่อปรับความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วนร้อยละ 0.2-0.3 National standard (GB 2760-

96) อนุญาตให้ใช้กับอาหารต่าง ๆ ได้ตามความเหมาะสม องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติและองค์การอนามัยโลกอนุญาตให้ใช้กับเนยเทียม อาหารกระป๋อง นมจืดหรือใช้กับผลิตภัณฑ์จากผลไม้ Flavor extract manufacturing number (FEMA) ให้ใช้ในเครื่องดื่มที่ 490 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาหารปิ้งย่าง 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สุกิจ นววงศ์, 2548)

โซเดียมแลกเตท (Sodium lactate)

โซเดียมแลกเตทเป็นเกลือโซเดียมของกรดแลกติกซึ่งเตรียมขึ้นทางการค้าโดยทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ สูตรทางเคมี คือ $C_3H_5O_3Na$ มีน้ำหนักมวลโมเลกุลเท่ากับ 112.06 เป็นสารเหลวหนืด ใส ไม่มีสี (Oxford University, 2005)

โซเดียมแลกเตทได้รับรองจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (USFDA) ว่าเป็นสารที่อยู่ใน Generally recognized as safe (GRAS) ซึ่งปลอดภัยต่อการบริโภคโดยไม่จำกัดปริมาณการใช้ในอาหาร แต่ห้ามใช้ในอาหารสำหรับเด็กทารก (อรภิยา สาตแฟง, 2548)

จากรายงานการศึกษาความสามารถในการลดปริมาณจุลินทรีย์ด้วยสารละลายเกลืออินทรีย์หลายชนิด เช่น โซเดียมอะซิเตท โซเดียมแลกเตท โซเดียมซิเตรท ที่ระดับความเข้มข้น 2-4% สามารถลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด เช่น Arcobacter butzleri NCTC 12481 Bacillus cereus Clostridium perfringens Listeria monocytogenes ได้ (Aran, 2007; Bedie, et. al. 2001; Khalid, 2007; Miller and Acuff, 1994; Shelef, 1994)

Scannell, et al. (1997) พบว่าเมื่อผสมโซเดียมแลกเตทกับไนซินจะมีประสิทธิภาพในการช่วยลดจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์และเพิ่มการป้องกันการถูกปนเปื้อนด้วยเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Salmonella* spp. ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูสด (Scannell, et al., 1997) และจากการศึกษาของ Wang ในปี 2000 รายงานว่าการใช้โซเดียมแลกเตท 3% ในไส้หรอกแบบจีนที่ถูกบรรจุในสภาพสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าโซเดียมแลกเตทจะยับยั้งจุลินทรีย์และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเป็น 25 วัน (Wang, 2000)

Mbandi and Shelef (2001) กล่าวว่าเมื่อใช้โซเดียมแลกเตท 1.8% สามารถลดอัตราการเจริญของ Salmonella ได้ และเมื่อใช้โซเดียมแลกเตทร่วมกับโซเดียมไดอะซิเตท 0.2% พบว่าสามารถเพิ่มความปลอดภัยในเนื้อพร้อมบริโภคที่ถูกเก็บรักษาในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมและในตู้เย็นได้ (Mbandi and Shelef, 2001)

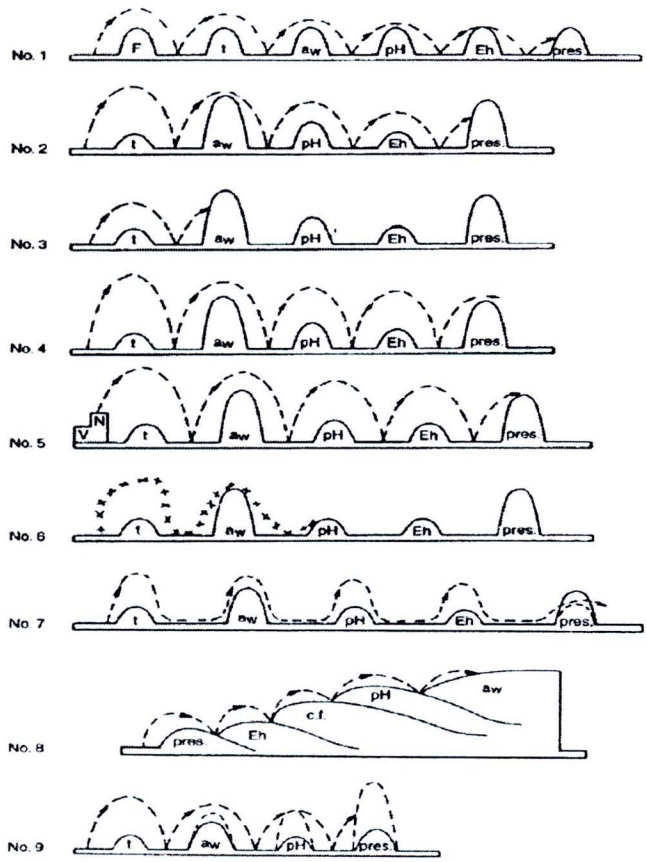
Cegielska-Radziejewska and Pikul (2004) ได้ทำการศึกษาผลของโซเดียมแลกเตทในการใช้กับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไก่ที่บรรจุในผลิตภัณฑ์ที่ดัดแปลงบรรยากาศ พบว่าการใช้โซเดียมแลกเตท 1% ให้ผลใกล้เคียงกับการใช้ที่ 2% สามารถยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5-7 องศาเซลเซียส

ได้ประมาณ 3-4 เท่าตามลำดับ โดยไส้กรอกไก่ที่มีอายุการเก็บรักษาสูงสุดคือไส้กรอกไก่ที่เติมโซเดียมแลกเตท 2% แล้วนำไปบรรจุไนโตรเจน (Cegielska-Radziejewska and Pikul, 2004)

เทคโนโลยีเฮอร์เดิล (hurdle technology)

แนวคิดของการใช้เฮอร์เดิลเป็นการนำปัจจัยหรือวิธีการต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มความคงตัว (stability) ความปลอดภัยและคุณภาพของอาหาร เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารและยังสามารถคงคุณลักษณะที่ดีทางประสาทสัมผัสไว้ได้ ผลของเฮอร์เดิลเป็นความสำคัญพื้นฐานในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร เฮอร์เดิลหรือปัจจัยที่ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารนั้นจะต้องสามารถควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ปกติในอาหารแต่ละชนิดไว้ได้ การใช้ผลของเฮอร์เดิลอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถก้าวข้ามปัจจัยที่นำมาใช้ ไม่เช่นนั้นอาหารจะเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และอาจทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษได้ ตัวอย่างผลของเฮอร์เดิลแสดงดังภาพ 1 (Leistner and Gould, 2002)

เทคโนโลยีเฮอร์เดิลเป็นการเลือกใช้ปัจจัยหรือวิธีการต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันอย่างเหมาะสมในอาหารแต่ละชนิด เพื่อการควบคุมทั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย และเทคโนโลยีนี้ไม่ได้เน้นเพียงการควบคุมจุลินทรีย์เท่านั้น แต่ยังให้ความสำคัญกับการรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารรวมทั้งความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการผลิตอาหารและการขนส่งอีกด้วย การเสื่อมคุณภาพของอาหารอาจเกิดขึ้นได้ในหลายขั้นตอนตั้งแต่เริ่มเก็บเกี่ยววัตถุดิบจนถึงการนำอาหารมาบริโภค เช่น ในช่วงการเจริญของพืชหรือสัตว์ สภาวะในการเก็บเกี่ยวหรือการฆ่าสัตว์ การเก็บรักษาวัตถุดิบที่ได้จากพืชหรือสัตว์ การขนส่งการพัฒนาสูตรของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต การบรรจุ การจำหน่าย การเก็บรักษาภายในครัวเรือนและการนำไปบริโภค (ธีรพร กงบังเกิด, 2547)



การใช้ความร้อน (F); การแช่เย็น(t); วอเตอร์แอคติวิตี้ (aw); ความเป็นกรด (pH), รีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh); การใช้สารกันเสีย (pres.); วิตามิน (V); สารอาหาร (N); จุลินทรีย์คู่แข่ง (c.f.)

ภาพ 1 ตัวอย่างผลของเฮอร์เดิล

ที่มา: ดัดแปลงจาก Leistner and Roedel, 1976

ปัจจุบันเป็นที่ทราบแล้วว่าการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยส่วนใหญ่นั้น มิได้มีเพียงปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความคงตัวและความปลอดภัยของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ แต่เกิดจากผลรวมของหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ที่นำมาใช้เพื่อการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารเหล่านี้เรียกว่าเฮอร์เดิล (hurdles) (Leistner and Roedel, 1976 อ้างอิงใน ธีรพร กงบังเกิด, 2547) และต่อมาได้มีรายงานเกี่ยวกับผลของเฮอร์เดิล (hurdle effects) ซึ่งได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายมากขึ้นเมื่อแสดงให้เห็นภาพของปฏิกิริยาที่ซับซ้อนของการใช้ปัจจัยหลายปัจจัยในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารแนวคิดเฮอร์เดิลรวมไปถึงผลของการใช้ปัจจัยหลายปัจจัยที่อาจให้ผลเรียงตามลำดับ หรือให้ผลในเวลาเดียวกัน รวมทั้งปัจจัยที่ใช้ ได้แก่ ปัจจัยภายใน ปัจจัย

ภายนอก ปัจจัยจากกระบวนการแปรรูป และมีความเฉพาะในอาหารชนิดหนึ่ง ๆ จากผลของเฮอร์เดิลดังกล่าว ทำให้เกิดเทคโนโลยีเฮอร์เดิล ขึ้นโดยมีจุดมุ่งหมายไม่เพียงแต่ทำให้อาหารเกิดความปลอดภัยและคงตัว แต่ยังปรับปรุงคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ โดยการเลือกใช้สภาวะหรือปัจจัยที่เหมาะสมและดัดแปลงเฮอร์เดิลที่มีอยู่อย่างฉลาด ขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นมาคือการมุ่งผลิตอาหารที่ไม่เพียงแต่มีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์และมีความคงตัว แต่ยังต้องคงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการไว้ ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นคุณภาพโดยรวมของอาหารนั่นเอง (Leistner,1994 อ้างอิงใน ธีรพร กงบังเกิด, 2547)

การใช้อุณหภูมิต่ำในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งในการเจริญของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีขีดจำกัดในการเจริญที่อุณหภูมิต่ำแตกต่างกัน เช่น *Clostridium perfringens* หรือ *Cl. botulinum* สายพันธุ์ที่ย่อยสลายโปรตีน (proteolytic types) จะไม่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส ในขณะที่สายพันธุ์ที่ไม่ย่อยสลายโปรตีน (non proteolytic types) มีอุณหภูมิต่ำสุดที่เจริญได้คือ 3 องศาเซลเซียส นอกจากนี้เชื้อโรคบางชนิด เช่น *Listeria monocytogenes Aeromonas hydrophila Yersinia enterocolitica* จะสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำใกล้เคียง 0 องศาเซลเซียส ในส่วนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียบางชนิดที่ไม่สร้างสปอร์ จะสามารถเจริญได้อย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิระหว่าง 0-7 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิประมาณ -10 องศาเซลเซียส พบว่าจุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญได้ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าอาหารแช่เยือกแข็งบางชนิด เช่น ถั่วพีแช่เยือกแข็ง (frozen peas) จะเสื่อมเสียอย่างช้า ๆ จากยีสต์ แม้ว่าจะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –17 องศาเซลเซียส (Collins and Buick, 1989) ในส่วนของการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งจะช่วยลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (water activity) ของอาหาร ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดได้ โดยกลไกการยับยั้งไม่ได้มีสาเหตุจากอุณหภูมิต่ำแต่เกิดจากค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ที่ต่ำลงและเนื่องจากเชื้อราและยีสต์มีความทนทานต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ที่ต่ำมากกว่าแบคทีเรีย ทำให้สามารถเจริญในอาหารแช่เยือกแข็งได้ดีกว่า (Leistner and Gould, 2002) การยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการแช่เย็นและการแช่เยือกแข็งนั้น จะสามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพในประเทศอุตสาหกรรมที่เจริญแล้วมากกว่าประเทศที่กำลังพัฒนา ทั้งนี้เนื่องจากประเทศในกลุ่มหลังจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานที่สูงและการใช้ไฟฟ้ายังมีไม่ทั่วถึงนอกจากนั้นการที่มีสภาวะอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงจะทำให้การใช้อุณหภูมิต่ำในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารมีความลำบากมากยิ่งขึ้น (ธีรพร กงบังเกิด, 2547)

การลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (A_w) ในอาหาร

การลดค่า A_w ในอาหาร สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การเคียวริ่ง (curing) โดยการเติมเกลือ การเติมน้ำตาลหรือการแช่อิ่ม (conserving) การเติมตัวถูกละลายชนิดอื่น ๆ และการกำจัดน้ำออกจากอาหารโดยการทำแห้ง (drying) รวมทั้งการแช่เยือกแข็ง ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำสุดที่จุลินทรีย์บางชนิดที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียและเชื้อโรคสามารถเจริญได้ แสดงดังตาราง 1 (Leistner and Gould, 2002)

จากตาราง 1 จะเห็นว่า pseudomonads ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่พบว่าทำให้อาหารโดยทั่วไปเกิดการเสื่อมเสียนั้นจะทนต่อค่า A_w ต่ำน้อยที่สุด โดยไม่สามารถเจริญได้ที่ค่า A_w ต่ำกว่า 0.97 ในส่วนของ clostridia และ bacilli ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งการเจริญถ้าค่า A_w ต่ำกว่า 0.94 และ 0.93 ตามลำดับ แต่มี bacilli บางชนิดที่เจริญได้ที่ต่ำกว่า 0.90 เชื้อ *Staphylococcus aureus* ในสภาวะที่มีอากาศจะสามารถเจริญได้ที่ค่า A_w ต่ำสุด 0.86 แต่ในสภาวะที่ไม่มีอากาศจะเจริญได้ที่ค่า A_w ต่ำสุดที่ 0.91 และพวกยีสต์และเชื้อราส่วนใหญ่จะสามารถเจริญได้ที่ค่า A_w ต่ำสุดที่ 0.86 และยีสต์จำพวกออสโมฟิลิก (osmophilic yeasts) และเชื้อราพวกซีโรฟิลิก (xerophilic molds) สามารถเจริญได้อย่างช้า ๆ ที่ค่า A_w ต่ำสุดประมาณสูงกว่า 0.6 เพียงเล็กน้อย ดังนั้นอาหารแห้ง (dried foods) โดยทั่วไปส่วนใหญ่มักมีค่า A_w ประมาณ 0.3 เพื่อป้องกันไม่ให้มีการเจริญของจุลินทรีย์ และค่า A_w ระดับนี้จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพต่ำที่สุด (Leistner and Gould, 2002)

ตาราง 1 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำสุดที่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถเจริญเติบโตได้

จุลินทรีย์	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำสุดที่สามารถเจริญได้
Campylobacter species	0.98
Pseudomonas fluorescens	0.97
Aeromonas hydrophila	0.97
Clostridium botulinum type E	0.96
Clostridium perfringens	0.96
Most lactic acid bacteria	0.95
Salmonellae	0.95
Escherichia coli	0.95
Vibrio parahaemolyticus	0.95

ตาราง 1 (ต่อ)

จุลินทรีย์	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำสุดที่สามารถเจริญได้
Clostridium botulinum type A	0.94
Bacillus cereus	0.93
Listeria monocytogenes	0.92
Some lactic acid bacteria	0.92
Staphylococcus aureus (anaerobic)	0.91
Some Bacillus spp. (aerobic)	0.89
Staphylococcus aureus (aerobic)	0.86
Micrococcus halodenitrificans	0.85
Byssochlamys nivea	0.84
Aspergillus flavus	0.80
Halobacterium halobium	0.75
Eurotium amstelodami	0.70
Wallemia sebi	0.69
Zygosaccharomyces rouxii	0.62
Xeromyces bisporus	0.61

ที่มา: ดัดแปลงจาก Leistner and Roedel, 1976

อาหารแปรรูปส่วนใหญ่ในประเทศที่กำลังพัฒนามักจะมีความชื้นปานกลางโดยมีค่า A_w อยู่ระหว่าง 0.90 – 0.60 และอาหารบางชนิดอาจมีค่านี้ต่ำกว่า 0.60 ทำให้สามารถเก็บรักษาได้โดยไม่ต้องอาศัยความเย็นอย่างไรก็ตามอาหารที่พบบางประเภทอาจไม่จัดอยู่ในประเภทที่มีความชื้นปานกลางเนื่องจากมีรสชาติที่เค็มหรือหวานเกินไปและเนื้อสัมผัส หรือลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ดึงดูดใจของผู้บริโภคในวัยหนุ่มสาว ทำให้เกิดการพัฒนาอาหารประเภทที่มีความชื้นสูง (ค่า A_w สูงกว่า 0.90) เพิ่มมากขึ้นและมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีกว่าซึ่งกระทำได้โดยการใช้เทคโนโลยีเฮอร์เดิล อย่างไรก็ตามความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีเฮอร์เดิลในประเทศกำลังพัฒนาจะมีการนำมาประยุกต์ใช้บ้างแล้ว แต่การวัดค่า A_w นั้นต้องอาศัยเครื่องมือที่มีราคาค่อนข้างสูง ทำให้บรรดาผู้ผลิตอาหารในระดับอุตสาหกรรมของประเทศดังกล่าวจึง

ยังคงใช้วิธีการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารแบบดั้งเดิมโดยใช้สูตรที่ใช้ต่อกันมาจากรุ่นก่อน (ธีรพร กงบังเกิด, 2547)

การปรับลดค่า pH

ค่า pH ในอาหาร เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญและกลุ่มหรือชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ในอาหารค่า pH ที่ต่ำที่สุดที่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถเจริญได้แสดงดังตาราง 2 (Leistner and Gould, 2002)

ตาราง 2 ค่า pH ต่ำสุดที่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถเจริญเติบโตได้

จุลินทรีย์	ค่า pH ต่ำที่สุดที่สามารถเจริญได้
Bacillus cereus	5.0
Clostridium perfringens	5.0
Campylobacter species	4.9
Vibrio parahaemolyticus	4.8
Clostridium botulinum	4.6
Escherichia coli	4.4
Pseudomonas fluorescens	4.4
Listeria monocytogenes	4.3
Yersinia enterolitica	4.2
Staphylococcus aureus	4.0
Most *Salmonellae*	3.8
Bacillus coagulans	3.8
Most Lactic acid bacteria	3.0 – 3.5
Gluconobacter species	3.0
Acetobacter species	3.0
Bacillus acidocaldarius	2.5
Alicyclobacillus	2.0

ตาราง 2 (ต่อ)

จุลินทรีย์	ค่า pH ต่ำที่สุดที่สามารถเจริญได้
Aspergillus flavus	2.0
Saccharomyces cerevisiae	1.6
Candida krusei	1.3

ที่มา: ดัดแปลงจาก Leistner and Roedel, 1976

ค่า pH ที่สำคัญของอาหารที่ใช้บ่งบอกว่าเชื้อ *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นเชื้อที่ก่อให้เกิดอันตรายเนื่องจากการสร้างสารพิษในอาหารคือที่ pH ต่ำกว่า 4.5 ซึ่งเป็นค่า pH ในระดับที่สูงของอาหารกลุ่มที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid foods) โดยที่เชื้อนี้ไม่สามารถเจริญได้ แต่เชื้อชนิดอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษโดยส่วนใหญ่ จะถูกยับยั้งการเจริญได้ที่ค่า pH ต่ำกว่า 4.2 ในส่วนของเชื้อที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียซึ่งสามารถเจริญได้ที่ค่า pH ต่ำกว่าระดับนี้ ได้แก่พวกแบคทีเรียแลกติก รวมทั้งยีสต์และเชื้อราซึ่งส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ที่ค่า pH ต่ำกว่า 3.0 การปรับลดค่า pH ของอาหารในประเทศที่กำลังพัฒนาเป็นวิธีการที่นำมาใช้กันมาก โดยเฉพาะกับผลไม้ซึ่งโดยปกติจะมีค่า pH ที่ต่ำตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามรสชาติของอาหารที่เกิดขึ้นในอาหารชนิดหนึ่ง ๆ ในประเทศที่แตกต่างกัน จะได้รับการยอมรับที่แตกต่างกัน เช่น รสเปรี้ยวของไส้กรอกซึ่งในประเทศจีนหรือญี่ปุ่นจะบ่งบอกถึงการเสื่อมเสีย ในขณะที่ประเทศทางตะวันตกจะได้รับการยอมรับ เป็นต้น ในส่วนของการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยปรับค่า pH ของอาหารให้สูงขึ้น เช่น ในประเทศจีนที่มีการผลิตไข่เยี่ยวม้า โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) โดยค่า pH ของไข่ขาวจะเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 11.0 และในไข่แดงมีค่า pH สูงประมาณ 9.0 ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อโรคเช่น *Salmonella enteritidis* และทำให้โปรตีนในไข่ตกตะกอน (coagulation) ทำให้สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้องและนำมาใช้รับประทานได้โดยไม่ต้องนำมาให้ความร้อน อย่างไรก็ตามการปรับค่าpH ของอาหารให้สูงขึ้นมีข้อจำกัดในเรื่องของคุณภาพทางประสาทสัมผัส จึงมีข้อจำกัดในการนำมาประยุกต์ใช้กับอาหาร (ธีรพร กงบังเกิด, 2547)

การใช้สารกันเสีย (preservatives)

โดยทั่วไปประสิทธิภาพของสารกันเสียจากการปรับลดค่า pH ในอาหารจะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดที่มีอยู่ในอาหารสารกันเสียชนิดที่เป็นกรดอินทรีย์อ่อน (weak organic acids) เช่น กรดซอร์บิก (sorbic acid) กรดเบนโซอิก (benzoic acid) และกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดอนินทรีย์เช่น ซัลไฟต์ (sulfite) และไนไตรท์ (nitrite) จะมีประสิทธิภาพดีที่ค่า pH ต่ำ และสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมักจะมีประสิทธิต่ำที่ค่า pH ที่เป็นกลาง ชนิดของสารกันเสียที่นิยมใช้ในอาหารแสดงดังตาราง 3 (Leistner and Gould, 2002) ในส่วนของประเทศที่กำลังพัฒนามีการใช้สารกันเสีย เช่น ซอร์เบต (sorbate) และไนไตรท์ (nitrite) เพิ่มมากขึ้น แต่การเติมสารเหล่านี้ในอาหารอาจไม่ใช่ระดับที่ถูกต้องและขาดการควบคุมทำให้สารกันเสียมีประสิทธิภาพไม่แน่นอน ซึ่งอาจแก้ไขโดยการนำหลักเกณฑ์ที่ดีในการผลิตอาหาร (good manufacturing practice; GMP) มาใช้ (Leistner and Gould, 2002)

ตาราง 3 สารกันเสียในอาหารที่นิยมใช้

สารกันเสีย	ตัวอย่างอาหารที่ใช้
กรดไลโปฟิลิก (lipophiilic acids)	
และเอสเทอร์ (esters) อย่างอ่อน	
ซอร์เบต (sorbate)	เนยแข็ง (cheeses) ไซรัป (syrup) เค้ก เดรสซิ่ง (dressings) เนื้อสัตว์
เบนโซเอท (benzoate)	อาหารดอง (pickles) เครื่องดื่ม เดรสซิ่ง
พาราไฮดรอกซีเบนโซเอทเอสเทอร์	มาริเนดจากปลา (marinaded fish products)
(p-hydroxybenzoate esters)	
โพรพิโอเนต (propionate)	ขนมปัง เค้ก เนยแข็ง เมล็ดพืช (grains)
กรดอินทรีย์ (organic acids)	ซอสที่มีความเป็นกรดต่ำ มายองเนส เดรสซิ่ง น้ำ
กรดอะซีติก (acetic) แลกติก (lactic)	สลัด เครื่องดื่ม น้ำผลไม้ และผลิตภัณฑ์เข้มข้น
ซิตริก (citric) มาลิก (malic) และอื่น ๆ	
กรดอนินทรีย์ (inorganic acids)	ซอสที่มีความเป็นกรดต่ำ มายองเนส เดรสซิ่ง น้ำสลัด เครื่องดื่ม น้ำ
ฟอสฟอริก (phosphoric)	ผลไม้ และผลิตภัณฑ์เข้มข้น
ไฮโดรคลอริก (HCl)	
แอนอิออนอนินทรีย์ (inorganic anions)	
ซัลไฟต์ (SO_2 เมตาไบซัลไฟต์)	ชิ้นผลไม้ ผลไม้อบแห้ง ไวน์ เนื้อสัตว์
ไนไตรท์ (nitrite)	ผลิตภัณฑ์ cured meats

ตาราง 3 (ต่อ)

สารกันเสีย	ตัวอย่างอาหารที่ใช้
สารปฏิชีวนะ (antibiotics)	
ไนซิน (nisin)	เนยแข็ง อาหารบรรจุกระป๋อง
นาตามัยซิน (natamycin) (ไพมาริซิน, pimaricin)	ผลไม้ ผลิตภัณฑ์ cured meats ทำแห้ง
ควัน (smoke)	เนื้อสัตว์และปลา

ที่มา: ดัดแปลงจาก Leistner and Roedel, 1976

การบรรจุแบบสุญญากาศ (vacuum packaging) และการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere packaging)

โดยทั่วไปการบรรจุแบบนี้มักจะเริ่มต้นจากการลดปริมาณออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ เพื่อจำกัดการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศหรือออกซิเจน (aerobes) และชะลอการเจริญของพวกที่ใช้หรือไม่ใช้แก๊สออกซิเจน (facultative anaerobes) และมีการเติมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปภายในภาชนะบรรจุเพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อโดยจะให้ผลดีที่อุณหภูมิต่ำ การเลือกใช้แก๊สชนิดเดียวหรือแก๊สผสมตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการยืดอายุการเก็บรักษา มีรายงานว่าปริมาณออกซิเจนระดับสูงจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการทำลายจุลินทรีย์เนื่องจากมีปริมาณของอนุมูลอิสระ (radicals) เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ (superoxide) และไฮดรอกซิล (hydroxyl radicals) มากขึ้น ปัจจุบันในประเทศที่กำลังพัฒนามีการใช้การบรรจุแบบสุญญากาศเพิ่มมากขึ้นแต่การบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศยังมีการใช้น้อยเนื่องจากต้องลงทุนสูงและยังขาดแคลนแก๊สที่นำมาใช้ในกระบวนการ (ธีรพร กงบังเกิด, 2547)

โครงสร้างขนาดเล็ก (microstructure)

ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารอิมัลชัน (emulsions) ชนิดน้ำในน้ำมัน (water in oil) เช่น เนยบัตเตอร์ (butter) มาร์การีน (margarines) และสเปรดไขมันต่ำ (low fat spreads) จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างขนาดเล็ก เช่น ช่องว่างระหว่างเม็ดของน้ำและส่วนที่เป็นน้ำมัน ซึ่งถ้ามีการเตรียมอาหารประเภทนี้อย่างถูกต้องตามสุขลักษณะ จะทำให้ส่วนที่เป็นเม็ดน้ำที่มีขนาดเล็กส่วนใหญ่ปราศจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ นอกจากนั้นการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เข้าไปยังส่วนที่เป็นน้ำนี้จะถูกปกป้องจากน้ำมันซึ่งเป็นเฟสต่อเนื่อง (continuous lipid phase) ซึ่งความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับความสะอาดในขั้นตอนการเตรียม

สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รวมทั้งการสร้างและการทำให้เม็ดของเหลวขนาดเล็กคงตัว ขนาดและการกระจายตัวของน้ำในน้ำมันและในบางครั้งขึ้นอยู่กับปริมาณของสารกันเสียที่ใช้ ในส่วนของประเทศที่กำลังพัฒนายังคงมีการศึกษาเกี่ยวกับทางด้านนี้ไม่มากนักเนื่องจากเป็นการศึกษาในเชิงลึกและจำเป็นต้องใช้เครื่องมือขั้นสูงที่มีความสลับซับซ้อนและมีราคาแพง เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน (electron microscopy) และการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) ซึ่งต้องอาศัยความรู้และความเชี่ยวชาญในการใช้ (ธีรพร กงบังเกิด, 2547)

การใช้ความร้อน (heat) ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร

การพาสเจอไรส์และการสเตอริไลส์อาหารเป็นกระบวนการแปรรูปที่สำคัญและนิยมใช้กันมาอย่างต่อเนื่อง การทนต่อความร้อนของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับสปีชีส์ (species) หรือสายพันธุ์ (strain) รวมทั้งสภาวะที่เป็นเซลล์ปกติ (vegetative cell) หรือสปอร์ (spore) ค่า D (D – values) ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ความร้อนในการทำให้จุลินทรีย์ลดลง 90% หรือ 1 วงจรลอก (log cycle) ของจุลินทรีย์บางชนิดแสดงดังตารางที่ 6.8 จากตารางจะเห็นว่า *Campylobacter jejuni* เป็นเชื้อที่ทนร้อนได้ต่ำที่สุด โดยมีค่า D เพียงไม่กี่วินาทีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสามารถทำลายเชื้อนี้ได้โดยใช้การพาสเจอไรส์ในขณะที่พวกเอนเทอโรคอคไค (enterococci) บางชนิด มีค่า D สูงกว่ามาก ซึ่งจะสามารถรอดชีวิตและทำให้อาหารที่ผ่านการพาสเจอไรส์เกิดการเสื่อมเสียได้ จุลินทรีย์จำพวกยีสต์และเชื้อรามีความทนต่อความร้อนอยู่ระหว่างเซลล์แบคทีเรียและสปอร์ของแบคทีเรีย แต่แอสโคสปอร์ของเชื้อรา *Byssochlamys* และ *Talaromyce* จะมีความทนต่อความร้อนสูงใกล้เคียงสปอร์แบคทีเรียที่ทนความร้อนในระดับต่ำ ดังนั้นเชื้อนี้จึงเป็นเชื้อที่พบเสมอในการทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย ในส่วนของสปอร์แบคทีเรียนั้นพบว่าสปอร์ของ *Clostridium botulinum* type E ทนต่อความร้อนได้ต่ำสุดในขณะที่สปอร์ของ *C. botulinum* type A จะมีค่า D ประมาณ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ในส่วนของประเทศที่กำลังพัฒนาพบว่าการใช้ความร้อนในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารเป็นกระบวนการที่สำคัญและใช้มากในการทำลายหรือยับยั้งจุลินทรียที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย แต่โดยส่วนใหญ่แล้วมักกระทำที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากขาดแคลนอุปกรณ์ในการฆ่าเชื้อ ดังนั้นการพาสเจอไรส์ในประเทศต่าง ๆ ดังกล่าว ซึ่งมีภูมิอากาศที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารพิษได้ดีและขาดแคลนกระบวนการทำความเย็นแบบต่อเนื่องจึงต้องกระทำด้วยความระมัดระวังมากกว่าในประเทศอุตสาหกรรม (ธีรพร กงบังเกิด, 2547)

การใช้เทคนิคหรือวิธีการทางกายภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร

กระบวนการทางกายภาพที่สามารถยับยั้งหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารและไม่ใช้ความร้อนหรือไม่ทำให้เกิดความร้อนในอาหารได้แก่ การฉายรังสี (irradiation) การใช้ความดันสูง

(high hydrostatic pressure) การใช้สนามไฟฟ้าแบบจังหวะ (pulsed electric fields) การใช้เลเซอร์ความเข้มสูง (high intensity laser) การใช้คลื่นแสง (light pulses) และการใช้คลื่นอัลตร้าซาวน์ (ultrasonication) โดยมีรายงานว่าบางวิธีสามารถใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แปรรูปเล็กน้อย (minimally processed foods) ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยทำให้สูญเสียคุณภาพทางประสาทสัมผัสน้อยลงรวมทั้งยังคงคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพด้านอื่น ๆ มากกว่าการแปรรูปแบบวิธีดั้งเดิม ในส่วนของรายละเอียดของบางกระบวนการหรือวิธีการที่สำคัญ จากเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมานี้จะเห็นว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารในปัจจุบันและอนาคตแต่การนำไปประยุกต์ใช้กับอาหารนั้นจะมีความแตกต่างกันโดยอาจทำลายหรือเพียงยับยั้งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้แก่พวกที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียและพวกที่ทำให้อาหารเป็นพิษ ถ้าการใช้ปัจจัยที่มีผลต่อจุลินทรีย์มากกว่าหนึ่งปัจจัย โดยผลที่ได้อาจเป็นผลบวก (additive) หรือผลเสริมฤทธิ์ (synergistic effect) จะสามารถกล่าวได้ว่าสิ่งที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องจากเฮอร์เดิล (hurdle effect) นั่นเอง (ธีรพร กงบังเกิด, 2547; Leistner and Gould, 2002)