บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตและพันธุ์ข้าวโพดฝักสด

การผลิตข้าวโพดฝักสดเพื่อบริโภคภายในประเทศ หรืออุตสาหกรรมการแปรรูปเพื่อส่งออกไปต่างประเทศ ในรูปของเมล็ดข้าวโพดในกระป๋อง ครีมข้าวโพด ซุปข้าวโพด ข้าวโพดแช่แข็ง ข้าวโพดทั้งฝักหรือเป็นเมล็ด สิ่งที่สำคัญที่สุดนอกจากจะต้องผลิตให้ได้ผลผลิตสูงแล้ว ยังต้องมีคุณภาพสูงอีกด้วย ซึ่งได้แก่ ขนาดฝัก รสชาติ เช่น ต้องหวาน กรอบ หรือหวานนิ่ม และความหวานจะต้องอยู่ได้นาน นอกจากนี้ เกษตรกรผู้เพาะปลูกยังต้องมีการพัฒนาและมีวิธีการผลิตที่เหมาะสม ผลผลิตที่ได้จะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดของ "เกษตรดีที่เหมาะสม" ถูกสุขอนามัยมีความปลอดภัย ตลอดจนมีการจดบันทึกข้อมูลในทุกขั้นตอนการผลิต ได้แก่ วิธีการปลูก การดูแลรักษา การใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดวัชพืช โรค และแมลง การเก็บเกี่ยว การขนส่ง การบรรจุหีบห่อ การวางตลาด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถตรวจสอบย้อนหลังกลับถึงแหล่งที่มาได้ (ทวีศักดิ์, 2531)

การผลิตข้าวโพดฝักสดในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1.ผลิตฝักสดเพื่อบริโภคโดยตรง การผลิตแบบนี้จะพบในพื้นที่ที่ปลูกข้าวโพดทั่วไป แต่ไม่ค่อยมาก โดยทั่วไปเกษตรกรจะปลูกปีละประมาณ 3 ครั้ง คือ ต้นฤดูฝนประมาณเดือนเมษายน ปลายฤดูฝนประมาณต้นเดือนสิงหาคม และต้นฤดูหนาวประมาณเดือนพฤศจิกายน ชนิดของข้าวโพดที่เกษตรนิยมปลูก ได้แก่ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดเทียม และข้าวโพดเหนียว

2.ผลิตฝักสดเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูป เป็นการผลิตที่มีระบบและมาตรฐานสูง ส่วนใหญ่พบในพื้นที่ที่มีชลประทาน เช่น ในเขตภาคตะวันตก เช่น จังหวัดราชบุรี กาญจนบุรี นครปฐม และในเขตพื้นที่ภาคเหนือ เช่น จังหวัดลำพูน ลำปาง เชียงใหม่ และพะเยา เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะมีโรงงานอุตสาหกรรมอาหารบรรจุกระป๋องอยู่ในบริเวณใกล้เคียงข้าวโพดฝักสดที่เกษตรกรนิยมปลูก ได้แก่ ข้าวโพดหวาน และข้าวโพดฝักอ่อน (ทวีศักดิ์, 2531)

การผลิตข้าวโพดฝักสดเพื่อส่งโรงงานจำเป็นจะต้องมีวัตถุดิบมาป้อนอย่างสม่ำเสมอและเนื่องจากข้าวโพดฝักอ่อนและข้าวโพดหวานเป็นของสดเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็วหลังจากเก็บเกี่ยว ดังนั้น การปลูกข้าวโพดฝักสดส่งโรงงานจะต้องมีการจัดระบบการผลิตการปลูกและมีพันธุ์ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ ดังนั้น ในการผลิตข้าวโพดฝักสดเพื่อส่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปเกษตรกรมีการวางแผนการผลิต และมีความรู้เกี่ยวกับข้าวโพดฝักสดอย่างดี

การที่เกษตรกรจะประสบผลสำเร็จในการผลิตข้าวโพดฝักสดทั้งเพื่อตลาดท้องถิ่นหรือเพื่ออุตสาหกรรมการแปรรูป ปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ การเลือกพันธุ์ ทั้งนี้เพราะตลาดข้าวโพดฝักสดจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณภาพของผลผลิต ในปัจจุบัน พันธุ์ที่นำมาใช้ในการผลิตข้าวโพดฝักสดเพื่ออุตสาหกรรมการแปรรูปจะเป็นพันธุ์ลูกผสมทั้งสิ้น ดังนั้น ผู้ที่สนใจจะปลูกข้าวโพดฝักสดควรศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องพันธุ์ให้ดีก่อน ซึ่งข้อพิจารณาในการเลือกพันธุ์มีหลักใหญ่ๆ ดังนี้

1.เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิต และคุณภาพสูงตรงตามความต้องการของตลาดหรือโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูป

2. เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้ดี และเหมาะสมกับชนิดดิน และสภาพแวดล้อมของแหล่งปลูก

พันธุ์ข้าวโพดฝักสดเมื่อแบ่งโดยวิธีการผลิตเมล็ดพันธุ์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1.พันธุ์ผสมเปิด เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะทางการเกษตรไม่สม่ำเสมอ โดยทั่วไปให้ผลผลิตต่ำกว่าพันธุ์ลูกผสม แต่เมล็ดพันธุ์ราคาถูกกว่า และสามารถเก็บเมล็ดไว้ทำพันธุ์ต่อได้ 2-3 รุ่น โดยปลูกห่างจากพันธุ์อื่นไม่น้อยกว่า 200 เมตร หรือทิ้งช่วงการปลูกจากพันธุ์อื่นไม่น้อยกว่า 21 วัน แล้วคัดเลือกฝักที่มีลักษณะตรงตามพันธุ์อย่างน้อย 200 ต้นต่อไร่ พันธุ์ที่นิยมปลูกในปัจจุบัน มี 1 พันธุ์ คือฮาวายเอี้ยนชูการ์ซูเปอร์สวีท เมล็ดสีเหลือง มีอายุถึงวันออกไหมประมาณ 45-48 วัน เก็บเกี่ยวประมาณ 21 วัน หลังออกไหมร้อยละ 50 ให้ผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก 1,500-1,900 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตฝักสดปอกเปลือก 900-1,200 กิโลกรัมต่อไร่ มีความหวาน 14 องศาบริกซ์ หวานกรอบ เหมาะสำหรับบริโภคฝักสด

2. พันธุ์ลูกผสม เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากกว่าพันธุ์ผสมเปิด ในระยะเริ่มแรกของการผลิตข้าวโพดหวาน และข้าวโพดฝักอ่อน พันธุ์ที่เกษตรกรใช้ทั้งหมดจะเป็นพันธุ์ผสมเปิด ต่อมาได้มีการพัฒนาเป็นพันธุ์ลูกผสมซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะทางการเกษตรสม่ำเสมอ เช่น ขนาดฝัก ความสูงต้น ความสูงฝัก อายุวันออกดอกตัวผู้ และวันออกไหม วันเริ่มเก็บเกี่ยว และช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ ยังให้ผลผลิต คุณภาพสูงกว่าพันธุ์ผสมเปิด และเป็นที่ต้องการของตลาด และโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูป เมื่อพันธุ์ลูกผสมเริ่มมีบทบาทมากขึ้นทำให้หน่วยงานของรัฐ เอกชน ได้มีการพัฒนาพันธุ์ลูกผสมขึ้นมากมาย จนถึงปัจจุบันนี้พันธุ์ที่เกษตรกรใช้เพื่อผลิตข้าวโพดส่งโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปหรือตลาดภายในประเทศเป็นพันธุ์ลูกผสมแทบทั้งสิ้น แต่ไม่สามารถเก็บเมล็ดไว้ทำพันธุ์ได้ พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยมี 2 ชนิดคือ ข้าวโพดหวานที่มียีนบริทเทิล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เทิลควบคุมความหวาน ได้แก่ พันธุ์เอทีเอส2 หรือซูการ์ 74 และข้าวโพดหวานที่มียีนชรังเค่นควบคุมความหวาน เช่น พันธุ์ซูการ์ 73 ไฮ-บริกซ์ 10 และอินทรี 2 เป็นต้น โดยมีส่วนแบ่งการตลาดใกล้เคียงกัน โดยพันธุ์ที่นิยมปลูก มีเมล็ดสีเหลือง สามารถเก็บเกี่ยวประมาณ 18–20 วันหลังออกไหมร้อยละ 50 ได้แก่

เอทีเอส 2 เป็นพันธุ์ของ บริษัทผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวาน จำกัด หรือซูการ์ 74 เป็นพันธุ์ของ บริษัทซินเจนทาซีดส์ จำกัด อายุถึงวันออกไหม 50-52 วัน ผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก 2,000-3,000 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตฝักสดปอกเปลือก 1,400-1,800 กิโลกรัมต่อไร่ มีความหวานประมาณ 15 องศาบริกซ์ หวานกรอบไม่ติดฟัน เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปและบริโภคฝักสด

ซูการ์ 73 เป็นพันธุ์ของ บริษัทซินเจนทาซีดส์ จำกัด อายุถึงวันออกไหม 55-57 วัน ผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก 2,500-3,500 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตฝักสดปอกเปลือก 1,800-2,400 กิโลกรัมต่อไร่ มีความหวานประมาณ 14 องศาบริกซ์ หวานนุ่มไม่ติดฟัน ฝักมีขนาดใหญ่ เหมาะสำหรับบริโภคฝักสด

ไฮ-บริกซ์ 10 เป็นพันธุ์ของ บริษัทแปซิฟิกเมล็ดพันธุ์ จำกัด อายุถึงวันออกไหม 51-54 วัน ผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก 2,500-2,950 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตฝักสดปอกเปลือก 1,600-2,200 กิโลกรัมต่อไร่ มีความหวานประมาณ 14 องศาบริกซ์ หวานนุ่มไม่ติดฟัน เหมาะสำหรับบริโภคฝักสด และอุตสาหกรรมแปรรูป

อินทรี 2 เป็นพันธุ์ของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อายุถึงวันออกไหม 48-50 วัน ให้ผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก 1,800-2,300 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตฝักสดปอกเปลือก 1,200-1,400 กิโลกรัมต่อไร่ มีความหวานประมาณ 14.5 องศาบริกซ์ หวานกรอบไม่ติดฟัน เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูป และบริโภคฝักสด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ลักษณะประจำพันธ์ข้าวโพดหวานพันธุ์ลูกผสมที่เกษตรกรนิยมในปัจจุบัน

ลักษณะประจำพันธุ์	ไฮบริกซ์ 10	ไฮบริกซ์ 3	เอทีเอส 2	เอทีเอส 5	ซูการ์ 73	ซูการ์ 74	ซูการ์ 75
ชนิดยีนควบคุมความหวาน	ชรังเค่น 2	ชรังเค่น 2	บริทเทิล	ชรังเค่น 2	ชรังเค่น 2	บริทเทิล 1	ชรังเค่น 2
ผลผลิตทั้งเปลือก (กก./ไร่)	8,065	3,719	1,800-2,700	3,000-3,500	1,800-2,700	1,800-2,700	2,500-3,500
ผลผลิตปอกเปลือก (กก./ไร่)	2,027	2,558	1,200-2,100	2,400-2,800	1,200-2,100	1,200-2,100	1,900-2,900
อัตราแลกเนื้อ (%)	30	35	28-31	30-32	30	28-31	30-32
วันออกไหม (วัน)	51	48-50	49	48	48	49	48
ความสูงต้น (ซม.)	200	195	135-165	180-200	160-200	135-165	170-200
ความสูงฝัก (ซม.)	110	100	55-65	70-90	70-90	55-65	70-90
อายุเก็บเกี่ยวหลังออกไหม (วัน)	18	18	18-20	20	18-20	18-20	18-20
อายุเก็บเกี่ยวหลังปลูก (วัน)	70-75	65-70	70-75	68	72-75	70-75	72-77
สีไหม	ขาว	ขาว	ขาว-น้ำตาล	เขียวอ่อน	ขาว	ขาว-น้ำตาล	ขาว
คุณภาพการชิม	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก
ความหวาน (องศาบริกซ์)	ดีมาก	ดีมาก	16-17	ดีมาก	16	16-17	16
ความหนาเปลือกหุ้มเมล็ด	บาง	บาง	บาง	บาง	ปานกลาง	บาง	ปานกลาง
สีเมล็ด	เหลือง	เหลือง	เหลืองครีม	เหลืองทอง	เหลือง	เหลืองครีม	เหลืองครีม
จำนวนแถวเมล็ดต่อฝัก	14-16	16-18	14	16-18	14-16	14	14-16
ความยาวฝัก (ซม.)	19.7	20-22	16-18	21-22	18-20	16-18	19-21
ความกว้างฝัก (ซม.)	5.2	5.5-6.0	4.2-4.7	5-6	4.6-5.0	4.2-4.7	4.7-5.2
ความแข็งแรงของรากและลำต้น	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดีมาก	ดี	ดี	ดีมาก

(ที่มา: ทวีศักดิ์, 2536)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 ลักษณะประจำพันธ์ข้าวโพดหวานพันธุ์ผสมเปิด และพันธุ์ลูกผสมที่เกษตรกรนิยมในปัจจุบัน

ลักษณะประจำพันธุ์	พันธุ์ผสมเปิดฮาวาย เอี้ยนชูการ์ซูเปอร์สวิท	พันธุ์ลูกผสม				
		สองสี 58	สองสี 39	ทวิวรรณ 2	หวานดัชนี	อินทรี 2
ชนิดยีนควบคุมความหวาน	ชรังเค่น 2	ชรังเค่น 2	ชรังเค่น 2	ชรังเค่น 2	ชรังเค่น 2	ชรังเค่น 2
ผลผลิตทั้งเปลือก (กก./ไร่)	1,700	2,000	2,000	2,000	1,800	1,870
ผลผลิตปอกเปลือก (กก./ไร่)	1,050	1,400	1,400	1,400	1,300	1,208
อัตราแลกเนื้อ (%)	30	-	-	32	34	35
วันออกไหม (วัน)	45	47	52	45	46	48
ความสูงต้น (ซม.)	190	135-135	170-190	215	210	158
ความสูงฝัก (ซม.)	105	40-60	60-70	105	110	87
อายุเก็บเกี่ยวไหมหลังออกไหม (วัน)	18	18-20	18-20	18	18	18
อายุเก็บเกี่ยวหลังปลูก (วัน)	65-70	65-70	72-77	62	64	66
สีไหม	เหลือง	ขาว	ขาว	ขาว	ขาว	ขาว
คุณภาพการซีม	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	หวานนุ่ม	หวานนุ่ม	ดีมาก
คุณภาพการซีมความหวาน (องศาบริกซ์)	ดีมาก	17	17	15-16	15-16	15
ความหนาเปลือกหุ้มเมล็ด	บาง	ปานกลาง	ปานกลาง	-	-	บาง
สีเมล็ด	เหลือง	ขาว-เหลือง	ขาว-เหลือง	เหลืองอ่อน	เหลืองอ่อน	เหลือง
จำนวนแถวเมล็ดต่อฝัก	18-18	16-18	16-18	16-18	12-16	14-16
ความยาวฝัก (ซม.)	16.5	18-20	18-21	16-17	16-18	17
ความกว้างฝัก (ซม.)	5.0	4.9-5.4	4.8-5.3	4.5	3.5	4.4
ความแข็งแรงของรากและลำต้น	ดีมาก	ปานกลางดี	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดี

(ที่มา: ทวีศักดิ์, 2536)

2.2 การจำแนกชนิดของข้าวโพดหวาน

ชนิดของข้าวโพดหวาน สามารถจำแนกตามหน่วยพันธุกรรม (gene) ที่ควบคุม ได้ดังนี้

1.กลุ่มที่ควบคุมด้วยยีนชูการี่ (Sugary, su/su) ข้าวโพดหวานกลุ่มนี้มีปลูกในประเทศไทยมานาน มีความหวานเล็กน้อย มีน้ำตาลซูโครส (sucrose) ประมาณร้อยละ 10.2 ขณะที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะมีซูโครสประมาณร้อยละ 3.5 เมล็ดมีสีเหลืองอ่อน มีเปลือกหุ้มเมล็ดค่อนข้างเหนียว เวลารับประทานมักติดฟัน เมล็ดแก่จะเหี่ยวย่น เนื่องจากมีแป้งในเมล็ดเพียงร้อยละ 28 ทำให้เมล็ดเกิดการยุบตัวมาก พันธุ์ข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ พันธุ์อีเหี่ยว

2.กลุ่มที่ควบคุมด้วยยีนชรังเค่น (Shrunken, sh/sh หรือ sh2/sh2) ข้าวโพดหวานกลุ่มนี้มีความหวานสูงกว่าในกลุ่มแรก มีซูโครส ประมาณร้อยละ 30 เมื่อต้ม และทิ้งไว้จนเย็นจะเหนียวเร็วกว่ากลุ่มแรก เมล็ดมีสีเหลืองส้ม เปลือกหุ้มเมล็ดเหนียวน้อยกว่ากลุ่มแรก เวลารับประทานมักจะไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่อยติดฟัน หรือมีติดอยู่บนซังเพียงเล็กน้อย เมล็ดแก่จะยุบตัวมากกว่าเพราะมีแป้งเพียงร้อยละ 18 พันธุ์ข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มนี้ เช่น พันธุ์อินทรี 2, ชูการ์ 73, ไฮบริกซ์ 5 และไฮบริกซ์ 10 เป็นต้น

3.กลุ่มที่ควบคุมด้วยยีนบริทเทิล (Brittle, bt/bt หรือ bt2/bt2) ข้าวโพดหวานในกลุ่มนี้จะมีความหวานใกล้เคียงกับกลุ่มที่สอง เมล็ดมีสีเหลืองนวล เปลือกหุ้มเมล็ดบาง เวลารับประทานกัดหลุดจากซังง่าย เวลารับประทานจึงไม่ติดฟัน และจะมีความหวานกรอบมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ และพันธุ์ที่มียีนบริทเทิล ควบคุมความหวาน เช่น พันธุ์เอทีเอส 2 หรือ ชูการ์ 74

4.กลุ่มที่มียีนเสริม ข้าวโพดหวานชนิดนี้จะมียีนที่เป็น homozygous recessive อยู่หนึ่งตำแหน่ง แต่อีกตำแหน่งหนึ่งจะเป็น heterozygous เมื่อนำเมล็ดไปปลูกเพื่อผลิตฝักสด ยีนที่เป็น heterozygous จะแยกตัวตามกฎของ Mendel มีผลทำให้ร้อยละ 25 ของเมล็ดที่เรารับประทานนั้นเป็น double recessive ทำให้ผู้รับประทานมีความรู้สึกว่าข้าวโพดหวานขึ้นข้าวโพดหวานพวกนี้มียีนชูการี่ เป็นพื้นฐานเพราะนักปรับปรุงพันธุ์ต้องการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานให้หวานขึ้นโดยการนำยีน sh2 หรือซูการ์รีเอ็นฮานเซอร์ (Sugary enhancer, se) มาช่วยเสริมตัวอย่างข้าวโพดหวานชนิดนี้ คือ พันธุ์ Sugar Loaf, Honey Comb และ Sugar Time เป็นต้น

5.กลุ่มที่เกิดจากยีนร่วม เนื่องจากข้าวโพดหวานธรรมดามีความหวานน้อย และปัญหาเรื่องอัตราความงอกต่ำในข้าวโพดหวานพิเศษ นักปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานจึงได้พยายามนำยีนต่าง ๆ มาอยู่ร่วมกันในสภาพ homozygous recessive ที่ทุก ๆ ตำแหน่ง เพื่อให้ได้ข้าวโพดหวานที่มีคุณภาพดีขึ้น คือ มีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้น และแก้ปัญหาในเรื่องอัตราความงอกต่ำ

2.3 การเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน

การเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่เหมาะสม จะสัมพันธ์กับความแก่-อ่อน ขนาด รูปร่าง รสชาติ และน้ำหนักของข้าวโพดหวาน การเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม รวมทั้งการรักษาคุณภาพของผลผลิตก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณภาพผลผลิตเมื่อถึงมือผู้บริโภคไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบของบรรจุกระป๋อง การส่งสดหรือการแช่แข็ง การเก็บข้าวโพดหวานก่อนหรือหลังช่วงที่เหมาะสมเพียง 1-2 วัน จะทำให้คุณภาพ และผลผลิตของฝักไม่ได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ อายุการเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ฤดูปลูก ผู้ปลูกจะต้องทราบวันปลูก ปัจจุบันข้าวโพดหวานแต่ละพันธุ์มีอายุใกล้เคียงกันคือ จะออกดอกประมาณ 45-50 วันหลังปลูก และเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดหวานมีอายุไม่เกิน 73 วัน ซึ่งการกำหนดระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมสามารถทำได้โดยระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเมื่อข้าวโพดพร้อมเก็บส่วนปลายฝักจะยุบตัวได้ง่ายเมื่อใช้นิ้วหัวแม่มือกดลงเมล็ดภายในจะเต่งมีสีเหลืองอ่อนสดใส โดยทั่วไปจะเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานเมื่อมีอายุ 18-20 วันหลังออกไหมร้อยละ 50 (ฤดูหนาวจะเก็บช้าไปอีก 3-5 วัน)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพราะเป็นช่วงเวลาที่เมล็ดมีความเต่ง เปลือกเมล็ดไม่หนาเกินไป การเก็บเกี่ยวก่อนกำหนดจะทำให้ข้าวโพดหวานอ่อนเกินไปและมีน้ำหนักฝักน้อย ในขณะที่การเก็บอายุมากเกินไป ถึงแม้จะได้น้ำหนักฝักมากขึ้น แต่เปลือกเมล็ดจะหนา และข้าวโพดหวานเสียคุณภาพ ดังนั้น เกษตรกรผู้ปลูกต้องจดบันทึกวันออกไหมและทำการนับต้นข้าวโพดหวานที่ออกไหม โดยถือว่าวันที่มีจำนวนต้นออกไหมครบร้อยละ 50 เป็นวันออกไหมแล้วนำมากำหนดวันเก็บเกี่ยว โดยนับจากวันออกไหมร้อยละ 50 18-20 วัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของข้าวโพดหวาน นอกจากนี้สามารถสังเกตได้ โดยดูว่าไหมมีสีน้ำตาลเข้มหรือยัง การใช้พันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมซึ่งมีช่วงการออกดอกสม่ำเสมอทำให้เกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เสร็จสิ้นภายใน 1-2 วัน เมื่อถึงอายุเหมาะสมในกรณีที่ปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ผสมเปิด ซึ่งจะออกดอกไหมพร้อมเพรียงกัน อาจจะมีช่วงการออกดอกถึง 7 วัน จะต้องทยอยเก็บเกี่ยว 2-3 ครั้ง ดังนั้น การเก็บเกี่ยวจึงต้องดูแต่ละต้นโดยดูว่าไหมมีสีน้ำตาลเข้มหรือยัง ส่วนปลายฝักจะยุบตัวได้ง่ายเมื่อใช้มือบีบ และเพื่อให้แน่ใจก็ต้องฉีกเปลือกข้าวโพดใบบนสุดดู ถ้าเมล็ดมีสีเหลืองอ่อน ใช้เล็บกดที่เมล็ดส่วนปลายฝักจะมีน้ำนมไหลออกมา แสดงว่าอีกสองวันจะต้องเก็บ แต่ถ้าสีเมล็ดยังขาวอยู่ก็แสดงว่ายังอ่อนเกินไปและถ้ามีสีเหลืองและเมล็ดเริ่มเหี่ยวก็แสดงว่าแก่จัดเกินไป

วิธีการเก็บเกี่ยว ทำการปลิดฝักสดออกจากต้นไม่ต้องปอกเปลือก การเก็บรักษาข้าวโพดหวานในอุณหภูมิห้อง ถ้าเก็บไว้โดยไม่ปอกเปลือกจะยังคงสภาพความสดไว้ได้ประมาณ 24 ชั่วโมง แต่ถ้าเก็บในสภาพที่ปอกเปลือกแล้ว ความสดของข้าวโพดหวานจะลดลงตามอายุของข้าวโพดหลังการเก็บเกี่ยว หลังจากเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานแล้วควรส่งถึงผู้บริโภคหรือโรงงานโดยเร็วที่สุดภายใน 24 ชั่วโมง ในกรณีเก็บเพื่อส่งตลาด ควรตัดให้มีส่วนของลำต้นติดโคนฝักประมาณ 20 เซนติเมตร จะช่วยยืดความสดและความหวานได้อีกประมาณ 24 ชั่วโมง รวมเป็น 48 ชั่วโมง และควรเก็บฝักข้าวโพดหวานไว้ในที่ร่ม ไม่ให้ถูกแสงแดดโดยตรงและไม่กองสุมกัน และมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

ลักษณะฝักมาตรฐานที่ตลาดต้องการมาตรฐานของข้าวโพดหวานโดยทั่วๆ ไปที่ส่งมอบให้โรงงานแปรรูป หรือใช้เป็นมาตรฐานส่งตลาดมีลักษณะดังนี้

1.เป็นฝักที่ได้จากต้นที่มีความสมบูรณ์แข็งแรงไม่มีโรคหรือแมลงรบกวน ฝักไม่ควรมีลักษณะฝักเน่า ฝักกัดแทะ ฝักขนาดเล็กหรือขนาดจิ๋ว หรือฝักสองที่ไม่มีเมล็ด ฝักหนอนเจาะ ฝักแก่หรืออ่อนเกินไป เมล็ดไม่เต็มฝัก เป็นต้น

2.ขนาดของฝักเมื่อปอกเปลือกแล้ว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-5 เซนติเมตร ความยาว 15-18 เซนติเมตร น้ำหนักฝักไม่ควรต่ำกว่า 250 กรัม

3.ฝักควรเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดโคนและปลายฝักต่างกันไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.ฝักเมื่อปอกเปลือกแล้ว มีเมล็ดเรียงเป็นระเบียบ 12-16 แถว แถวหนึ่งมีเมล็ดประมาณ 30-40 เมล็ด

5.เส้นไหมร่วงจากเมล็ดได้ง่าย และไม่ติดค้างตามร่องเมล็ด

6.สีเมล็ดสม่ำเสมอทั้งฝัก มีสีเหลืองสดหรือเหลืองทอง สม่ำเสมอตรงตามพันธุ์

7.มีซังเล็ก

8.ความหวานไม่ต่ำกว่า 14 องศาบริกซ์ ความหวานควรลดลงอย่างช้าๆ และความหวานได้นานไม่ต่ำกว่า 36 ชั่วโมง

ข้าวโพดหวานแบ่งได้เป็นสามกลุ่มตามช่วงเวลาฤดูการปลูกที่ต้องการเก็บฝักรับประทาน คือ 1. กลุ่มที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น (early)

2. กลุ่มที่มีอายุการเก็บเกี่ยวปานกลาง (medium)

3.กลุ่มที่มีอายุการเก็บเกี่ยวยาว (late)

แต่ละกลุ่มยังสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ (ตาราง2.3) ระยะแรกเป็นระยะก่อนที่จะมีน้ำนม (premilk stage) เมล็ดข้าวโพดระยะนี้จะหวานมาก น้ำในเมล็ดจะใส และฉ่ำ แต่เมล็ดยังอ่อนและมีขนาดเล็ก เมื่อเมล็ดแก่และมีขนาดใหญ่ขึ้นน้ำในเมล็ดจะมีสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนมจัดเป็นระยะที่สองเรียกว่า ระยะมีน้ำนม (milky stage) (ตาราง2.3) ในระยะนี้ปริมาณความชื้นและน้ำตาลจะลดลง ปริมาณแป้งจะเพิ่มขึ้น ทำให้เมล็ดข้าวโพดหวานมีลักษณะเนื้อสัมผัสข้างในเป็นครีม (creamy texture) ขนาดของเมล็ดจะโตเต็มที่ และอวบเต่งมาก หลังจากนั้นจะพัฒนาเข้าสู่ระยะที่สามเป็นระยะที่เป็นแป้ง (dough stage) ซึ่งเป็นระยะที่เมล็ดข้าวโพดหวานมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นแป้ง แข็ง เปลือกหุ้มเมล็ดเหนียว คุณภาพข้าวโพดหวานในระยะนี้แก่เกินไปไม่เหมาะที่จะนำมาบริโภค (Huelsen, 1954)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของข้าวโพดหวานในระยะต่าง ๆ ของความแก่อ่อน

ฤดูการปลูก	ความแก่อ่อน	จำนวนที่ใช้ทดสอบ (ฝัก)	ความชื้น (ร้อยละw/w)	น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละw/w)	แป้ง (ร้อยละw/w)
Early	Premilk	9	85.10	6.26	3.29
Early	Milk	18	80.16	5.79	7.72
Early	Early dough	9	71.07	3.91	16.35
Early	Dough	18	63.92	3.17	21.62
Late	Premilk	14	88.75	5.76	2.71
Late	Milk	16	83.54	5.81	5.51
Late	Early dough	16	71.95	3.38	11.24

(ที่มา : Radomir, 1996)

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพด

เมล็ดข้าวโพดประกอบด้วยคัพภะ (germ) เอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) เยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) และทิปแคป (tip cap) ปริมาณร้อยละ 10, 80, 6 และ 0.8 ของเมล็ดโดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ (Radomir, 1996) ในแต่ละส่วนของเมล็ดมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน องค์ประกอบทางเคมีในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวโพด แสดงดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 องค์ประกอบทางเคมีในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวโพด

องค์ประกอบทางเคมี	เยื่อหุ้มเมล็ด (ร้อยละw/w)	เอ็นโดสเปิร์ม (ร้อยละw/w)	คัพภะ (ร้อยละw/w)
โปรตีน (N* 6.25)	3.7	8.0	18.4
ส่วนที่ละลายในอีเธอร์	1.0	0.8	33.2
เยื่อใย	86.7	2.7	8.8
เถ้า	0.8	0.3	10.5
แป้ง	7.3	87.6	8.3
น้ำตาล	0.34	0.62	10.8

(ที่มา: Shukla and Cheryan, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวโพด ได้แก่

1.โปรตีน เมล็ดข้าวโพดมีโปรตีนประมาณร้อยละ 10 อยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์มร้อยละ 76 และอยู่ในส่วนคัพภะร้อยละ 20 (Watson and Ramstad, 1991) แม้ว่าคัพภะจะเป็นส่วนน้อยของเมล็ด แต่ก็มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูงถึง 2 เท่าของโปรตีนในเอนโดสเปิร์ม (Wilson, 1991) โดยเอนโดสเปิร์มมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบเพียงร้อยละ 9 ในขณะที่คัพภะข้าวโพดมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 19 (Reiners *et al.*, 1973) และเป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันโดยโปรตีนในคัพภะจะเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูงกว่าโปรตีนในเอนโดสเปิร์ม เนื่องจากมีโปรตีนชนิดที่จำเป็นต่อร่างกาย มากกว่า (Wilson, 1991) โปรตีนในข้าวโพดอาจแบ่งได้เป็น 4 ประเภทตามคุณสมบัติการละลาย ได้แก่ อัลบูมิน (albumin) ซึ่งจะละลายในน้ำหรือละลายในน้ำที่มีกรดอยู่เล็กน้อยที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6.6 และจะตกตะกอนทันทีเมื่อได้รับความร้อน โกลบูลิน (globulin) ละลายในน้ำเกลือเจือจางที่ค่าพีเอช 7.0 (โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์) โพรลามีน (prolamine) หรือ เซอีน (zein) ละลายในเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 และกลูเตลิน (glutelin) จะไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในสารละลายกรด- ด่าง (Matsuo *et al.* ,1997) ซึ่งโปรตีนแต่ละชนิดในข้าวโพดจะมีปริมาณแตกต่างกันตามส่วนประกอบของเมล็ด ดังแสดงในตาราง 2.5 โดยโปรตีนในเอนโดสเปิร์มเป็นโปรตีนชนิดเซอีนเป็นส่วนมาก (ร้อยละ 47) โดยมีกลูเตลินในปริมาณรองลงมา (ร้อยละ39) แต่โปรตีนชนิดเซอีนเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำ โดยขาดกรดอะมิโนที่สำคัญได้แก่ไลซีน (lysine) และทริปโตเฟน (tryptophan) แต่โปรตีนในคัพภะส่วนใหญ่เป็นพวกอัลบูมิน (ร้อยละ30) และโกลบูลิน (ร้อยล30) โดยมีกลูเตลินในปริมาณรองลงมา (ร้อยละ 25) และมีเซอีนเพียง (ร้อยละ5) โปรตีนในคัพภะข้าวโพดจึงมีคุณสมบัติต่างจากโปรตีนส่วนใหญ่ของเมล็ดข้าวโพด ซึ่งโปรตีนอัลบูมินและโกลบูลินจะมีกรดอะมิโนจำเป็นพวกไลซีน (lysine), อาจินิน (arginine) และทริปโตฟาน (tryptophan) มากกว่าโปรตีนพวก เซอีน และกลูเตลิน ซึ่งไลซีนและ ทริปโตฟานนี้เองที่เป็นข้อจำกัดคุณภาพของโปรตีนในข้าวโพดทั้งเมล็ด แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าโปรตีนในคัพภะข้าวโพดยังขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิด ได้แก่ไทโรซีน (tyrosine) ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) และกรดอะมิโนจำพวกที่มีสารประกอบซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ (sulphur compound amino acid) ซึ่งเป็นข้อด้อยของโปรตีนที่ได้จากพืชแทบทุกชนิด แม้แต่โปรตีนในถั่วเหลือง และสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นของคัพภะข้าวโพดจะแตกต่างกันไปบ้างตามพันธุ์ ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในส่วนของคัพภะข้าวโพด และเอ็นโดสเปิร์มแสดงดังตาราง 2.5

ในอดีตมักใช้ประโยชน์จากโปรตีนในคัพภะข้าวโพดเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ เนื่องจากมีส่วนของเส้นใยปนอยู่มาก แต่ในปัจจุบันมีวิธีการเตรียมคัพภะให้มีคุณภาพดีขึ้น เหมาะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นำมาใช้ในอาหารมนุษย์ และมีการใช้เป็นแหล่งโปรตีนแหล่งใหม่เสริมในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ขนมปัง คุกกี้ (Mertz, 1992)

ตาราง 2.5 ส่วนประกอบของเมล็ด และปริมาณโปรตีนในแต่ละส่วนของเมล็ด

ส่วนประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เมล็ด	เอนโดสเปิร์ม	คัพภะ	เปลือก
เมล็ดข้าวโพด	100	84	10	6
โปรตีนในเมล็ด	100	76	20	4
อัลบูมิน	8	4	30	-
โกลบูลิน	9	4	30	-
เซอีน	39	47	5	-
กลูเตลิน	40	39	25	-

(ที่มา : Reiners *et al.*, 1973)

ตาราง 2.6 ชนิด และปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นของเอ็นโดสเปิร์ม และคัพภะข้าวโพด

กรดอะมิโน	เอ็นโดสเปิร์ม	คัพภะ	FAO/WHO Pattern
			mg/g N
ทริปโตเฟน	38	62	60
ทีโอนีน	249	366	250
ไอโซลิวซีน	289	249	250
ลิวซีน	810	444	440
ไลซีน	180	341	340
ซัลเฟอร์	179	156	220
ฟีนิลลานีน	284	208	380
ไทโรซีน	382	148	380
วาลีน	319	340	310

(ที่มา : FAO, 1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.ไขมัน ในเมล็ดข้าวโพดส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนของคัพภะซึ่งคิดเป็นร้อยละ 78 ของน้ำมันทั้งหมดในเมล็ด ในส่วนของคัพภะจะพบไขมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 32.55 ของน้ำหนักแห้ง น้ำมันที่ได้จากเมล็ดข้าวโพดจะมีปริมาณมากขึ้นเมื่อขนาดของคัพภะใหญ่ขึ้นแต่จะมีปริมาณโปรตีนต่ำลง น้ำมันข้าวโพดจัดเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพสูง คือมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณมาก และเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็นที่สำคัญ ลิปิดจากคัพภะข้าวโพดมีปริมาณไตรกลีเซอร์ไรด์มากถึงร้อยละ 90 ของลิปิดทั้งหมด ไกลโคไลปิด และฟอสโฟไลปิด ร้อยละ 2.5 ของน้ำมันทั้งหมดที่ได้จากคัพภะ ไขมันในคัพภะส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ประกอบด้วยกรดลิโนเลอิค (linoleic, 18 : 2) ร้อยละ 44, กรดโอเลอิก (oleic, 18 : 1) ร้อยละ 37 และกรดลิโนเลนิค (linolenic, 18 :3) ในปริมาณเล็กน้อย (ร้อยละ 1.5) นอกจากนี้ยังมีสารป้องกันการเติมออกซิเดชันตามธรรมชาติ คือ tocopherol ในปริมาณสูง (Ilavska and Crkonova, 1978) เมื่อเปรียบเทียบกับไขมันในเอ็นโดสเปิร์มพบว่าในส่วนของคัพภะมีระดับของกรดโอเลอิก (18 :1) และลิโนเลอิก (18 : 2) สูงกว่า แต่มีกรดลิโนเลอิก (18 : 3) ต่ำกว่าไขมันในเอ็นโดสเปิร์ม และพบกรดไขมันอิสระในคัพภะข้าวโพดเพียงร้อยละ 0.6 ของน้ำมันทั้งหมด ในขณะที่ในเอ็นโดสเปิร์ม และเมล็ดข้าวโพดมีมากถึงร้อยละ 36 และ 6.5 ตามลำดับ ซึ่งกรดไขมันอิสระนี้มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Weber, 1978) Jellum (1970) ศึกษาการใช้ gas liquid chromatography ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันที่ได้จากแต่ละส่วนของเมล็ดข้าวโพด พบว่าอายุการเก็บเกี่ยวข้าวโพดมีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในแต่ละส่วนของเมล็ดข้าวโพด กล่าวคือ เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวของข้าวโพดมากขึ้น พบว่าน้ำมันที่สกัดจากคัพภะมีกรดปาล์มมิติก โอเลอิก และลิโนเลนิกลดลง ในขณะที่กรดลิโนเลอิกเพิ่ม (Weber, 1978)

3. คาร์โบไฮเดรตในคัพภะข้าวโพดอยู่ในรูปของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ซึ่งต่างจากในส่วนของเอนโดสเปิร์มที่พบในรูปของแป้ง น้ำตาลที่พบในข้าวโพดส่วนใหญ่ประมาณ 3 ใน 4 ของน้ำตาลทั้งหมดจะอยู่ในส่วนของคัพภะข้าวโพด และเป็นน้ำตาลซูโครส ส่วนน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส จะพบในปริมาณน้อย (สนิท, 2527)

4. เกลือแร่ และวิตามินในข้าวโพดกว่าร้อยละ 80 จะพบอยู่ในส่วนของคัพภะ ซึ่งเกลือแร่ที่พบได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส สังกะสี โปตัสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก โซเดียม และซัลเฟอร์ ส่วนวิตามินที่พบส่วนใหญ่เป็นวิตามินที่ละลายอยู่ในไขมันได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค โดยมีปริมาณวิตามินเอมากถึง 490 IU/100 g. ของเมล็ดข้าวโพด ซึ่งต่างกับข้าวโพดที่มีสีขาวซึ่งจะมีวิตามินเอน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามการปรับปรุงพันธุ์พืชก็เป็นแนวทางที่สามารถเพิ่มปริมาณวิตามินเอได้ (Watson and Ramstad, 1991) นอกจากนี้ข้าวโพดชนิดที่มีสีเหลืองมักมีสารประกอบแคโรทีนอยอยู่หลายชนิด ซึ่งประกอบด้วยแคโรทีน คริปโตแซนธิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และเบต้าแคโรทีน Ilavska and Crkonova (1978) ทำการศึกษาหาปริมาณ tocopherol และ phytosterol ซึ่งเป็นสารป้องกันการเติมออกซิเดชันตามธรรมชาติ (antioxidant) ในตัวอย่างน้ำมันจากคัพภะของข้าวโพด และจากคัพภะของข้าวสาลีที่ผ่านการทำแห้ง ผลปรากฏว่ามีปริมาณ tocopherol 135 และ 220 μg/100 ml. ตามลำดับ ส่วน phytosterol มีในปริมาณ 72 และ 31 mg./100ml. ตามลำดับ

คัพภะเป็นส่วนที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมัน และโปรตีนที่มีอยู่ในปริมาณถึงร้อยละ 33.2 และ 18.4 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งยังเป็นแหล่งวิตามิน และเกลือแร่ด้วย

ส่วนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีพบว่า ในเมล็ดข้าวโพดที่ยังอ่อน (young kernel) จะมีปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำตาลอยู่สูง เนื่องจากมีแป้ง และเดกซ์ทรินอยู่ปริมาณน้อย ในระหว่างที่เมล็ดข้าวโพดหวานมีการเจริญเติบโตจะพบว่าปริมาณน้ำตาลจะลดลง โดยปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเมล็ดจะมีมากที่สุดเมื่อเมล็ดมีอายุ 15 วัน หลังจากวันผสมเกสร (ตาราง 2.7) หลังจากนั้นปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซิ่ง (nonreducing sugar) จะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทำนองเดียวกันกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งจะลดลงอย่างรวดเร็ว ปริมาณน้ำตาลในเมล็ดข้าวโพดหวานจะเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกันกับความชื้น คือ จะลดลงเมื่ออายุแก่มากขึ้น (Reyes *et al.*, 1982) พบว่าในข้าวโพดหวานที่มียีนเหมือนกันคือ Jubilee หรือ Xtra Sweet77 แต่มีปริมาณความชื้นที่ต่างกันก็จะมีความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลในเมล็ดข้าวโพดด้วย โดยในข้าวโพดหวานพันธุ์ Jubilee ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวอ่อนกว่าจะมีอัตราส่วนของซูโครสต่อกลูโคสต่อฟรุคโตรส (sucrose : glucose : fructose) เป็น 15:1:1 และในข้าวโพดหวานพันธุ์ Xtra Sweet77 เป็น 20:1:1 ในขณะที่เมล็ดกำลังมีการเจริญเติบโตนั้น ปริมาณโพลีแซคคาร์ไรด์ที่ละลายน้ำได้จะเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับปริมาณโพลีแซคคาร์ไรด์ทั้งหมดในเมล็ด (Huelsen, 1954) ปริมาณของโพลีแซคคาร์ไรด์ที่ละลายน้ำได้จะเปลี่ยนไปในทางตรงกันข้ามกับปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวโพดหวาน คือจะเพิ่มขึ้นเมื่อเมล็ดมีอายุแก่มากกว่า (Creech, 1968) จากตาราง2.7 หลังจากวันออกไหม 20 ถึง 30 วัน ข้าวโพดหวานจะมีโพลีแซคคาร์ไรด์ที่ละลายในน้ำได้ประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณโพลีแซคคาร์ไรด์ทั้งหมด (Huelsen, 1954) โพลีแซคคาร์ไรด์ที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพดหวานซึ่งส่วนใหญ่เป็นไฟโตไกลโคเจน เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับไกลโคเจนในเนื้อสัตว์คือเป็นสารประกอบ α -(1->4) glucan และมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา (α -(1->6) linkage) คล้ายอะมิโลเพคติน แต่มีกิ่งก้านสาขาที่มากกว่า โมเลกุลของไฟโตไกลโคเจนประกอบด้วยกลูโคส ฟรุคโตส มอลโตส และมอลโตเด็กตริน (Peat *et al.*, 1956)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากที่เมล็ดข้าวโพดหวานเจริญเต็มที่แล้วปริมาณเดกซ์ทริน และแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในระหว่างสัปดาห์ที่ 2 และ 3 หลังจากผสมเกสรการเปลี่ยนแปลงร้อยละของน้ำตาลทั้งหมด และร้อยละของเดกซ์ทริน และแป้งจะเป็นไปในทางตรงกันข้ามคือน้ำตาลทั้งหมดลดลง ในขณะที่เดกซ์ทริน และแป้งจะเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนสภาพของน้ำตาลภายในเมล็ดข้าวโพดจะเกิดอย่างรวดเร็ว ซึ่งน้ำตาลส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นเดกซ์ทริน และแป้งซึ่งในระยะนี้น้ำหนักของเมล็ดเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงร้อยละของคาร์โบไฮเดรทในเมล็ดข้าวโพดจะเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงเวลานี้ หลังจากนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในการพัฒนาของเมล็ดข้าวโพดหวานพบว่าความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณแป้งจะเป็นไปในลักษณะเส้นตรง (linear) ในขณะที่ความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลอินเวิร์สจะเป็นไปในลักษณะเส้นโค้ง เมล็ดที่มีอายุแก่มากขึ้นจะมีปริมาณเปลือกหุ้มเมล็ดมากขึ้น (ละอองวรรณ, 2530) การเปลี่ยนแปลงเปลือกหุ้มเมล็ดนี้เกี่ยวข้องกับความอ่อนนุ่มของเมล็ด เมล็ดข้าวโพดหวานที่มีอายุน้อยกว่าจะมีความนุ่มของเมล็ดสูงกว่าเมล็ดที่อายุแก่กว่าความหนาของเปลือกหุ้มเมล็ด และความเหนียวของเปลือกหุ้มเมล็ดเพิ่มขึ้นเมื่อเมล็ดแก่ขึ้นแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของความเหนียวของเปลือกหุ้มเมล็ดแต่ละชนิด และสายพันธุ์ของข้าวโพดหวานก็จะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฤดูการปลูกด้วยเป็นผลให้เมล็ดข้าวโพดแต่ละสายพันธุ์มีความเหนียวแตกต่างกัน ข้าวโพดหวานที่คุณภาพดีจะมีค่าความเหนียวของเปลือกเมล็ดต่ำ โดยทั่วไปแล้วข้าวโพดหวานจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดนุ่มกว่าข้าวโพดไร่ (Huelsen, 1954)

เมล็ดข้าวโพดหวานควรมีสีเหลืองใสหรือเหลืองสว่างไม่เป็นสีเทาหรือออกสีน้ำตาลซึ่งสีน้ำตาลนี้จะเกิดมากหรือน้อยเนื่องมาจากปฏิกิริยาคาราเมล (caramelization) ของน้ำตาลหลังจากผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนความแก่อ่อนของเมล็ดข้าวโพดเป็นปัจจัยในการเกิดสีน้ำตาลด้วย เพราะเมื่อข้าวโพดแก่ขึ้นไม่เพียงแต่ปริมาณน้ำตาลจะลดลง แต่รวมถึงปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้นจะมีส่วนในการลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ข้าวโพดหวานชนิดเอ็นโดสเปิร์มสีเหลือง เมื่อบรรจุกระป๋องมีแนวโน้มที่จะให้สีคล้ำขึ้น เมื่อเมล็ดมีอายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสารสีแคโรทีนซึ่งเป็นโปรวิตามินเอ

บริเวณชั้นอัลลูโรนจะมียีนที่ให้สารสีน้ำตาลซึ่งจะมีผลต่อเอ็นโดสเปิร์มสีเหลืองให้มีสีเข้มขึ้น แม้ว่าจะไม่ใช่สารสีเดียวกันก็ตาม เข้าใจกันว่ายีนที่ชั้นอัลลูโรน และสีของเอ็นโดสเปิร์มจะมีความสัมพันธ์กัน แต่การทำงานร่วมกันของปัจจัยเหล่านี้ในข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ยีน Y จะให้สีส้มเข้ม และเอ็นโดสเปิร์มที่มีจีโนไทป์เป็น YYY, YYy และ Yyy จะมีสีจางลงมาตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างยีนเด่นในเอ็นโดสเปิร์ม และร้อยละของสารสีแคโรทีนอยด์ แสดงในตาราง 2.8 (Huelsen, 1954)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรตของข้าวโพดหวานในช่วงความแก่อ่อนต่าง ๆ กัน

อายุการเก็บเกี่ยวหลังออกไหม (วัน)	Dry Matter (ร้อยละ)	น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)	น้ำตาลรีดิวซิ่ง (ร้อยละ)	น้ำตาล 1/ นอนรีดิวซิ่ง (ร้อยละ)	WSP2/ (ร้อยละ)	โพลีแซคคาร์ไรด์ทั้งหมด (ร้อยละ)
5	9.47	3.81	3.07	0.74	0.10	1.38
10	11.70	4.37	2.73	1.64	0.09	1.82
15	21.40	5.31	1.49	3.84	3.99	9.12
20	28.80	3.95	1.06	2.89	8.66	16.82
25	33.31	3.02	0.75	2.27	11.62	21.76
30	38.66	2.68	0.61	2.07	12.86	24.94

หมายเหตุ WSP = โพลีแซคคาร์ไรด์ที่ละลายน้ำได้

1/ = คิดเทียบเป็นน้ำตาลซูโครส

2/ = คิดเทียบเป็นเดกซ์ทริน

C = คิดเทียบเป็นแป้ง (starch)

(ที่มา : Huelsen, 1954)

บริเวณชั้นอัลลูโรนจะมียีนที่ให้สารสีน้ำตาลซึ่งจะมีผลต่อเอ็นโดสเปิร์มสีเหลืองให้มีสีเข้มขึ้น แม้ว่าจะไม่ใช่สารสีเดียวกันก็ตาม เข้าใจกันว่ายีนที่ชั้นอัลลูโรน และสีของเอ็นโดสเปิร์มจะมีความสัมพันธ์กัน แต่การทำงานร่วมกันของปัจจัยเหล่านี้ในข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ยีน Y จะให้สีส้มเข้ม และเอ็นโดสเปิร์มที่มีจีโนไทป์เป็น YYY, YYy และ Yyy จะมีสีจางลงมาตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างยีนเด่นในเอ็นโดสเปิร์ม และร้อยละของสารสีแคโรทีนอยด์ แสดงในตาราง 2.8 (Huelsen, 1954)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.8 ความสัมพันธ์ของยีนเด่นในข้าวโพดหวานเอ็นโดสเปิร์มสีเหลืองกับความเข้มข้นของสารสีแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และเบต้าแคโรทีนในเอ็นโดสเปิร์ม

เอ็นโดสเปิร์ม	แคโรทีนอยด์ทั้งหมด		เบต้าแคโรทีน	
จีโนไทป์	ร้อยละ	อัตราส่วนต่อ Yyy	ร้อยละ	อัตราส่วนต่อ Yyy
YYY	0.000465	3.3	0.000131	3.1
YYy	0.000282	2.2	0.000079	1.9
Yyy	0.000139	1.0	0.000042	1.0
yyy	0.000042	0.3	0.000011	0.3

(ที่มา: Huelsen, 1954)

ในข้าวโพดไร่ปริมาณวิตามินเอจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนยีนเด่นที่ปรากฏในเอ็นโดสเปิร์มสีเหลือง ข้าวโพดไร่ที่มีจำนวนโครโมโซมมากเป็นสองเท่าจะเพิ่มปริมาณเบต้าแคโรทีนจากเดิมประมาณร้อยละ 40 แต่ปริมาณแคโรทีนกับลักษณะปรากฏของเมล็ดเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่น่าเชื่อถือนักในบางสายพันธุ์ เอ็นโดสเปิร์มสีเหลืองอ่อน (light yellow, Yyy) จะมีปริมาณแคโรทีนต่ำที่สุด แต่เอ็นโดสเปิร์มสีเหลือง (medium yellow, YYy) จะมีปริมาณแคโรทีนที่มากกว่าเอ็นโดสเปิร์มสีเหลืองเข้ม (dark yellow, YYY) เล็กน้อย เนื่องจากจะมียีนอิสระ ที่ให้สีน้ำตาลบริเวณชั้นอัลลูโรน

ปริมาณแคโรทีนอย่างหยาบในข้าวโพดสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นเมื่อยีน Y เพิ่มขึ้น แคโรทีนอยด์ของข้าวโพดสีเหลืองจะรวมถึง zeaxanthin isomers คือ lutein, cryptoxenthin, neo-cryptoxanthin, α -, β , carotene และ hydroxyl-α carotene ข้าวโพดหวานมีเบต้าแคโรทีน 0.9-1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ cryptoxanthin 2-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีการศึกษาพบว่าแคโรทีนอยด์ในข้าวโพดหวานคือ β - zeacarotene ข้าวโพดไร่สีเหลืองจะมีส่วนของวิตามินเอ active pigment ในรูปของ cryptoxanthin (3-hydroxy -β - carotene) ซึ่งมีศักยภาพประมาณครึ่งหนึ่งของเบต้าแคโรทีน

องค์ประกอบที่สำคัญต่อคุณภาพของข้าวโพดหวานอีกประการหนึ่งคือกลิ่นข้าวโพด (aroma) โดยส่วนใหญ่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีเมื่อได้รับความร้อนขณะแปรรูป (Azanza *et al.*, 1996) ได้ศึกษาองค์ประกอบที่ให้กลิ่นethanol, ehtanethiol, dimethylsulfide และสารระเหยอื่นไม่ระบุชนิด สารประกอบที่มีความสำคัญต่อกลิ่นข้าวโพดมากที่สุดคือ DMS อย่างไรก็ตามสารประกอบอื่นๆ ก็มีบทบาทสำคัญด้วย (Azanza *et al.*, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

DMS จะมีปริมาณ threshold ต่ำประมาณ 122 ppb (Part Per Billion) (William *et al.*, 1974) ปริมาณ DMS จะแตกต่างกันตามสายพันธุ์ ในข้าวโพดหวานดิบจะไม่พบสารประกอบ DMS แต่จะพบ S-methylmethionine sulfonium salt (MMS) เป็นสารตั้งต้น ซึ่งเมื่อได้รับความร้อน MMS จะเปลี่ยนไปเป็น DMS และ homoserine ปริมาณ DMS ของข้าวโพดหวานหลังจากการแช่แข็งจะมีค่าประมาณ 0.3-6.8 ppm (part per million) ขณะที่ข้าวโพด หวานบรรจุกระป๋องจะมีค่าประมาณ 10 – 16 ppm (Williams and Nelson, 1972) ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการลวกข้าวโพดหวานก่อนการแช่แข็งต่อศักยภาพในการเกิด DMS ในเมล็ดข้าวโพดภายหลังการลวกในน้ำเดือด พบว่าที่เวลาลวก 10 นาที ศักยภาพในการเกิด DMS ลดลงร้อยละ 60 – 75 และที่ 20 นาที จะลดลงถึงร้อยละ 81 – 92 นั่นคือการลวกมีผลทำให้สูญเสียกลิ่นขาวโพด ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมการลวกเพื่อรักษาคุณภาพด้านกลิ่นข้าวโพดให้เหมาะสม

2.5 เครื่องดื่มจากธัญพืช

แหล่งอาหารโปรตีนที่ดีโดยมากมาจากสัตว์แต่เนื่องจากในการเลี้ยงสัตว์เพื่อให้ได้มาของโปรตีนมีต้นทุนสูง เป็นผลให้ราคาของอาหารที่เป็นแหล่งของโปรตีนจากสัตว์มีราคาแพง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่กำลังพัฒนา และด้อยพัฒนา เป็นเหตุให้นักวิทยาศาสตร์การอาหารเกิดความสนใจที่จะใช้โปรตีนจากแหล่งอื่นที่มีปริมาณมาก และมีราคาถูกกว่ามาใช้แทนโปรตีนจากสัตว์ โปรตีนจากพืชเป็นแหล่งที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ทดแทนโปรตีนจากสัตว์ โดยนำมาทำเป็นเครื่องดื่มทดแทนน้ำนม และผลิตภัณฑ์นม ซึ่งอาจทดแทนเพียงบางส่วนหรือทดแทนทั้งหมดก็ได้

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนที่ใช้วัตถุดิบที่มาจากพืชได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากมีราคาถูก ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายได้แก่นมถั่วเหลือง และนมข้าวโพด ซึ่งในปัจจุบันมีการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรม เช่นนมถั่วเหลืองพาสเจอร์ไรซ์ สเตอริไรซ์ และยูเอชที ทั้งแบบบรรจุขวดและบรรจุกล่อง โดยมีการผลิตออกมาจำหน่ายในหลากหลายรูปแบบ เช่นชนิดเข้มข้นและชนิดผงเป็นต้น แต่ยังคงมีปัญหาทางด้านกลิ่นรส ซึ่งผู้บริโภคบางกลุ่มไม่ยอมรับ แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้ผู้บริโภคยอมรับมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศที่ด้อยพัฒนาต่อมามีการพัฒนาอย่างกว้างขวางขึ้นโดยใช้พืชชนิดอื่น ๆ เป็นวัตถุดิบ เช่น ถั่วพู งา และเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ ธัญพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ในรูป โปรตีนไอโซเลท และรวมถึงโปรตีนที่สกัดได้จากใบพืช และนอกจากเครื่องดื่มโปรตีนจากพืชจะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนโปรตีนจากสัตว์แล้ว ยังเป็นทางเลือกสำหรับผู้ที่มีอาการแพ้นม และผู้ที่ต้องการไขมันจากพืชแทนไขมันสัตว์ เนื่องจากไขมันจากสัตว์มีผลต่อการเกิดโรคหัวใจขาดเลือดและโรคความดันโลหิตสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พืชที่ใช้ในการทำเครื่องดื่มจากธัญพืช

1. ถั่วเหลือง ในปัจจุบันนมเทียมส่วนใหญ่ทำมาจากถั่วเหลือง ได้แก่ นมถั่วเหลือง ซึ่งในปัจจุบันได้มีการใช้เทคนิคต่างๆ ในการปรับปรุงคุณภาพทั้งในแง่คุณค่าทางโภชนาการให้เท่าเทียมกับนมวัวหรือนมมารดาและเรื่องรสชาติ ได้แก่ กลิ่นถั่ว ต้องพยายามลดกลิ่นถั่วลง จึงทำให้นมถั่วเหลืองในปัจจุบันนี้มีการยอมรับในการบริโภคกันอย่างแพร่หลายในประชาชนไทย

2.ถั่วลิสงเป็นพืชชนิดหนึ่งที่ใช้ทำนมถั่วลิสงได้หรืออาจใช้ผสมลงในนมถั่วเหลืองเพื่อปรับปรุงรสชาติของนมถั่วเหลืองให้มีความมันและอร่อยขึ้น ถั่วลิสงเป็นพืชที่มีโปรตีนและไขมันสูง และยังมีธาตุอาหารและวิตามินอีกหลายชนิด เช่น วิตามินบี 1 วิตมินบี 2 ซึ่งช่วยในเรื่องบำรุงประสาทและแก้โรคปากนกกระจอก ส่วนฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในปริมาณสูงเป็นธาตุที่มีความสำคัญในด้านความเจริญเติบโตของกระดูกและฟัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถั่วลิสงมีคุณค่าทางด้านอาหารเป็นอย่างมาก การทำนมถั่วลิสงยังไม่แพร่หลายเหมือนกับถั่วเหลือง เพราะถั่วลิสงมักจะมีสารพิษซึ่งเกิดจากรา Aspergillus flavus เรียกว่าแอฟลาท็อกซิน มีผลทำให้เป็นภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยทำให้เป็นภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภคคือทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับตับ ถั่วลิสงที่ผลิตขึ้นได้ในประเทศไทยนั้น พบว่ามีแอฟลาท็อกซินอยู่ในปริมาณน้อยต่างกันแล้วแต่คุณภาพของถั่วลิสงนั้น ส่วนมากถั่วลิสงที่ผลิตได้จากไร่เกษตรกรไม่ได้รับการดูแลที่ดีพอ ได้มีการเก็บตัวอย่างอาหารในภาคต่างๆ ของประเทศไทยจำนวน 2,179 ตัวอย่าง พบว่าจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดตัวอย่างถั่วลิสงมีเชื้อราปะปนอยู่มากถึงร้อยละ 81 ของจำนวนตัวอย่างถั่วลิสงที่เก็บมาตรวจ และถั่วลิสงมีแอฟลาท็อกซินปะปนอยู่ถึงร้อยละ 49 ของตัวอย่างถั่วลิสงทั้งหมด 216 ตัวอย่าง และจาก 216 ตัวอย่างพบว่า

36	ตัวอย่างมีแอฟลาท็อกซิน	1-5	ไมโครกรัม/กิโลกรัม
6	ตัวอย่างมีแอฟลาท็อกซิน	5-10	ไมโครกรัม/กิโลกรัม
2	ตัวอย่างมีแอฟลาท็อกซิน	10	ไมโครกรัม/กิโลกรัม

ซึ่งในอาหารที่ปลอดภัยจากแอฟลาท็อกซินกำหนดให้มีแอฟลาท็อกซินได้ 30 ไมโครกรัม/กิโลกรัม วิธีแก้ไขเมื่อเกิดแอฟลาท็อกซินแล้ว โดยการนำเอาถั่วลิสงก่อนที่จะทำเป็นนมถั่วลิสง หรืออาหารประเภทอื่นๆ มาล้างด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.5 ซึ่งจะสามารถสกัดเอาแอฟลา ท็อกซินออกมาได้ถึงร้อยละ 85

ส่วนวิธีป้องกันไม่ให้มีเชื้อราในถั่วลิสง โดยการทำให้ถั่วลิสงมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7 ส่วนการใช้สารเคมีที่พบว่าได้ผลดีที่สุดคือ ใช้สารผสมแอมโมเนียกับฟอสฟินในอัตราส่วน 1:1 หรือ 1:1.5 ใช้ในความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร พ่นลงบนถั่วลิสง จะสามารถป้องกันเชื้อราได้เป็นอย่างดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ถั่วพู ในประเทศไทยถั่วพูมักนิยมปลูกกันแบบสวนครัวภายในบ้านเพื่อบริโภคฝักอ่อน ปัจจุบันได้มีการทดลองนำเอาเมล็ดถั่วพูแก่มาทำเป็นนมถั่วพู โดยที่รสชาติของนมที่ได้นี้มีรสชาติอร่อยคือ มี Nutty flavor และปรุงแต่งรสให้มีความหวานมันและถ้าได้ผสมกลิ่นช็อกโกแลตลงไปด้วยจะทำให้ชวนรับประทานมากขึ้น แต่ปัญหาขณะนี้คือการปลูกถั่วพูต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงเพราะถั่วพูเป็นไม้เลื้อยต้องอาศัยไม้ค้ำสำหรับเลื้อย ผิดกับถั่วเหลืองและถั่วลิสงแล้ว เมล็ดถั่วพูแห้งก็จะกลายเป็นพืชเศรษฐกิจได้เช่นเดียวกับเมล็ดถั่วเหลืองและถั่วลิสง

เมล็ดแห้งของถั่วพูมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 36.6 ไขมันร้อยละ 15.3 โปแตสเซียม 1000 มิลลิกรัม/100 กรัม ฟอสฟอรัส 450 มิลลิกรัม/100 กรัม แคลเซียม 230 มิลลิกรัม/100 กรัม แมกนีเซียม 255 มิลลิกรัม/100 กรัม โซเดียม 64 มิลลิกรัม/100 กรัม เหล็ก 11 มิลลิกรัม/100 กรัม

โปรตีนที่สกัดได้จากเมล็ดถั่วพูแก่จะมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนใกล้เคียงกันกับถั่วหลือง ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นโปรตีนชั้นเยี่ยมจากพืช อย่างไรก็ตาม โปรตีนถั่วพูยังขาดกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าถั่วเหลืองและถั่วลิสง และยังมีปริมาณไลซีนสูงมาก ดังนั้นโปรตีนของถั่วพูจึงใช้เสริมอาหารประเภทธัญพืชซึ่งขาดไลซีนได้ดี

4. ข้าวโพด ข้าวโพดที่จะทำเป็นนมข้าวโพดได้จะต้องเป็นข้าวโพดสดในระยะน้ำนม นมข้าวโพดที่ทำได้นี้จะต้องปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนโดยการเพิ่มนมถั่วเหลืองและนมผงลงไป เพื่อให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนดีขึ้น องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดจะมีโปรตีนร้อยละ 8.2 ไขมันร้อยละ 3 และแป้งร้อยละ 55.5 ดังนั้น ในการทำนมข้าวโพดจึงต้องเติมโปรตีนของถั่วเหลืองและนมผงลงไป เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในข้าวโพดให้ดีขึ้น

5. รำข้าว รำข้าวสามารถใช้ทำนมรำข้าวและยังใช้แทนนมวัวได้ซึ่งเป็นที่ยอมรับในการบริโภค นมจากรำข้าวนี้จะมีโปรตีนร้อยละ 3.6 ไขมันร้อยละ 4 เกลือแร่ร้อยละ 0.70 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 4.8 และความชื้นร้อยละ 87.1 ส่วนนมวัวจะมีโปรตีนร้อยละ 3.42 ไขมันร้อยละ 3.67 เกลือแร่ร้อยละ 0.73 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 8.77 และความชื้นร้อยละ 87.3

6. ข้าวเจ้า ใช้ทำนมข้าวเจ้าได้ แต่ถ้าจะให้คุณค่าทางโภชนาการเท่าเทียมกับนมวัวหรือนมมารดาแล้ว ต้องมีการผสมนมวัวลงไปด้วยเพราะโปรตีนของข้าวขาด Lysine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนตัวจำกัดขั้นต่ำสุดของโปรตีนในนมข้าวเจ้า เมื่อนำนมข้าวเจ้ามาผสมกับนมวัวก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณของ Lysine ในโปรตีนของข้าวเจ้าได้

7. งา เป็นพืชอย่างหนึ่งซึ่งสามารถใช้ทำนมได้ งาที่ใช้ทำนมนั้นต้องเป็นงาที่ปอกเปลือกและคั่วแล้ว หรือกากงาที่สกัดเอาน้ำมันงาออกแล้ว ส่วนใหญ่ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำนมงาก็คืออย่าต้มให้เดือด 100 องศาเซลเซียส เพราะโปรตีนจะตกตะกอน อุณหภูมิที่เหมาะสมคืออุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส ตามปกติแล้วมักจะผสมกับนมถั่วเหลืองเพื่อเพิ่มคุณค่าทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โภชนาการให้ทัดเทียมกับนมวัวหรือนมมารดา เมล็ดงาประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 25-28 น้ำมันร้อยละ 47-56 และงาที่สกัดเอาไขมันออกจะมีโปรตีนร้อยละ 30-48 งามีคุณค่าทางอาหารสูงเพราะมี Methionine สูง ค่า Digestibility (D) ของโปรตีนจากงาเท่ากับร้อยละ 92 เปรียบเทียบกับโปรตีนจากถั่วเหลืองเท่ากับร้อยละ 87 และจาก Casein เท่ากับ 99 ค่า Bilogical Value (BV) ของงาเท่ากับ 70±1 โปรตีนจากงาเหมาะสมในการที่จะใช้เลี้ยงทารกได้ แต่ก็ยังขาด Lysine ซึ่งแก้ไขได้โดยการเติมถั่วเหลืองลงไปโดยใช้ soybean meal ผสมกับ sesame meal ที่สกัดเอาน้ำมันออกแล้วในอัตราส่วน 1:1 ถึง 1:2 จะทำให้ได้โปรตีนที่สมบูรณ์ในส่วนผสม เมล็ดงามี Ca:P เท่ากับ 1:4.1 จึงเห็นได้ว่างาเมื่อทำเป็นนมจะมีประโยชน์ต่อร่างกายมาก โปรตีนของถั่วเหลืองขาดกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ แต่มี Lysine สูง ส่วนงานั้นขาด Lysine และมีกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่สูง เมื่อนำโปรตีนทั้ง 2 ชนิดนี้มารวมกันก็ให้เกิดเป็นโปรตีนที่สมบูรณ์ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มิลโทน (miltone) เป็นเครื่องดื่มที่มีโปรตีนสูง ซึ่งประกอบไปด้วยโปรตีนไอโซเลทจากถั่วลิสง (peanut protein isolate) ผสมกับนมวัว และกลูโคสไซรัป แต่เนื่องจากการผลิตโดยใช้โปรตีนไอโซเลท (protein isolate) ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีมาก ทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูง ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้เทคนิคนี้ในการผลิตเครื่องดื่มเพื่อทดแทนนมโคกับประชากรโลก ในการผลิตเครื่องดื่มเลียนแบบนมจากเมล็ดพืชน้ำมันมักประสบปัญหาในด้านลักษณะปรากฏของเนื้อสัมผัสและความคงตัวของสารแขวนลอย แต่สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ในผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองโดยการโฮโมจิไนซ์ด้วยความดันสูงอย่างน้อย 6000 ปอนด์/ตารางนิ้ว 2 ครั้ง (Nelson *et al.*, 1976)

Singh and Bains (1988) ศึกษากระบวนการผลิตเครื่องดื่มสารสกัดจากเมล็ดธัญพืชที่ผ่านการทำให้งอก 3 ชนิด ได้แก่ข้าวบาร์เลย์, ข้าวสาลี และข้าวโพด โดยผสมสารสกัดจากเมล็ดธัญพืชกับนมวัว ในอัตราส่วน 50:50, 40:60 และ 30:70 จากนั้นปรับค่าพีเอชเป็น 7.2 และปรับให้เครื่องดื่มมีปริมาณไขมันร้อยละ 3 โดยการเติมครีมจากนมวัว กวนผสมจากนั้นให้ความร้อนให้มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนการโฮโมจิไนซ์ที่ความดัน 2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เติมน้ำตาลที่ร้อยละ 3 ในขณะที่เครื่องดื่มมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วนำไปให้ความร้อนที่ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปทำให้เย็น พบว่าเครื่องดื่มที่สกัดจากมอลต์ข้าวสาลีมีความหนืดสูงกว่าเครื่องดื่มที่สกัดจากมอลต์บาร์เลย์และข้าวโพด ปริมาณกรดอะมิโนอิสระของส่วนที่สกัดได้จากข้าวสาลีและข้าวโพดมีมากถึง 147 และ 206 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีมากกว่าส่วนที่สกัดได้จากข้าวบาร์เลย์ซึ่งมีเพียง 106 มิลลิกรัมต่อลิตร เครื่องดื่มสารสกัดจากธัญพืชทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี และข้าวโพดที่ผ่านการงอกแล้ว มีความคงตัวดีโดยไม่เกิดการตกตะกอน เครื่องดื่มที่สกัดจากข้าวโพดมีความหนืดน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สถิติกับทุกตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของแข็งที่สกัดได้จากข้าวโพดต่ำกว่านั่นเอง เครื่องดื่มที่สกัดจากบาร์เลย์มีค่าความสว่างสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกตัวอย่าง

Nelson *et al.* (1976) ศึกษากระบวนการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง โดยการนำถั่วเหลืองเมล็ดแห้งทั้งเมล็ดมาแช่ข้ามคืนในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 ในอัตราส่วนถั่วเหลืองต่อสารละลาย 1:3 (w/w) เทน้ำที่แช่ทิ้ง ลวกด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 ในอัตราส่วนถั่วเหลืองต่อสารละลาย 1:3 (w/w) เป็นเวลา 30 นาที เทสารละลายทิ้ง ล้างด้วยน้ำ นำมาลดขนาดถั่วเหลืองด้วยเครื่อง hammer mill ให้ถั่วเหลืองมีขนาดอนุภาคที่สามารถผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาด 0.028 นิ้ว จากนั้นเติมน้ำในอัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ 88:12 โดยน้ำหนัก โฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส โฮโมจิไนซ์แบบ 2 ระดับ ที่ความดันระดับแรก 3500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระดับที่สอง 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เติมน้ำในปริมาณที่ต้องการปรับปริมาณโปรตีน ทำให้เป็นกลางที่พีเอช ในช่วง 6.8-7.2 เติมสารปรุงแต่งกลิ่นรส ได้แก่น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 0.5 เกลือโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.2 กลิ่นวานิลลาร้อยละ 0.02 และให้ความร้อนที่ 82 องศาเซลเซียส ก่อนโฮโมจิไนซ์แบบ 2 ระดับ อีกครั้งที่ความดันระดับแรก 3500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระดับที่สอง 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว บรรจุใส่ขวดพาสเจอไรซ์ ทำให้เย็นและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เกิดกลิ่นไม่ดีคล้ายกลิ่นสี และสารที่ยับยั้งการใช้ประโยชน์จากทริปซินถูกทำลาย เนื่องจากขั้นตอนการลวกด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 30 นาที และหลังจากนั้นยังมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 93 องศาเซลเซียส ทำให้โครงสร้างของทริปซินถูกทำลาย และพบว่าถ้าไม่แช่ถั่วเหลืองค้างคืนเลยต้องใช้เวลาในการลวกนานขึ้น จึงจะสามารถทำลายสารที่ยับยั้งการใช้ประโยชน์จากทริปซินได้ หลังจากเก็บในตู้เป็นเวลา 2 เดือน พบว่า เครื่องดื่มมีความคงตัวดี ไม่ตกตะกอน เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการโฮโมจิไนซ์ ได้แก่ อุณหภูมิและความดันมีความเหมาะสม คือการโฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส ที่ความดันระดับ แรก 3500 และระดับที่สอง 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่าการเจือจางลงโดยมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าร้อยละ 1 ไม่มีผลต่อความคงตัวของคอลลอยด์

Rubico *et al.* (1987) ผลิตเครื่องดื่มถั่วลิสงเปรียบเทียบระหว่างการใช้ถั่วลิสงที่สกัดไขมันออกกับที่ไม่มีการสกัดไขมันออก พบว่าเครื่องดื่มถั่วลิสงที่ไม่มีการสกัดไขมันออกได้คะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคสูงกว่าโดยใช้ถั่วลิสงที่ผ่านการลวกในน้ำเดือดโดยเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นรินน้ำออก นำถั่วลิสงมาบดด้วยคอลลอยด์มิลแบบเปียกโดยใช้อัตราส่วนถั่วลิสงต่อน้ำ เป็น 1:6 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมากรองด้วยผ้า เติมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของน้ำนมที่กรองได้ จากนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไนซ์โดยผันแปรความดันที่ 2000 และ 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 71 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาให้ความร้อนโดยผันแปรที่อุณหภูมิ 110 และ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำมาทำให้เย็นลงทันที ให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 44 องศาเซลเซียส ทำการบรรจุลงขวดและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 1 ° องศาเซลเซียส แล้วทำการวัดค่าความคงตัวของสารแขวนลอยในเครื่องดื่ม ความหนืด ค่าสี วัดค่าความสว่างและขนาดของอนุภาคด้วยเครื่องมือ ในการวิจัยนี้ให้ความสำคัญในการศึกษาถึงลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ จากผลของความดันที่ใช้ในการโฮโมจิไนซ์และอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปรากฏว่าการผลิตโดยใช้ความดันสูงในการโฮโมจิไนซ์ (3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีขาวกว่าการโฮโมจิไนซ์ที่ความดัน 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วและที่อุณหภูมิ 121องศาเซลเซียส และการใช้ความดันสูงในการโฮโมจิไนซ์จะช่วยลดลักษณะผงชอล์ค เนื่องจากทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลงซึ่งให้คุณลักษณะดีที่สุด และทุกตัวอย่างไม่มีการตกตะกอนหรือแยกชั้นหลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 10 วัน ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการโฮโมจไนซ์มีความเหมาะสม และไม่มีความจำเป็นต้องใช้สารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความคงตัว

สมฤดี (2540) ศึกษาพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตเครื่องดื่มเลียนแบบนมจากปลายข้าวเจ้า โดยใช้ปลายข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยนำข้าวมาโม่แบบเปียกให้มีขนาดอนุภาค 100 เมช นำแป้งข้าวมาผสมน้ำในอัตราส่วนแป้ง : น้ำ เป็น 1:14 (w/w) เติมน้ำตาลร้อยละ 2.5 โซเดียมเคซีเนทซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 93 (w/w) เติมปริมาณร้อยละ 3.0 เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ น้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 3.2 และสารอิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 0.18 (w/w) จากนั้นให้ความร้อนเบื้องต้น 65 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที แล้วโฮโมจิไนซ์ที่ความดัน 4 บาร์ 1 รอบ และ 1 บาร์อีก 1 รอบ และพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ปรุงแต่งกลิ่นสตรอเบอร์รี่ และใส่สีแดงเบอร์ 3 ชนิดเหลวเข้มข้น ปริมาณ 0.3 กรัมต่อผลิตภัณฑ์ 500 มิลลิลิตร ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่เหมาะสม ผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 2.79 ไขมันร้อยละ 2.28 และได้คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในทุกลักษณะสูงสุด ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บ 5 วัน โดยผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของนมพาสเจอไรซ์

Nelson *et al.* (1971) ศึกษากลิ่นที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง โดยใช้เทคนิคโครมาโตรกราฟฟี เนื่องจากพบว่ากลิ่นเป็นปัจจัยสำคัญต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ น้ำนมถั่วเหลืองจากถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกแล้ว พบว่าเมื่อผลิตภัณฑ์สัมผัสกับอากาศและออกซิเจนก็จะเกิดกลิ่นหืนได้เช่นเดียวกับน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมจากถั่วเหลืองที่ไม่มีการสกัดน้ำมันออกก่อน กลิ่นหืนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมักเกิดขึ้นในระหว่างการบดถั่วกับน้ำ และเกิดเนื่องจากปฏิกิริยา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกซิเดชั่นของไขมันไม่อิ่มตัวสูงจากเอนไซม์ไลพ็อกซิจีเนส เนื่องจากเมื่อใบเลี้ยงถูกทำลายหรือทำให้แตกหักจะปลดปล่อยเอนไซม์ไลพ็อกซีจีเนสซึ่งเปรียบเสมือนสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยากับไขมันเป็นผลให้เกิดกลิ่นไม่ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่มีความชื้นสูง ซึ่งการลวกจะช่วยยับยั้งเอนไซม์ไลพ็อกซีจีเนสทำให้มีกลิ่นและกลิ่นรสดีขึ้น แต่การให้ความร้อนในการลวกจะมีผลต่อคุณภาพและลักษณะปรากฏของเครื่องดื่ม ดังนั้นในการลดกลิ่นที่ไม่ดีที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาจทำได้โดยการพัฒนาเทคนิคและปรับสภาวะการผลิตให้มีความเหมาะสม โดยนำถั่วที่เอาเปลือกออกแล้วมาแช่ข้ามคืนเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส จากนั้นเทน้ำที่แช่ทิ้งนำแต่ละส่วนไปเติมน้ำในอัตราส่วนถั่ว : น้ำเป็น 1:10 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปบดโดยผันแปรอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการบดเป็นที่ 20, 80 และ 100 องศาเซลเซียส แล้วกรองนำส่วนที่กรองได้ไปให้ความร้อนในหม้อควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที พบว่าเมื่อน้ำที่ใช้ในการบดมีอุณหภูมิสูงขึ้นสามารถยับยั้งกลิ่นหืนได้ดีขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องจากสามารถยับยั้งเอนไซม์ไลพ็อกซีจีเนสได้ และพบว่าอุณหภูมิอย่างน้อยที่ใช้ในการบดคือ 80 องศาเซลเซียส

Gordon *et al.* (1973) ผลิตเครื่องดื่มที่มีการเติมโปรตีน พบว่าการเติมโปรตีนในเครื่องดื่มที่มีพีเอชประมาณ 2.0 หรือน้อยกว่า 3.5 จะทำให้โปรตีนมีการกระจายตัวได้ไม่ดีและเกิดการตกตะกอน นอกจากนี้โปรตีนส่วนใหญ่ เช่น เคซีนและโปรตีนถั่วเหลืองจะละลายในช่วงพีเอช 4-5 ดังนั้นควรเติมโปรตีนในเครื่องดื่มที่พีเอชสูงกว่า 5 จะทำให้โปรตีนมีการกระจายตัวได้ดีขึ้น

2.6 การพาสเจอไรซ์

การพาสเจอไรซ์ เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนของของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ 100 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคเกือบทุกชนิด เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ยาวนานขึ้น (วิไล, 2543) ถูกคิดค้นโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสนาม หลุย์ พลาสเตอร์ ในปี คศ.1862 เนื่องจากปกติการย่อยสลายอาหารจะทำโดยจุลินทรีย์และเอนไซม์ (วราวุฒิ, 2538) การพาสเจอไรซ์ จะทำลายเอนไซม์ และจุลินทรีย์บางชนิดที่ไวต่อการถูกทำลายได้ด้วยความร้อน เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ โปรโตซัว รา และยีสต์ ความร้อนที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารน้อยมาก ซึ่งแตกต่างจากการทำสเตอริไลซ์ที่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าทำให้สูญเสียสารอาหารและวิตามินมากกว่า โดยทั่วไปในระดับอุตสาหกรรมการทำสเตอริไลซ์ของอาหารสดก็ไม่นิยมเพราะทำให้รสชาติและคุณภาพของอาหารเปลี่ยนไปมากกว่า ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอไรซ์จะยังคงมีจุลินทรีย์บางชนิดเจริญได้ในอาหารนั้น (นิธิยา, 2544) การพาสเจอไรซ์เป็นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ แต่ไม่ใช่ทั้งหมดในอาหาร ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอไรซ์แล้วต้องผ่าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการต่อไปหรือต้องเก็บรักษาในสภาวะที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เช่น การเก็บนมพาสเจอไรซ์ หรือน้ำผลไม้พาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส (วิไล, 2543) แต่การแช่เย็นอาหารไม่สามารถประกันได้ว่าจะปลอดภัยจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ เพราะไม่สามารถกำจัดแบคทีเรียออกไปได้หมด นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียบางสปีชีที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำด้วย (สุมณฑา, 2545)

กระบวนการพาสเจอไรซ์อาจทำได้ 2 ระบบ คือ

1. ระบบช้าอุณหภูมิต่ำหรือ LTLT (Low Temperature Long Time) เป็นระบบที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส - 63องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วทำให้เย็นทันที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ง่ายแต่ใช้เวลานาน

2. ระบบเร็วอุณหภูมิสูงหรือ HTST (High Temperature Short Time) เป็นระบบที่ให้ความร้อนในระดับสูงขึ้นแต่ใช้เวลาสั้นลง คือที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงโดยเร็ว

ตาราง 2.9 ตัวอย่างวัตถุประสงค์ของการพาสเจอไรซ์อาหารชนิดต่าง ๆ

อาหาร	วัตถุประสงค์หลัก	วัตถุประสงค์รอง	ภาวะการแปรรูปที่ใช้
pH< 4.5 น้ำผลไม้	ทำลายเอนไซม์เปคตินเอสเทอเรส และโพลีกาแลคตูโลเนส	ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย เช่น ยีสต์และฟังไจ	65 องศาเซลเซียส 30 นาที 77 องศาเซลเซียส 1 นาที 88 องศาเซลเซียส 15 วินาที แล้วลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วถึง 3-7 องศาเซลเซียส
pH> 4.5 น้ำนม	ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เช่น *Brucella abortis* และ *Mycobacterium tuberculosis*	ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และทำลายเอนไซม์บางชนิด	63 องศาเซลเซียส 30 นาที 71.5องศาเซลเซียส 15 วินาที
ไข่เหลว	ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย	64.4 องศาเซลเซียส 2.5 นาที 60 องศาเซลเซียส 3.5 นาที

(ที่มา: Fellows, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จุดประสงค์ในการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์ในการใช้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์ มีจุดประสงค์ดังนี้ (พรพล, 2545)

1. ต้องการเลี่ยงการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เช่น น้ำส้มไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียวิตามินซี
2. ต้องการให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีคงเดิม เช่น น้ำนมไม่ต้องการให้โปรตีนจับตัวเป็นก้อน
3. ต้องการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้บางชนิดเท่านั้น เช่น ในน้ำนมให้ความร้อนที่พอจะทำลายเชื้อวัณโรคเท่านั้น
4. ทำลายจุลินทรีย์ในอาหารส่วนใหญ่ซึ่งไม่สามารถทนความร้อนสูงๆ ได้ เช่น ยีสต์ และรา ในน้ำผลไม้ น้ำผักดอง
5. เมื่อต้องการทำลายจุลินทรีย์บางชนิดที่ขัดขวางการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการ เช่น ในการหมักไวน์ต้องต้มทำลายจุลินทรีย์อื่นแล้วเพาะเชื้อที่ต้องการ
6. เมื่อเชื้อจุลินทรีย์ได้รับการควบคุมร่วมกับวิธีการอื่น เช่น น้ำนมหลังพาสเจอไรซ์ต้องเก็บแช่เย็นไว้

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์ ในการเลือกใช้การให้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์แก่ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์อาหาร มีปัจจัยที่ต้องพิจารณา ดังนี้

1.1 pH อาหารที่มี pH ต่ำ เช่น น้ำผลไม้ ผัก และผลไม้ดอง สามารถที่จะใช้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์ก็เพียงพอ เนื่องจาก pH ต่ำ มีผลช่วยในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียอยู่แล้ว

1.2 เกลือ เนื่องจากเกลือมีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่เติมหรือใช้หรือมีปริมาณเกลือสูง เช่น ผลิตภัณฑ์น้ำปลา จึงสามารถที่จะใช้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์ในการฆ่าเชื้อได้เพียงพอ

1.3 น้ำตาล ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง เช่น นมข้นหวาน หรือผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมเข้มข้น สามารถที่จะใช้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์ในการฆ่าเชื้อได้เพียงพอ เนื่องจากผลของความดันออสโมติกสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้แล้วในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีปริมาณของค่า a_w ที่ต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลยิ่งสูงขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากยิ่งขึ้นด้วย

2. คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในแต่ละผลิตภัณฑ์ที่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์นั้น เช่น กรณีของนมนิยมจะใช้การให้ความร้อนในระบบ HTST (High Temperature Short Time) มากกว่าระบบ LTLT (Low Temperature Long Time) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้แล้ว การให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงจำนวนของจุลินทรีย์เริ่มต้น เช่น ถ้าในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดเดียวกัน แต่มีจำนวนของจุลินทรีย์เริ่มต้นต่างกัน เนื่องจากใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพต่างกันหรือขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบต่างกันจะทำให้ผลิตภัณฑ์ หรือปัจจัยต่างๆ ภายหลังที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์แล้ว ทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ต่างกัน ในผลิตภัณฑ์ที่มีจุลินทรีย์เหลืออยู่มาก จะสามารถเก็บรักษาได้ในเวลาสั้นกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีจุลินทรีย์เหลืออยู่น้อย

ในกรณีของจุลินทรีย์ ยังจำเป็นต้องพิจารณาถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่รอดชีวิต เนื่องจากในจุลินทรีย์บางชนิดมีความสามารถในการต้านทานความร้อนต่างกัน เช่น แบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ได้ ดังนั้นจึงอาจมีชีวิตรอดอยู่ ภายหลังจากที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์จำเป็นต้องทำให้เย็นลงทันที เพื่อป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ที่รอดชีวิตสามารถเพิ่มจำนวนขึ้นได้ เพราะถ้าจุลินทรีย์ที่มีชีวิตรอดนี้อาจสามารถก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้ ถ้าผลิตภัณฑ์ไม่ได้เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เช่น กรณีของน้ำนมพาสเจอไรซ์ ที่จำหน่ายตามท้องตลาดจำเป็นต้องแช่ตู้เย็น จึงจะสามารถเก็บรักษาได้เกิน 1 สัปดาห์ เป็นต้น การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการให้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์นั้น จะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ (100 องศาเซลเซียส) ทั้งนี้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทุกชนิด แต่เนื่องจากการให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์นี้ สามารถทำลายได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนระดับนี้ จึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีการอื่นๆ ที่เหมาะสม เพื่อจำกัดสภาวะให้จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารไม่ให้สามารถเจริญได้ หรือเจริญได้ในปริมาณน้อยที่สุดและสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น ทั้งนี้วิธีการที่นิยมใช้ให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์ได้นานขึ้น โดยไม่ทำให้อาหารเสื่อมเสียนั้น พอจะสรุปได้ดังนี้

1. การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในตู้เย็น (อุณหภูมิประมาณ 4-10 องศาเซลเซียส)

2. การเติมสารบางชนิดเพื่อให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น การเติมกรดในน้ำผลไม้

3. การควบคุมสภาพปราศจากอากาศ เช่น การบรรจุผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศ

4. การดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ เช่น การเติมน้ำตาลในนมข้นหวาน

5. การเติมวัตถุกันเสีย เช่น เกลือโซเดียมเบนโซเอตในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของการใช้ความร้อนสูงต่อคุณภาพของอาหาร (พรพล, 2545)

การใช้ความร้อนสูงทำลายเอนไซม์และจุลินทรีย์ ทำให้สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเปลี่ยนแปลง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนที่พอเหมาะ ถ้ามากเกินไปย่อมทำให้คุณภาพของอาหารด้อยลง ดังนี้

1. สี ความร้อนทำลายเม็ดสี จึงทำให้สีของผักและผลไม้เปลี่ยนไปจากเดิม การใช้อุณหภูมิสูง เวลาสั้น ทำให้สีเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ แต่เวลานาน นอกจากนี้อาหารที่บรรจุขวดใส ผลจากแสงยังทำให้สีอาหารซีดลงและอาจทำให้กลิ่นรสผิดไป นอกจากนี้ก๋ามะถันในอาหารที่มีโปรตีนสูง หรือผักตระกูลกะหล่ำปลีอาจทำปฏิกิริยากับเหล็กทำให้มีสีคล้ำได้

2. กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับสี ความร้อนต่ำ ระยะเวลานาน ทำให้กลิ่น รสและผิวสัมผัสของอาหารเปลี่ยนแปลงไปได้มากกว่าความร้อนสูง ระยะเวลาสั้นและสารที่ทำให้อาหารข้น เช่น เจลาติน แป้ง และเพคติน จะสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงหรือนานเกินไป เนื้อสัตว์เท่านั้นที่จะมีกลิ่นรสดีขึ้นเมื่อได้รับความร้อน สำหรับสารให้กลิ่นอาจมีการสูญเสียบ้าง และอาจเกิด cooked flavor ได้ ฉะนั้นในบางอุตสาหกรรมอาจมีการแต่งเติมกลิ่นสี และรสชาติเพิ่มเติม (นิธิยา, 2544)

3. คุณค่าทางโภชนาการ ความร้อนในกระบวนการบรรจุอาหารกระป๋องมีผลต่อสารอาหารต่างๆ ดังนี้

3.1 ความร้อนทำให้โปรตีนเปลี่ยนสภาพธรรมชาติ ความร้อนขั้นต่ำช่วยให้โปรตีนย่อยง่ายขึ้น แต่การใช้ความร้อนสูง และเวลานานเกินไปกลับทำให้โปรตีนย่อยยากขึ้น เอนไซม์ไม่สามารถย่อยโปรตีนที่กินเข้าไปบางส่วนได้ ร่างกายจึงไม่ได้รับประโยชน์เต็มที่

3.2 ความร้อนเร่งปฏิกิริยาการหืนของไขมัน ในอาหารกระป๋องที่ผ่านกรรมวิธีอย่างถูกต้อง เอนไซม์ไลเปสที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นมาจะถูกทำลายด้วยความร้อน อีกทั้งสภาพสุญญากาศทำให้ไม่มีการเติมออกซิเจน จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับสภาพไขมัน

3.3 น้ำตาลและแป้งสลายตัวเมื่อให้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน ทำให้เกิดปฏิกิริยาซึ่งให้สารสีน้ำตาล และเกิดน้ำตาลไหม้ขึ้น

3.4 การบรรจุกระป๋องทำให้วิตามินที่ละลายในน้ำสูญเสียได้มากกว่าวิตามินที่ละลายในไขมัน วิตามินบี 1 สลายตัวง่ายเมื่อได้รับความร้อน แต่จะคงตัวขึ้นในสารละลายที่เป็นกรด ตามปกติอาหารกระป๋องที่เป็นกรด ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงมากอยู่แล้ว วิตามินชนิดนี้จึงสูญเสียไม่มากนัก วิตามินบี 2 ทนความร้อนได้แต่ถูกทำลายโดยแสง จึงสูญเสียน้อยมาก ยกเว้นอาหารที่บรรจุขวดซึ่งสูญเสียมากกว่าอาหารกระป๋อง วิตามินซีถูกทำลายด้วยความร้อนต่ำและระยะเวลานาน การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้น ในกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ช่วยรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิตามินซี ส่วนทางด้านกรดเพนโทเทนิก ไบโอติน วิตามินเอและดี พบว่าทนทานความร้อนได้ดี การใช้ความร้อนสูง จึงไม่มีผลต่อสารอาหารเหล่านั้น (Fellow, 2000)

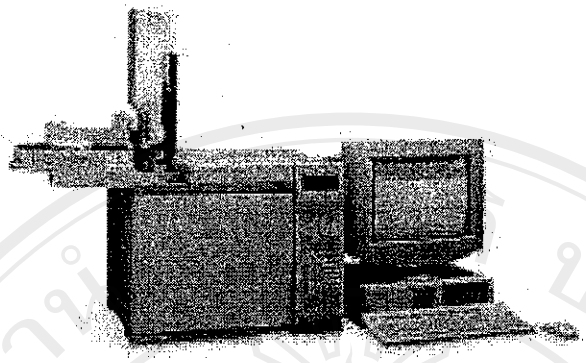
การพาสเจอไรซ์น้ำผลไม้จะทำให้สูญเสียวิตามินซีและเบต้า-แคโรทีน ในกระบวนการแปรรูปอาหาร หรือระหว่างการเก็บรักษา วิตามินเอและแคโรทีนถูกทำลายได้ประมาณ 5-40 เปอร์เซ็นต์ และภาวะที่ใช้แปรรูปอาหารตามปกติ เช่น การพาสเจอไรซ์น้ำนมจะไม่มีการสูญเสียวิตามินเอและแคโรทีน แต่จะสูญเสียเมื่อน้ำนมสัมผัสกับแสง ดังนั้นการใช้ภาชนะบรรจุที่ทึบแสงจะช่วยรักษาปริมาณวิตามินเอและแคโรทีนได้ ส่วนวิตามินอีทนต่อกรด แต่ไม่ทนต่อด่าง แสงอุลตราไวโอเลต และออกซิเจน วิตามินซีมีความคงตัวต่ำสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศ และความร้อน ส่วนโลหะหนักจะเร่งการสลายตัวของวิตามินซีให้เกิดเร็วขึ้น

รงควัตถุในอาหารจากพืช แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบในพืช ให้สีเหลือง ส้ม และส้มแดง มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ ขั้นตอนในกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การลวก จัดเป็นวิธีการให้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์แบบหนึ่งที่ใช้สำหรับการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในผักและผลไม้ก่อนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น การแช่เยือกแข็ง ทั้งนี้เพราะการลวกจะทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์บางชนิดเท่านั้น เหมือนกับการให้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์ (Potter *et al*., 1995) แต่จะใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการต้ม ทำให้คุณค่าของสารอาหารบางอย่างยังคงอยู่ การลวกมีผลต่อแคโรทีนอยด์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจะทำลายเอนไซม์ที่ย่อยสลายแคโรทีนอยด์ และแคโรทีนอยด์จะคงตัวได้ดีในอาหารแช่แข็งและอาหารที่ใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ แต่การทำแห้งจะสามารถทำลายแคโรทีนอยด์ได้ (นิธิยา, 2539)

2.7 แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas chromatography -Mass spectrometer)

เป็นวิธีที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้อย่างค่อนข้างแม่นยำโดยอาศัยการเปรียบเทียบ Fingerprint ของเลขมวล (Mass number) ของสารตัวอย่างนั้นๆ กับข้อมูลที่มีอยู่ใน Library นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) และเชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) (ภาพ 2.1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์
(ที่มา: James, 2004)

แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิทรี GC-MS ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่อง GC (Gas chromatography) และส่วนของเครื่อง MS (Mass spectrometer)

แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph, GC) ทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอ (Volatile organic compounds) ได้เมื่อถูกความร้อนกลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่างๆ ในสารตัวอย่างอาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อเฟส 2 เฟส คือ Stationary phase และ Mobile phase องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง GC สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ (ภาพ 2.2)

1. Injector คือ ส่วนที่สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่องและระเหยเป็นไอก่อนที่จะเข้าสู่ Column อุณหภูมิที่เหมาะสมของ injector ควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างสามารถระเหยได้แต่ต้องไม่ทำให้สารสลายตัว ตัวอย่างของ injector ได้แก่ Split, Splitless, On column

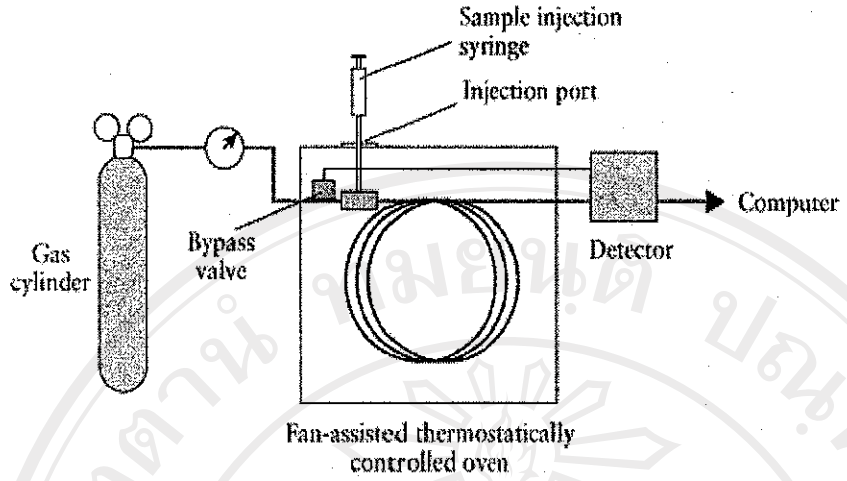
2. Oven คือ ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุ Column และเป็นส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของ Column ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิของ Oven นั้นมี 2 แบบ คือ 2.1 Isocratic Temperature

2.2 Gradient Temperature

ข้อดีของการทำ Gradient temperature คือสามารถใช้กับสารตัวอย่างที่มีจุดเดือดกว้าง (Wide boiling range) และยังช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์

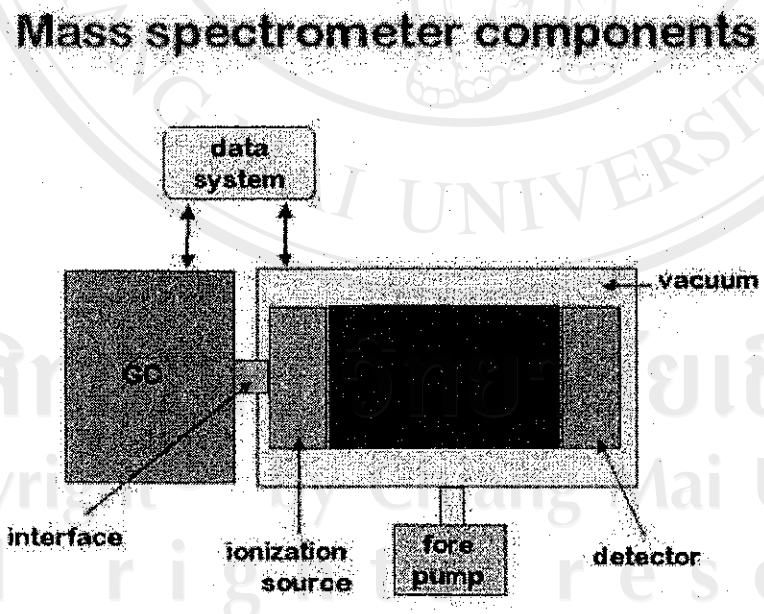
3. Detector คือส่วนที่จะใช้สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและดูว่าสารตัวอย่างชนิดที่เราสนใจมีปริมาณอยู่เท่าใด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของแก๊สโครมาโทกราฟี

แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass Spectrometer, MS) เป็น Detector ที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างโดยอาศัยกลไก คือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยเครื่อง GC จะถูกไอออไนซ์ในสภาวะสุญญากาศแล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (Mass number) เทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง แล้ว แปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้นๆ



ภาพ 2.3 ส่วนประกอบพื้นฐานของแมสสเปกโตรมิเตอร์

(ที่มา: James, 2004)

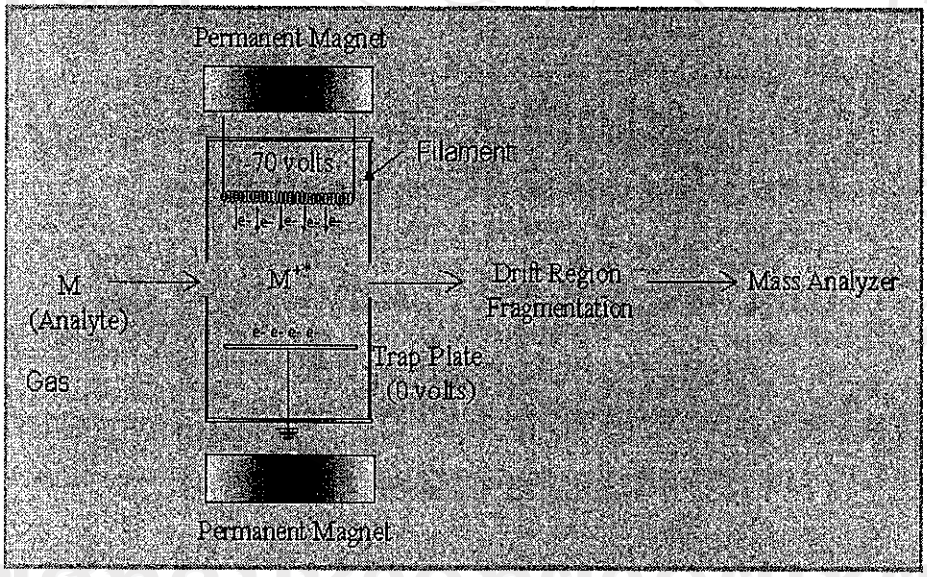
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องค์ประกอบสำคัญของแมสสเปกโตรมิเตอร์แบ่งออกเป็น

1. Ionization Source แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

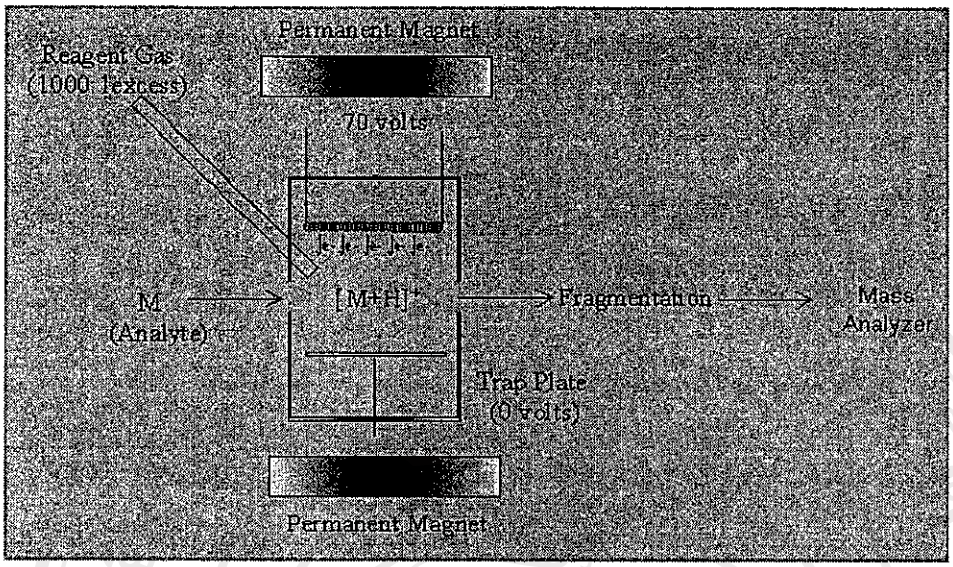
1.1 Electron Ionization (EI) เป็นการทำให้สารเกิด fragment โดยใช้ลำ electron ซึ่ง ionization chamber ต้องมีความดันต่ำประมาณ 10 -8 Torr โดย Electron จาก filament ที่ร้อนจะถูกโฟกัสผ่านห้องนี้และถูกดึงเข้าหา repeller voltage ที่มีความต่างศักย์ 70 โวลต์ ซึ่งจะให้พลังงานกับ electron เป็น 70 eV ทำให้ของผสมที่ซับซ้อนของไอออนเกิดการแตกหัก (fragmentation ion) ที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและความอุดมสัมพัทธ์ (relative abundance)

1.2 Chemical Ionization (CI) เป็นการทำให้สารเกิดการ fragment ด้วยวิธีทางเคมีโดยผสมสารตัวอย่าง (ความดัน10 -4Torr) เข้ากับแก๊สที่ทำปฏิกิริยาด้วย (ความดัน 1 Torr) แล้วผ่านสารผสมเข้าไปใน ionization chamber โดยการทำให้เกิดการ fragment ด้วยการชนกับ electron เช่นเดียวกันแก๊สที่ใช้ได้แก่ methane, isobutane, ammonia

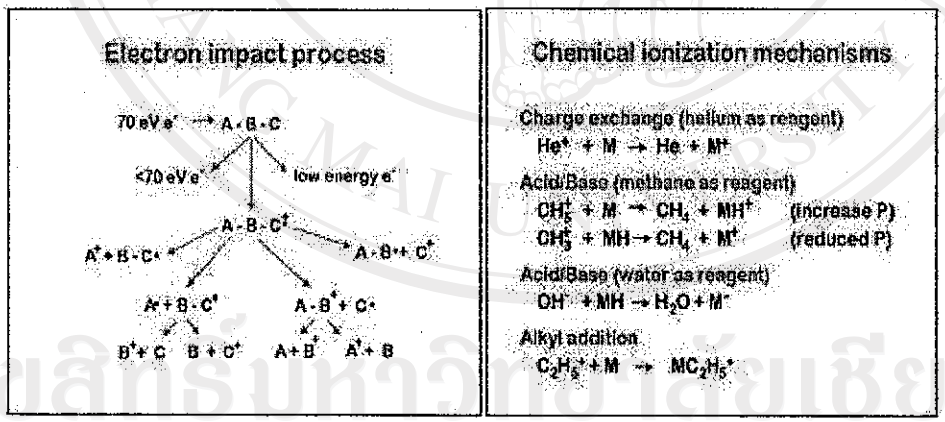


ภาพ 2.4 การทำให้สารเกิด fragment โดยใช้ลำ electron
(ที่มา: James, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.5 การทำให้สารเกิดการ fragment ด้วยวิธีทางเคมี
(ที่มา: James, 2004)



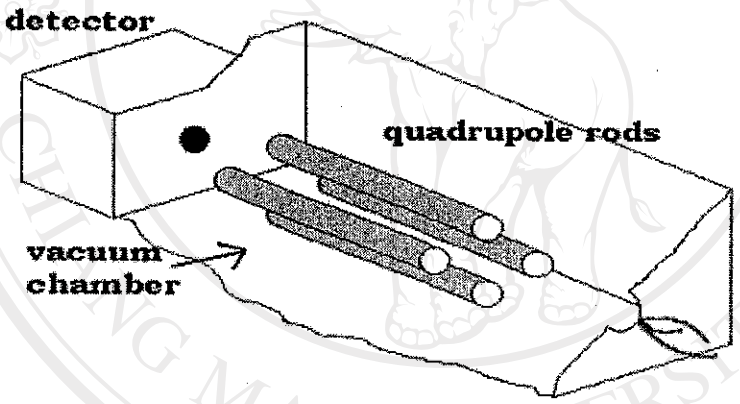
ภาพ 2.6 กลไกการเกิด fragment ของ EI และ CI
(ที่มา: James, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. Mass Analyzer เป็นเครื่องวิเคราะห์มวล มีหลายแบบ คือ magnetic-sector analyzer, electrostatic analyzer, time-of-flight analyzer, ion cyclotron resonance analyzer, quadrupole mass spectrometer-quadrupole mass Spectrometer ใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยสนามแม่เหล็ก คือ

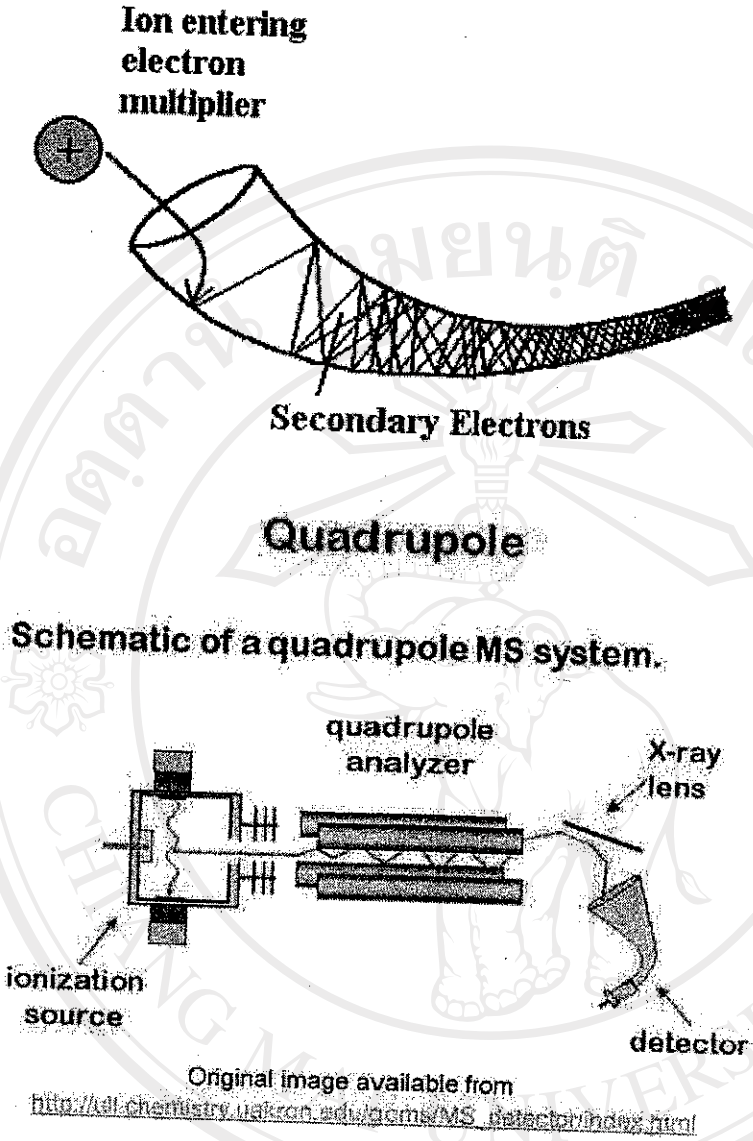
เป็น path-stability mass spectrometer ซึ่งมีแหล่งผลิต ion source 2 ส่วนโดยส่วนแรกจะทำให้ตัวอย่างกลายเป็นไอออน และส่วนที่ 2 ทำให้สารมาตราฐานกลาย เป็นไอออนลำไอออนทั้งสองจะถูกบังคับให้ผ่านเครื่องแยกไอออนชุด เดียวกัน ดังนั้นไอออนทั้งหมดจะได้รับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กในสภาวะเดียวกัน แต่ถูกตรวจและวัดด้วยเครื่อง detector แยกกันซึ่งมีข้อดีคือทำให้สามารถวัดมวลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

3. Detector ที่ใช้โดยทั่วไปมีหลายอย่าง คือ faraday cup dectector, electron multiplier detector, scintillation counter dectector, photographic plate dectector



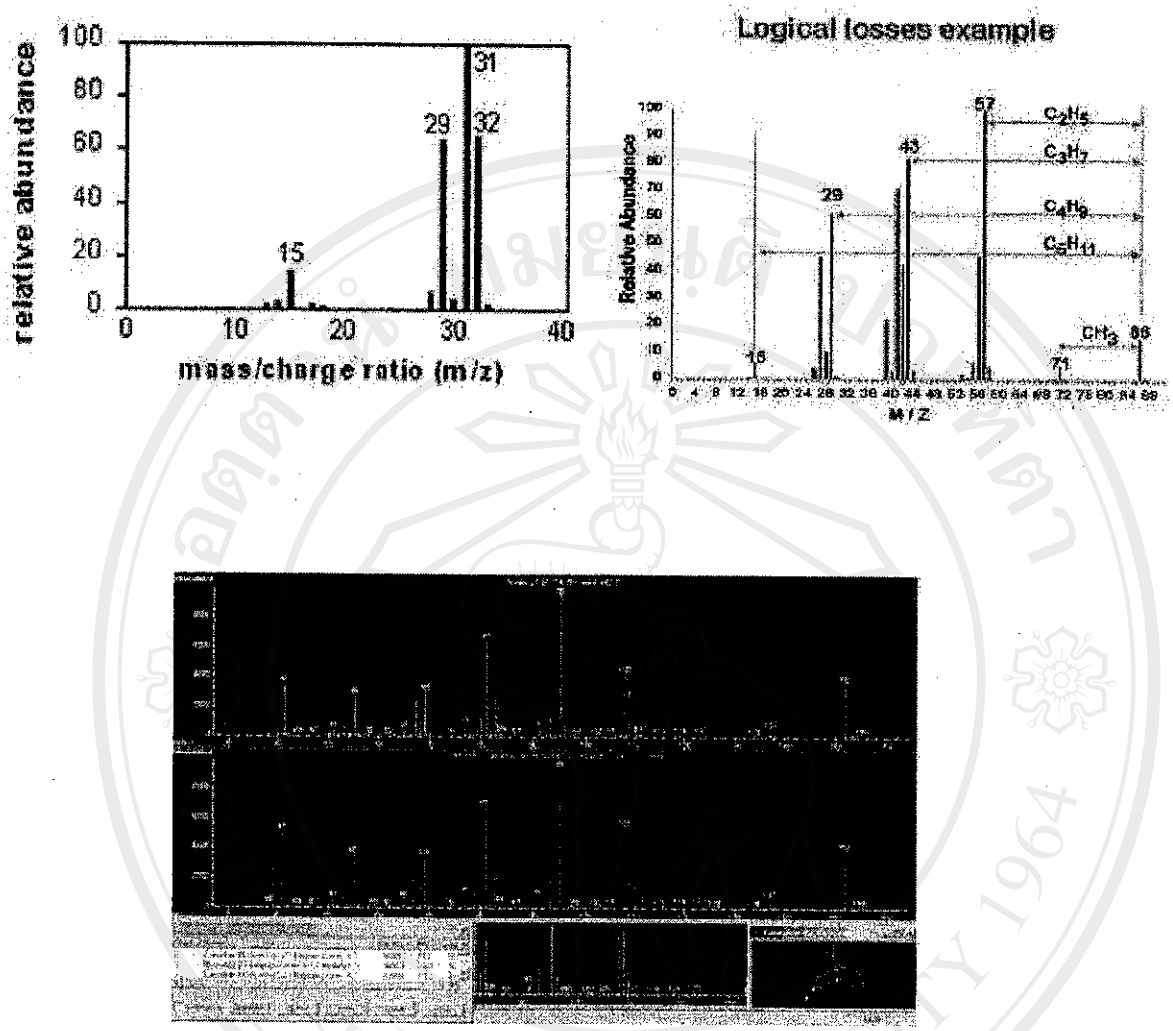
ภาพ 2.7 Quadrupole Detector
(ที่มา: James, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2. 8 Electron Multiplier Schematic
(ที่มา: James, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.9 โครมาโตแกรมและแมสเปกตรัมของตัวอย่างที่วิเคราะห์

(ที่มา: James, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved