หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

โภชนาการมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของเด็กมากกว่าปัจจัยอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อเด็กวัยก่อนเรียน ซึ่งเป็นวัยที่มีการเจริญเติบโตของร่างกายอย่างรวดเร็ว พบว่าปัญหาโภชนาการของประเทศไทยยังมีอยู่ทั่วไปโดยเฉพาะในชนบทและแหล่งชุมชนที่แออัดของเมืองใหญ่ ๆ ที่สำคัญได้แก่ปัญหาการขาดสารอาหาร (1, 6) ซึ่งเป็นปัญหาหลักต้องแก้ไขอย่างเร่งด่วน เพราะเป็นปัญหาพื้นฐานเกี่ยวกับคุณภาพและประสิทธิภาพของประชากร การขาดสารอาหารที่สำคัญได้แก่

<u>ปัญหาการขาดโปรตีนและแคลอรี่</u> เป็นปัญหาโภชนาการที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย พบบ่อยในทารกและเด็กวัยก่อนเรียน เกิดขึ้นเนื่องจาก

1. ทารกไม่ได้รับการเลี้ยงดูด้วยนมแม่ พบมากตามแหล่งเสื่อมโทรมของเมืองใหญ่ ๆ เนื่องจากผสมนมไม่ถูกส่วน ชนิดและลุ่ยลักษณะ เช่นใช้นมข้นหวานหรือให้ลูกกินข้าวผสมน้ำตาล เพราะมีลักษณะเหมือนนม ทำให้เกิดโรคขาดโปรตีนแคลอรี่และอาจทำให้ท้องเสีย

2. ทารกได้อาหารเสริมไม่พอหรือได้อาหารเสริมไม่เหมาะสมตามวัย พบมากในชนบทเพราะเกิดในระยะหย่านม เด็กในชนบทส่วนใหญ่ได้รับการเลี้ยงดูด้วยนมแม่ตั้งแต่แรกเกิด ซึ่งจะได้รับสารอาหารพอเพียงแก่ความต้องการไปจนถึงอายุประมาณ 6 เดือน หลังจากนั้นทารกเติบโตช้าเพราะได้อาหารเสริมที่มีโปรตีนและแคลอรี่ไม่พอเพียงกับที่ร่างกายต้องการ เนื่องจากอาหารเสริมส่วนใหญ่จะเป็นข้าวข้าหรือกล้วยซึ่งมีโปรตีนและแคลอรี่น้อย (6)

การขาดโปรตีนและแคลอรี่ ทำให้เกิดผลเสียหายต่อการเจริญเติบโตของร่างกายและสมอง

ปัญหาการขาดเหล็ก ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย และการเรียนรู้ต่ำลง

ปัญหาการขาดวิตามินเอ สาเหตุที่ขาดวิตามินเอ เพราะวิตามินเอสะสมมากับทารกน้อยมาก เนื่องจากแม่ได้วิตามิน เอ ไม่มากพอในระยะตั้งครรภ์ การได้อาหารเสริมที่มีวิตามินเอและไขมันต่ำทำให้ทารกและเด็กมีวิตามินเอในร่างกายน้อย เกิดอาการทางตาและทำให้ตาบอดได้

ปัญหาการขาดวิตามินบีหนึ่ง มักพบในทารกอายุ 2 - 4 เดือน ที่กำลังกินนมแม่แล้วแม่เกิดการขาดวิตามินบีหนึ่ง โรคนี้ถ้าเป็นในทารกจะทำให้หัวใจวายและตายได้ในเวลาไม่กี่วัน

ปัญหาการขาดไอโอดีน ทำให้เกิดโรคคอหอยพอก ถ้าเป็นมาก ๆ จะขาดฮอร์โมนของต่อมธัยรอยด์ จะมีอาการเพลีย เชื่องช้า

ปัญหาการขาดวิตามินบีสอง พบบ่อยในเด็กวัยเรียนตามชนบท ทำให้มีอาการของโรคปากนกกระจอก คือ มุมปากทั้งสองข้างแตก

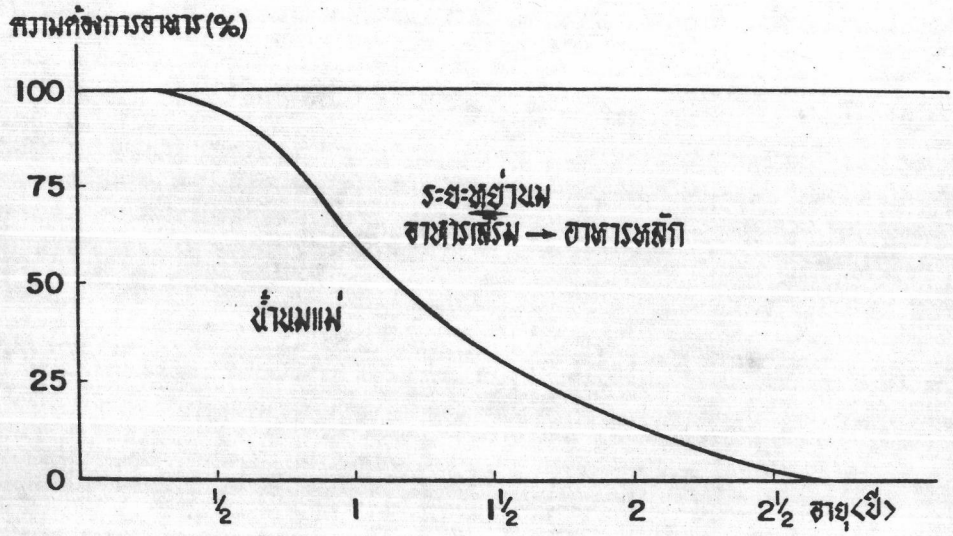
ปัญหาการขาดฟอสฟอรัส ทำให้เกิดโรคนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ เกิดเพราะได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสต่ำ ซึ่งมักร่วมไปกับการขาดโปรตีนและแคลอรี่ นอกจากนี้อาหารที่มีออกซาเลตสูง ซึ่งได้จากผักใบเขียว เป็นสาเหตุของโรคนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ

2.1 อาหารเสริมสำหรับเด็กวัยก่อนเรียน

อาหารเสริมที่เหมาะสมและพอเพียงกับความต้องการของเด็กวัยก่อนเรียน จะทำให้เด็กวัยก่อนเรียนมีภาวะโภชนาการดี เติบโตเป็นปกติ ซึ่งพบว่าภาวะโภชนาการจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสมองทุกระยะ (7) ที่สำคัญที่สุดคือ 3 เดือนก่อนคลอดจนถึง 1 ขวบ เพราะช่วงนี้เซลล์สมองแบ่งตัวและเจริญเติบโตเร็วที่สุด ถ้าเกิดการขาดอาหารในระยะนี้อาจทำให้สมองพิการอย่างถาวร สำหรับช่วงอายุ 1 - 6 ขวบ ก็มีความสำคัญเช่นกัน เพราะถ้าขาดอาหารในระยะนี้อาจทำให้สมองเล็กกว่าปกติ ดังนั้น

ถ้าเด็กขาดอาหารอย่างรุนแรงในช่วงอายุดังกล่าวก็จะมีผลโดยตรงต่อการเรียนรู้และสติปัญญาของเด็ก

พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างการเลี้ยงลูกด้วยนมแม่ และการให้อาหารเสริมดังรูปที่ 2.1 (8) จะเห็นว่าน้ำนมแม่เป็นอาหารที่ดีที่สุดสำหรับทารกตั้งแต่แรกเกิดจนถึงอายุ 6 เดือน หลังจากนั้นจำเป็นต้องให้อาหารเสริม โดยเพิ่มจำนวนจนกลายเป็นอาหารหลัก และน้ำนมแม่จะเป็นอาหารเสริมแทน



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำนมแม่และอาหารเสริม

นอกจากช่วงอายุของเด็ก 3 เดือนขึ้นไปถึง 1 ขวบ จะเป็นช่วงสำคัญของการให้อาหารเสริมแล้ว จากการศึกษาภาวะโภชนาการของเด็กวัยก่อนเรียนตั้งแต่ 3 เดือนถึง 4 ขวบ ใน 6 หมู่บ้านของตำบลหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี (9) พบว่าเด็กช่วงอายุ 18 เดือนแรกมีเปอร์เซ็นต์การขาดโปรตีนและแคลอรี่สูงสุด ดังนั้นการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเสริมในงานวิจัยนี้จึงมุ่งใช้กับเด็กวัย 3 เดือนถึง 1 ขวบ

สำหรับความต้องการสารอาหารในเด็กวัยก่อนเรียนได้แก่ ความต้องการกำลังงาน, โปรตีน วิตามิน แร่ธาตุและน้ำ ซึ่งสารอาหารที่ให้กำลังงานที่สำคัญคือ คาร์โบไฮเดรท,

ไขมัน และโปรตีน ร่างกายต้องการโปรตีนทั้งปริมาณและคุณภาพโดยจำนวนกรดอะมิโนที่จำเป็นพอเพียง และได้สัดส่วนของกรดอะมิโนเหมาะสมทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็น ต้องการวิตามินที่ละลายในไขมัน (Fat soluble vitamins) กับวิตามินที่ละลายในน้ำ (Water soluble vitamins) และต้องการแร่ธาตุทั้งในปริมาณมาก (Macro elements) และปริมาณน้อย (Trace elements) ดังนั้นอาหารเสริมสำหรับเด็กอ่อนที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ควรเน้นคุณค่าทางอาหารในแง่ของสารอาหารซึ่งเป็นต้นเหตุสำคัญของภาวะทุพโภชนาการในปัจจุบัน อันได้แก่ กำลังงาน โปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็น ไขมัน กรดไลโนลีอิค เหล็ก วิตามินเอ วิตามินบีหนึ่ง ไอโอดีน วิตามิน-บีสอง และฟอสฟอรัส โดยกำหนดความต้องการกำลังงานตามอายุซึ่งถือตามน้ำหนักตัวของเด็กทารกไทย (10) และกำหนดปริมาณของสารอาหารอื่นตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 54 (พ.ศ. 2523) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

2.2 แนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

การพัฒนาอาหารเสริมในประเทศไทย (12) นั้น มีอยู่หลายหน่วยงานที่ทำหน้าที่พัฒนาอาหารเสริมรูปแบบต่าง ๆ เช่น สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัย-เกษตรศาสตร์ ผลิตอาหารเสริมเด็กอ่อนในรูปของอาหารกระป๋อง มีส่วนผสมของโปรตีนจากถั่วเขียว ยีสต์ น้ำตาลกลูโคส และโมโนโซเดียมกลูตาเมต ต่อมาพัฒนาโดยการเติมเครื่องเทศ เพิ่มแป้งข้าวโพด ใช้แป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็ม เติมเอ็นไซม์อะมายเลส เติมรสและกลิ่นอื่น ๆ แต่พบว่าราคาแพงเกินไปและรสชาติไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ปัจจุบันผลิตอาหารเสริมเด็กอ่อนเกษตรในรูปแห้งเป็นผงจากข้าวและแป้งถั่วเหลือง โดยใช้ Cooker extruder กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน ผลิตอาหารเสริมเช่น น้ำนมถั่วเหลือง น้ำนมถั่วเหลืองปรุงรส นมถั่วเหลืองผง พัฒนาอาหารชนบทเช่นการเพิ่มโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหารแป้ง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเสริมโปรตีนจากพืชในอาหารหลายประเภทเช่น คุ๊กกี้โปรตีนสูง ข้าวเกรียบโปรตีน

ตารางที่ 2.1 สารอาหารและปริมาณที่กำหนดในการศึกษา (10, 11)

สารอาหาร	ปริมาณ	
	ต่ำสุด	สูงสุด
พลังงาน (กิโลแคลอรี่/วัน)	760	
โปรตีน (กรัม/100 กิโลแคลอรี่)	2.5	
กรดอะมิโนชนิดจำเป็น (มิลลิกรัม/กรัมของโปรตีน)		
- ไอโซลิวซีน	40	
- ลิวซีน	70	
- ไลซีน	55	
- เมทไธโอนีนกับซีสทีน	35	
- ฟีนิลอะลานีนกับไทโรซีน	60	
- ทรีโอนีน	40	
- ทริปโตเฟน	10	
- วาลีน	50	
ไขมัน (กรัม/100 กิโลแคลอรี่)	2.0	
กรดไลโนลีอิค (มิลลิกรัม/100 กิโลแคลอรี่)	300	
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กิโลแคลอรี่)	1	2
วิตามินเอ (ไมโครกรัม/100 กิโลแคลอรี่)	75	150
วิตามินบีหนึ่ง (มิลลิกรัม/100 กิโลแคลอรี่)	.04	
ไอโอดีน (ไมโครกรัม/100 กิโลแคลอรี่)	5	20
วิตามินบีสอง (มิลลิกรัม/100 กิโลแคลอรี่)	.06	
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กิโลแคลอรี่)	35	

บะหมี่โปรตีนสูง ปรับปรุงน้ำนมถั่วเหลืองผสมกะทิ และภาควิชาผลิตภัณฑ์เกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น พัฒนาอาหารเสริมโดยใช้ถั่วพุ่มเป็นแหล่งโปรตีน เป็นต้น แต่มีเพียงอาหารเสริมเด็กอ่อนเกษตรเท่านั้นที่สามารถผลิตและแปรรูปให้อยู่ในรูปที่ใช้ง่าย ละลายน้ำร้อนได้ทันที แต่เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้คือ Cooker extruder มีราคาแพง และเทคนิคการใช้งานยุ่งยาก ไม่เหมาะสำหรับการปฏิบัติงานในชนบท ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งที่จะพัฒนาอาหารเสริมสำหรับเด็กอ่อนดังนี้

2.2.1 <u>การปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเสริมโดยกระบวนการผลิตเดิม</u>

สำหรับกระบวนการผลิตเดิมคือการคั่ว บด วัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ข้าวเหนียว ถั่วเขียว และงานั้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อระยะเวลาในการหุงต้มของผลิตภัณฑ์ คือ ขนาดของอาหารกับการให้ความร้อนในกระบวนการผลิต (13) ดังนั้นในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อให้ระยะเวลาในการหุงต้มสั้นลง จึงเลือกศึกษาตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิตเดิมคือ ระยะเวลาที่ใช้ในการคั่ว กับขนาดของอาหารที่บดได้

2.2.2 <u>การปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเสริมโดยกระบวนการผลิตอื่น</u>

ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมนี้เป็นอาหารประเภทธัญพืช องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้ง เมื่อผ่านการทำให้สุกจะกลายเป็นเจล และเมื่อนำมาทำให้แห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะดูดซึมน้ำกลับได้ดี ทำให้สะดวกในการเตรียมอาหารก่อนรับประทาน (13) เพราะใช้ช่วงน้ำร้อนแทนการต้มสุกได้ นอกจากนั้นกระบวนการต้มสุกแล้วทำแห้ง เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ เช่น การบรรจุกระป๋องหรือการแช่แข็ง ทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จะมีน้ำหนักเบา ปริมาตรลดลง ประหยัดเนื้อที่ในการขนส่งและเก็บรักษาได้ง่ายและนาน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแช่แข็งต้องเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น และผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องเปลืองเนื้อที่ในการขนส่งและเก็บรักษา (14)

สำหรับกระบวนการทำแห้งที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของเหลวข้นซึ่งไหลได้ (Paste) ได้แก่ Pan drying, Vacuum drying, Freeze drying, Foam-mat drying, Spray drying, Drum drying และ Extrusion process (15, 16) สำหรับ Extrusion process นั้นมีข้อจำกัดคือ ผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาทำแห้งควรมีความชื้นอยู่ในช่วง 11 - 30% ซึ่งควรอยู่ในลักษณะของ Dough มากกว่า Paste จึงไม่เหมาะสำหรับการทำแห้งผลิตภัณฑ์นี้ ส่วน Foam-mat drying นั้นต้องเติมสารที่ช่วยในการเกิด Foam ที่คงตัว (Foaming agent) ได้แก่ Glyceryl monostearate, Soya proteins และ Cellulose ether เป็นต้น (15) ซึ่งการเติมสารเหล่านี้อาจทำให้ส่วนประกอบและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ผิดไปจากเดิมได้ ดังนั้นกระบวนการทำแห้งที่ควรพิจารณาต่อมาคือ Pan drying, Vacuum drying, Freeze drying, Spray drying และ Drum drying เมื่อพิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องดังแสดงในตารางที่ 2.2 พบว่า Freeze drying สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากที่สุด และค่าใช้จ่ายสูงกว่ากระบวนการทำแห้งแบบอื่นมาก จึงไม่เหมาะสำหรับการผลิตอาหารเสริมในระดับหมู่บ้าน ส่วน Pan drying นั้น แม้จะไม่ปรากฏตัวเลยแน่นอน แต่เนื่องจากการทำงานของเครื่องมือง่ายและส่วนประกอบของเครื่องมือไม่ยุ่งยาก คาดว่าค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องต่ำ และควรต่ำกว่ากระบวนการทำแห้งแบบอื่น ๆ จึงพิจารณากระบวนการทำแห้งแบบ Pan drying, Vacuum drying, Spray drying และ Drum drying อย่างไรก็ตาม Spray drying และ Drum drying นั้นต้องการความชำนาญพิเศษในการเดินเครื่อง และการบำรุงรักษาเครื่องมือยุ่งยาก ไม่เหมาะกับการใช้งานในชนบท ดังนั้นกระบวนการทำแห้งที่ควรศึกษาสำหรับผลิตภัณฑ์นี้คือ Pan drying กับ Vacuum drying ทั้งนี้เพราะ Pan drying สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย เครื่องมือหาได้ง่าย การทำงานของเครื่องมือไม่ยุ่งยาก และการบำรุงรักษาสะดวก เหมาะสำหรับการใช้งานในชนบท ส่วน Vacuum drying นั้นแม้ว่าจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากกว่า Pan drying แต่การทำงานของเครื่องง่ายเช่นกัน ไม่ต้องการความชำนาญพิเศษในการเดินเครื่อง และการบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์แห้งมีคุณภาพดี โครงสร้างภายในโปร่ง สามารถดูดซึมน้ำได้ดี (17)

ตารางที่ 2.2 ค่าใช้จ่ายในการระเหยน้ำ 1 ปอนด์ ออกจากตัวอย่างของกระบวนการทำแห้ง (17)

กระบวนการทำแห้ง	ค่าใช้จ่ายในการระเหยน้ำ 1 ปอนด์ ออกจากตัวอย่าง (เป็นดอลล่าร์สหรัฐอเมริกา)
Drum drying	0.8
Spray drying	1.0
Vacuum drying	2.0
Freeze drying	4.0

2.2.2.1 ตัวแปรและคุณภาพของอาหารในกระบวนการทำแห้ง

2.2.2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำแห้ง (18, 19, 20)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำแห้งจะเป็นแนวทางในการเลือกศึกษาตัวแปรในกระบวนการทำแห้ง ซึ่งการพิจารณาตัวแปรของกระบวนการทำแห้งแต่ละแบบนั้น จะต้องเลือกตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกับเครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้งกับคุณสมบัติของตัวอย่างที่นำมาทำแห้งเป็นสำคัญ โดยทั่วไปแล้วปัจจัยที่จะมีผลต่ออัตราการทำแห้งมีดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิและเวลาในการทำแห้ง ถ้าอุณหภูมิสูง การทำแห้งจะเร็วและคุณภาพของผลิตภัณฑ์แห้งจะดีกว่าเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำ เวลานาน

2. ความชื้น ถ้าความชื้นในบรรยากาศน้อย การทำแห้งจะเร็วกว่าเมื่อมีความชื้นในบรรยากาศมาก

3. ความเร็วของอากาศ ถ้าอากาศมีการเคลื่อนที่สัมผัสกับผิวของอาหารที่นำมาทำแห้งได้ดี จะช่วยให้การทำแห้งเร็วขึ้น

4. ความดันบรรยากาศและสุญญากาศ การทำแห้งในสภาพสุญญากาศ จะทำให้น้ำในอาหารเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าสภาพความดันบรรยากาศปกติ ดังนั้นความชื้นภายในอาหารจะออกมาได้เร็วขึ้น

5. คุณสมบัติเกี่ยวกับอาหารที่นำมาทำแห้ง

- ความหนาของอาหารที่นำมาทำแห้ง ยิ่งบาง การทำแห้งจะเกิดได้เร็วขึ้น เช่น ถ้าปริมาณของอาหารต่อพื้นที่ถาดของการทำแห้งมีค่าน้อย การทำแห้งจะเกิดได้เร็วกว่าเมื่อปริมาณของอาหารต่อหน่วยพื้นที่ของถาด มีค่ามาก

- ถ้าน้ำที่อยู่ในอาหารเป็นพวก Free water การทำแห้งจะเกิดได้เร็วกว่าพวก Bound water

- ความอ่อนนุ่มของเนื้อเยื่ออาหาร อาหารที่ผ่านการหุงต้มมาบ้างแล้วเซลล์จะอ่อนนุ่มลง การทำแห้งจะเกิดได้เร็วขึ้น

2.2.2.1.2 <u>ผลของการทำแห้งที่มีต่อคุณภาพอาหาร</u>

ผลของความร้อนในการทำแห้งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบางอย่างขึ้น เช่น การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร การเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อลักษณะของอาหารในด้านสี กลิ่น รส และลักษณะเนื้อสัมผัส ดังนั้นจึงต้องมีการติดตามคุณภาพของอาหารหลังการทำแห้งแต่ละกรรมวิธี การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้แก่

1. การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหาร (Nutritional changes)

การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหารที่สำคัญคือการลดลงของวิตามิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ พบว่าวิตามินซีจะถูกทำลายได้ง่ายที่สุด รองลงมาคือวิตามินบี โดยเฉพาะวิตามินบีหนึ่ง (ไทอะมิน) จะถูกทำลายได้ง่ายกว่าวิตามินบีตัวอื่น ๆ (21, 21) สำหรับสารอาหารตัวอื่น ๆ นั้น ถ้าหากใช้อุณหภูมิสูงและนาน โปรตีนจะเปลี่ยนสภาพไป ใช้ประโยชน์ได้น้อยลง (21, 22) และอุณหภูมิสูงจะทำให้ไขมันเกิดออกซิเดชั่น มีกลิ่นหืน ส่วนคาร์โบไฮเดรทกับแร่ธาตุ สภาวะต่าง ๆ ของการทำแห้งจะไม่ค่อยมีผลต่อการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร (21, 10)

ดังนั้นสารอาหารที่ควรใช้ติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมในลักษณะแห้ง คือ วิตามิน โดยวิตามินที่เลือกติดตามควรพิจารณาจากวิตามินที่มีปริมาณมากในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมนี้ และพิจารณาจากข้อมูลทางจลศาสตร์เกี่ยวกับการเสื่อมสลายของวิตามินต่าง ๆ (10, 21) โดยเลือกวิตามินที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

2. การเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อลักษณะของอาหาร (23, 24)

2.1 ปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาล ในกระบวนการทำแห้งความร้อนจะหยุดการทำงานของเอ็นไซม์ ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลจึงเกิดจาก Non-enzymatic browning ซึ่งกลไกที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยามี 3 แบบคือ

- Maillard reaction เกิดขึ้นจากอะมิโนแอซิด ทำปฏิกิริยากับน้ำตาล รีดิวซิงส์ ทำให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลขึ้น

- Ascorbic acid degradation เกิดจากความร้อนในกระบวนการทำแห้ง ทำให้กรดแอสคอบิคสลายตัว และทำปฏิกิริยาต่อจนได้สารสีน้ำตาล

- Caramelization เกิดจากน้ำตาลสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลจะเกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนสูงมาก ๆ

2.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เกิดจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นสารพวก Peroxides ซึ่งจะสลายตัวต่อไปเป็นสารระเหยง่าย มีกลิ่นเหม็นหืน และมักทำให้วิตามินที่ละลายในไขมันถูกทำลายด้วย (25) กรดไขมันที่ถูกทำลายได้เร็วเนื่องจากปฏิกิริยานี้ คือ กรดลิโนเลอิคและกรดลิโนเลอิค ส่วนกรดโอลีอิคจะถูกทำลายในอัตราที่ช้ากว่าสองตัวแรกมาก ทั้งนี้เพราะกรดโอลีอิคมีจำนวนพันธะคู่น้อยกว่า (26, 27)

2.3 การเกิดลักษณะไหม้เกรียม (Scorching or Heat damage) (22, 28) ผลิตภัณฑ์มีลักษณะไหม้เกรียมเกิดขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งสูงเกินไป ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลและรสขมเกิดขึ้น

2.4 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (10, 18, 22) ความสามารถในการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์จะขึ้นกับสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำแห้ง ซึ่งมีผลต่อลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์แห้งที่มีโครงสร้างของเนื้อเยื่อโปร่งและเป็นรูพรุนจะสามารถดูดซึมน้ำได้ดี มีผลต่อเนื้อสัมผัสโดยตรง

3. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับประสาทสัมผัสของผู้บริโภค Organoleptic properties) การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จะมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่ลักษณะสี กลิ่น และเนื้อสัมผัส วิธีการที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงนี้ส่วนมากใช้วิธีการให้คะแนน (29) โดยการเลือกผู้ทดสอบประมาณ 5 - 12 คน แล้วทำการฝึกซ้อมให้คุ้นเคยกับลักษณะต่าง ๆ ให้ผู้ทดสอบให้คะแนนตามลักษณะที่กำหนดไว้

2.2.2.2 <u>การทำแห้งแบบ Pan drying และ Vacuum drying</u>

<u>Pan drying</u>

เครื่องมือในการทำแห้งนี้ประกอบด้วยกะทะเป็นแหล่งให้ความร้อน ปริมาณน้ำในอาหารถูกระเหยออกไปในสภาพบรรยากาศปกติ ลักษณะการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบ การนำความร้อน โดยที่ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังอาหาร สมดุลย์ความร้อนจึงเกิดจากความร้อนที่ถูกถ่ายเทเข้าไปในอาหารกับความร้อนที่สูญเสียจากการที่น้ำระเหยกลายเป็นไอออกจากอาหาร ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเป็นไปตามสมการ (30) ดังนี้

$$q = UA (t_h - t_s) \quad \text{..... 2.1}$$

เมื่อ q = อัตราการถ่ายเทความร้อน

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (Overall heat transfer coefficient)

A = พื้นที่ที่มีการถ่ายเทความร้อนและการทำแห้งเกิดขึ้น

t_h = อุณหภูมิของตัวกลางให้ความร้อน

t_s = อุณหภูมิของอาหารที่กำลังทำแห้ง

Vacuum drying

เครื่องมือในการทำแห้งแบบสุญญากาศ ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ (31, 32) คือ

- Vacuum chamber ภายในบรรจุด้วยชั้น (Shelves) สำหรับวางถาดอาหารที่ต้องการทำแห้ง
- Heating medium ตัวกลางให้ความร้อน อาจใช้น้ำมัน
- Vacuum pump
- Condensor หรือ Moisture trap ทำหน้าที่ป้องกันไอน้ำที่ระเหยออกจากอาหารไม่ให้เข้า Vacuum pump

ความร้อนในการทำแห้งแบบนี้ จะได้จากน้ำมันร้อนที่หมุนเวียนรอบ Vacuum chamber และถ่ายเทไปยังชั้นวางถาดอาหาร ความร้อนจากชั้นจะถูกถ่ายเทไปยังอาหารโดยการนำความร้อน นอกจากนั้นความร้อนบางส่วนได้จากการแผ่รังสีความร้อนจากชั้นที่อยู่เหนือขึ้นไปมายังอาหารที่อยู่ด้านล่าง เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีมีน้อย (31) ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่ในสภาวะการทำแห้งแบบสุญญากาศ จึงเป็นลักษณะการนำความร้อนและเป็นไปตามสมการ 2.1 เช่นเดียวกับ Pan drying

2.2.2.3 ตัวแปรและช่วงตัวแปรที่สำคัญในการทำแห้งแบบ Pan drying และ Vacuum drying

Pan drying

ตัวแปรและช่วงตัวแปรที่สำคัญ คือ

1. ความหนาของตัวอย่างอาหารบนแผ่นที่ทำแห้ง เป็นตัวแปรที่ควรศึกษาก่อนในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง ถ้าความหนามีค่าน้อย อัตราการทำแห้งจะเร็วและสม่ำเสมอ ในขณะที่ความหนามีค่ามาก การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ ใช้เวลานานในการทำแห้ง และผิวหน้าด้านล่างของตัวอย่างที่ติดกับแผ่นที่ทำให้แห้งอาจไหม้ไปก่อน ในขณะที่ผิวหน้าด้านบนของตัวอย่างยังเปียกอยู่ ดังนั้นช่วงความหนาที่ศึกษาควรพิจารณาตั้งแต่ความหนาต่ำสุดที่เกลี่ยได้ทั่ว จนถึงความหนาสูงสุดที่อัตราการทำแห้งไม่ช้าเกินไป

008782

2. อุณหภูมิของกะทะ เป็นตัวแปรที่สำคัญในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้ง เพราะความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งเป็น Driving force มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนโดยตรง (33) ช่วงอุณหภูมิที่ศึกษาควรพิจารณาตั้งแต่อุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้น้ำระเหย ซึ่งสูงกว่า 100 °ซ. ขึ้นไป จนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการไหม้เกรียม

สำหรับตัวแปรอื่น ๆ นั้น เนื่องจากการทำแห้งโดยใช้ Pan drying เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน ความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนจะถูกใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากอาหาร โดยไม่คำนึงถึงสภาวะของอากาศ จึงไม่จำเป็นต้องศึกษา ความชื้นในบรรยากาศและความเร็วของอากาศ ส่วนขนาดของอาหารยิ่งมีขนาดเล็ก จะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นควรใช้ขนาดอาหารที่เล็กที่สุดที่สามารถทำได้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้ง สำหรับอุณหภูมิของตัวอย่างก่อนป้อนเข้าเครื่องนั้น จากผลงานที่ศึกษาไว้ (10) ในการทำแห้งแบบลูกกลิ้งซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำเช่นเดียวกัน พบว่าอุณหภูมิของตัวอย่างก่อนป้อนเข้าเครื่องที่ 30 °ซ. ปริมาณของแข็งในตัวอย่างก่อนทำแห้งประมาณ 17% มีความเหมาะสมเพราะให้ความหนืดที่พอดีต่อการเกลี่ยตัวอย่างบนแผ่นที่ทำแห้ง

Vacuum drying

ตัวแปรและช่วงตัวแปรที่สำคัญคือ

1. ความหนาของตัวอย่างอาหารบนถาดที่ทำแห้ง มีผลต่ออัตราการทำแห้งโดยตรงเช่นเดียวกับการทำแห้งแบบ Pan drying

2. อุณหภูมิของตัวอย่างก่อนป้อนเข้าเครื่อง ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของตัวอย่างก่อนป้อนเข้าเครื่อง กับอุณหภูมิของตัวกลางให้ความร้อนจะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน (18) ดังนั้นควรพิจารณาอุณหภูมิของตัวอย่างก่อนป้อนเข้าเครื่องที่ให้อัตราการทำแห้งเร็วที่สุด โดยแปรค่าอุณหภูมิของตัวอย่างก่อนป้อนเข้าเครื่อง 2 ระดับคือ อุณหภูมิหลังต้มให้สุกแล้วนำมาเกลี่ยบนถาดทันที (ประมาณ 60 °ซ.) กับหลังต้มสุกแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (30 °ซ.)

3. ความดันของเครื่อง สุญญากาศมีผลทำให้ปริมาณน้ำในตัวอย่างระเหยที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ (31, 18) ทำให้เวลาในการทำแห้งต่างกันเมื่อสุญญากาศต่างกัน ดังนั้นในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งควรแปรค่า ค่าสุญญากาศจนถึงปริมาณสูงสุดของเครื่อง เพื่อหาสุญญากาศที่ให้เวลาในการทำแห้งเร็วที่สุด

4. อุณหภูมิ อุณหภูมิของน้ำมันซึ่งให้ความร้อนแก่ Vacuum chamber มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนโดยตรง ช่วงอุณหภูมิที่เลือกมาศึกษานั้น ควรเริ่มตั้งแต่อุณหภูมิที่ทำให้น้ำในตัวอย่างอาหารระเหยได้ที่สภาวะสุญญากาศของเครื่อง จนถึงอุณหภูมิที่ทำให้น้ำระเหยได้ในสภาวะบรรยากาศปกติ (100 °ซ.) การพิจารณาค่าสุญญากาศของเครื่องที่ทำให้น้ำระเหยได้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ นั้น พิจารณาได้จากตารางที่ 2.3 เช่น ถ้าสุญญากาศของเครื่อง 26 นิ้วปรอท (หรือ 659 ม.ม.ปรอท) จะมีความดันภายใน Vacuum chamber เท่ากับ 760 + (-659) ม.ม.ปรอท หรือ 101 ม.ม.ปรอท ซึ่งจะทำให้น้ำบริสุทธิ์เดือดที่อุณหภูมิประมาณ 52 °ซ.

สำหรับตัวแปรอื่นควรกำหนดให้คงที่คือ ปริมาณของแข็งในตัวอย่างก่อนทำแห้งประมาณ 17% เนื่องจากให้ความหนืดที่พอดีต่อการเกลี่ยตัวอย่างบนถาด

2.2.2.4 <u>อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์</u> (35, 36)

อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์หมายถึงช่วงระยะเวลาหลังจากการผลิตไปจนถึงการนำมาบริโภค โดยที่ผลิตภัณฑ์ยังมีคุณภาพเป็นที่น่าพอใจ มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่ออายุของผลิตภัณฑ์ เช่น องค์ประกอบของอาหาร กรรมวิธีการผลิต วิธีการบรรจุ และสภาวะที่ใช้ระหว่างการขนส่งหรือเก็บรักษา ซึ่งได้แก่อุณหภูมิ เวลา ความชื้น และออกซิเจน

ในระหว่างช่วงการเก็บ อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงที่มีต่ออาหาร ที่สำคัญได้แก่

1. การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหาร ได้แก่ การลดลงของวิตามิน และการเปลี่ยนสภาพของโปรตีน ดังได้กล่าวในหัวข้อ 2.2.2.1.2

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอของน้ำกับอุณหภูมิ (34)

อุณหภูมิ (°ซ.)	ความดัน (ม.ม.ปรอท)									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	4.579	4.613	4.647	4.681	4.715	4.750	4.785	4.820	4.855	4.890
1	4.926	4.962	4.998	5.034	5.070	5.107	5.144	5.181	5.219	5.256
2	5.294	5.332	5.370	5.408	5.447	5.486	5.525	5.565	5.605	5.645
3	5.685	5.725	5.766	5.807	5.848	5.889	5.931	5.973	6.015	6.058
4	6.101	6.144	6.187	6.23	6.274	6.318	6.363	6.408	6.453	6.498
5	6.543	6.589	6.635	6.681	6.728	6.775	6.822	6.869	6.917	6.965
6	7.013	7.062	7.111	7.160	7.209	7.259	7.309	7.360	7.411	7.462
7	7.513	7.565	7.617	7.669	7.722	7.775	7.828	7.882	7.936	7.990
8	8.045	8.100	8.155	8.211	8.267	8.323	8.380	8.437	8.494	8.551
9	8.609	8.668	8.727	8.786	8.845	8.905	8.965	9.025	9.086	9.147
10	9.209	9.201	9.333	9.395	9.458	9.521	9.585	9.649	9.714	9.779
11	9.844	9.910	9.976	10.042	10.109	10.176	10.244	10.312	10.380	10.449
12	10.518	10.588	10.658	10.728	10.799	10.870	10.941	11.013	11.085	11.158
13	11.231	11.305	11.379	11.453	11.528	11.604	11.680	11.756	11.833	11.910
14	11.987	12.065	12.144	12.223	12.302	12.382	12.462	12.543	12.624	12.706
15	12.788	12.870	12.953	13.037	13.121	13.205	13.290	13.375	13.461	13.547
16	13.634	13.721	13.809	13.898	13.987	14.076	14.166	14.256	14.347	14.438
17	14.530	14.622	14.715	14.809	14.903	14.997	15.092	15.188	15.284	15.380
18	15.477	15.575	15.673	15.772	15.871	15.971	16.071	16.171	16.272	16.374
19	16.477	16.581	16.685	16.789	16.894	16.999	17.105	17.212	17.319	17.427
20	17.535	17.644	17.753	17.863	17.974	18.085	18.197	18.309	18.422	18.536
21	18.650	18.765	18.880	18.996	19.113	19.231	19.349	19.468	19.587	19.707
22	19.827	19.948	20.070	20.193	20.316	20.440	20.565	20.690	20.815	20.941
23	21.068	21.196	21.324	21.453	21.583	21.714	21.845	21.977	22.110	22.243
24	22.377	22.512	22.648	22.785	22.922	23.060	23.198	23.337	23.476	23.616
25	23.756	23.897	24.039	24.182	24.326	24.471	24.617	24.764	24.912	25.060
26	25.209	25.359	25.509	25.660	25.812	25.964	26.117	26.271	26.426	26.582
27	26.739	26.897	27.055	27.214	27.374	27.535	27.696	27.858	28.021	28.185
28	28.349	28.514	28.680	28.847	29.015	29.184	29.354	29.525	29.697	29.870
29	30.043	30.217	30.392	30.568	30.745	30.923	31.102	31.281	31.461	31.642
30	31.824	32.007	32.191	32.376	32.561	32.747	32.934	33.122	33.312	33.503
31	33.695	33.888	34.082	34.276	34.471	34.667	34.864	35.062	35.261	35.462
32	35.663	35.865	36.068	36.272	36.477	36.683	36.891	37.099	37.308	37.518
33	37.729	37.942	38.155	38.369	33.584	38.801	39.018	39.237	39.457	39.677
34	39.898	40.121	40.344	40.569	40.796	41.023	41.251	41.480	41.710	41.942
35	42.175	42.409	42.644	42.880	43.117	43.355	43.595	43.836	44.078	44.320
36	44.563	44.808	45.054	45.301	45.549	45.799	46.050	46.302	46.556	46.811
37	47.067	47.324	47.582	47.841	48.102	48.364	48.627	48.891	49.157	49.424
38	49.692	49.961	50.231	50.502	50.774	51.048	51.323	51.600	51.879	52.160
39	52.442	52.725	53.009	53.294	53.580	53.867	54.156	54.446	54.737	55.030
40	55.324	55.61	55.91	56.21	56.51	56.81	57.11	57.41	57.72	58.03
41	58.34	58.65	58.96	59.27	59.58	59.90	60.22	60.54	60.86	61.18
42	61.50	61.82	62.14	62.47	62.80	63.13	63.46	63.79	64.12	64.46
43	64.80	65.14	65.48	65.82	66.16	66.51	66.86	67.21	67.56	67.91
44	68.26	68.61	68.97	69.33	69.69	70.05	70.41	70.77	71.14	71.51
45	71.88	72.25	72.62	72.99	73.36	73.74	74.12	74.50	74.88	75.26
46	75.65	76.04	76.43	76.82	77.21	77.60	78.00	78.40	78.80	79.20
47	79.60	80.00	80.41	80.82	81.23	81.64	82.05	82.46	82.87	83.29
48	83.71	84.13	84.56	84.99	85.42	85.85	86.28	86.71	87.14	87.58
49	88.02	88.46	88.90	89.34	89.79	90.24	90.69	91.14	91.59	92.05
อุณหภูมิ (°ซ.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	92.51	97.20	102.09	107.20	112.51	118.04	123.80	129.82	136.08	142.60
60	149.38	156.43	163.77	171.38	179.31	187.54	196.09	204.96	214.17	223.73
70	233.7	243.9	254.6	265.7	277.2	289.1	301.4	314.1	327.3	341.0
80	355.1	369.7	384.9	400.6	416.8	433.6	450.9	468.7	487.1	506.1
90	525.76	527.76	529.77	531.78	533.80	535.82	537.86	539.90	541.95	544.00
91	546.05	548.11	550.18	552.26	554.35	556.44	558.53	560.64	562.75	564.87
92	566.99	569.12	571.26	573.40	575.55	577.71	579.87	582.04	584.22	586.41
93	588.60	590.80	593.00	595.21	597.43	599.66	601.89	604.13	606.38	608.64
94	610.90	613.17	615.44	617.72	620.01	622.31	624.61	626.92	629.24	631.57
95	633.90	636.24	638.59	640.94	643.30	645.67	648.05	650.43	652.82	655.22
96	657.62	660.03	662.45	664.88	667.31	669.75	672.20	674.66	677.12	679.69
97	682.07	684.55	687.04	689.54	692.05	694.57	697.10	699.63	702.17	704.71
98	707.27	709.83	712.40	714.98	717.56	720.15	722.75	725.36	727.98	730.61
99	733.24	735.88	738.53	741.18	743.85	746.52	749.20	751.89	754.58	757.29
100	760.00	762.72	765.45	768.19	770.93	773.68	776.44	779.22	782.00	784.78
101	787.57	790.37	793.18	796.00	798.82	801.66	804.50	807.35	810.21	813.08

2. การเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อลักษณะของอาหาร ที่สำคัญได้แก่

- การเปลี่ยนแปลงสี เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาล (Browning reaction) ในระหว่างการเก็บ(35) มักเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ Maillard-type reaction เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซิงกับกรดอะมิโน ให้สารสีน้ำตาล (Melanoidin) ส่วนใหญ่จะเกิดกับอาหารที่มีปริมาณน้ำสูง และ Fatty-component oxidative type เกิดจากกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดส์ให้สารประกอบคาร์โบนิล ซึ่งถ้าทำปฏิกิริยากับกลุ่มอะมิโนจะทำให้เกิดสารสีน้ำตาลขึ้นได้

- การเปลี่ยนแปลงกลิ่น เกิดกลิ่นหืนขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวแล้ว และแบ่งระยะเวลาการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ (27) ได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะเริ่มต้น (Initiation) ระยะนี้จะยังไม่ได้กลิ่นหรือมีกลิ่นน้อยมาก ระยะที่สองเป็นระยะที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Propagation) มีสารต่าง ๆ ที่ให้กลิ่นเกิดขึ้นมาก ส่วนระยะสุดท้าย (Termination) ปฏิกิริยาจะค่อย ๆ ช้าลงจนอาจหยุดไปได้

3. การเน่าเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ และการปนเปื้อนจากหนู, แมลง, ฝุ่นละออง

2.2.2.4.1 <u>สภาวะการเก็บรักษาและภาชนะบรรจุที่ใช้</u>

อุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษารวมทั้งชนิดของภาชนะบรรจุที่ใช้ มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ด้วย พบว่าอุณหภูมิสูงเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงในอาหารเกิดขึ้นเร็ว ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะมีอายุการเก็บสั้นกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (36) นอกจากนั้นภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์แห้งคุณสมบัติที่ต้องการคือป้องกันการซึมเข้าออกของไอน้ำและออกซิเจนเพื่อยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากการศึกษาคุณสมบัติของภาชนะบรรจุที่มีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดได้แก่ ถุงพลาสติก ดังแสดงในตารางที่ 2.4 พบว่าถุงพลาสติกชนิด Polypropylene ป้องกันการซึมเข้าออกของน้ำและก๊าซออกซิเจนได้ดีกว่าถุงพลาสติคชนิด Polyethylene (Low density) นอกจากนี้ Polypropylene ยังมีคุณสมบัติในการทนไขมันได้ดีกว่า

Polyethylene เหมาะสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารเสริมซึ่งมีปริมาณไขมันสูงพอควร

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติบางประการของแผ่นพลาสติค (37)

คุณสมบัติ	ชนิดของพลาสติก	
	Polyethylene (low density)	Polypropylene [Extrusion(cast)]
1. อัตราการผ่านเข้าออกของไอน้ำ gm./100 in^2/24 hr./mil. thick/@ 37.8°C	1.0-1.5	0.7
2. อัตราการผ่านเข้าออกของก๊าซ cc./100 sq. in/mil thickness/ 24 hr./atmos/@ 25°C		
- O_2	500	200
- CO_2	2700	800
- H_2	1950	1700
- N_2	180	48
3. การทนต่อไขมัน	เลว	ดี

2.2.2.4.2 <u>การติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารในระหว่างการเก็บ</u>

สำหรับผลิตภัณฑ์แห้งและความชื้นประมาณ 5% ควรตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อเริ่มเก็บและทุก ๆ 1 เดือน จนกระทั่งผลิตภัณฑ์เกิดการเสีย ซึ่งการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหารทำได้โดยตรวจสอบการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร การเปลี่ยนแปลงสีและการเกิดกลิ่นหืนโดยวิธีการทางเคมี ประเมินลักษณะสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์โดยใช้ประสาทสัมผัสของผู้บริโภค และตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่มีในผลิตภัณฑ์ (38, 39)

2.2.3 การปรับปรุงผลิตภัณฑ์โดยการเพิ่มชนิดของวัตถุดิบ

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการดำเนินการผลิตอาหารเสริมระดับหมู่บ้าน ใช้วัตถุดิบพื้นบ้านทางการเกษตร ให้มีคุณค่าทางโภชนาการครบทั้งกำลังงาน โปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็น ไขมัน กรดไลโนลีอิค เหล็ก วิตามินเอ วิตามิน-บีหนึ่ง วิตามินบีสองและฟอสฟอรัส ตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 54 (2523) เพื่อแก้ปัญหาการขาดสารอาหารที่สำคัญในปัจจุบัน สำหรับไอโอดีนนั้นไม่นำมาพิจารณาด้วย เพราะร่างกายต้องการในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสารอาหารอื่น และไอโอดีนมีอยู่ในรูปของเกลือซึ่งหาง่าย ราคาถูก สามารถเติมลงไปในอาหารได้โดยตรง จากการพิจารณาสูตรอาหารเสริมที่ผลิตโดยสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัย-มหิดลดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 พบว่ามีส่วนประกอบสารอาหารดังตารางที่ 2.5 เป็นที่สังเกตว่าวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตอาหารเสริมนั้นมีปริมาณวิตามินเอน้อยมาก ทำให้ผลิต-ภัณฑ์อาหารเสริมที่ได้ขาดคุณค่าทางอาหารด้านวิตามินเอ และปริมาณวิตามินบีสองยังต่ำกว่ามาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 54 (2523) ด้วย ดังนั้นในการปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมนี้จึงควรปรับปรุงสูตรอาหารโดยการเพิ่มวัตถุดิบชนิดอื่นอีกโดยใช้ร่วมกับวัตถุดิบที่มีอยู่เดิม 3 ชนิด คือ ข้าวเหนียว ถั่วเขียว และงาขาว ซึ่งในการคิดสูตรอาหาร ควรนำวัตถุดิบชนิดอื่นมาพิจารณาทีละ 1 ชนิดร่วมกับวัตถุดิบเดิม ทั้งนี้เพื่อให้ความสะดวกในการเตรียมผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยเพียงแต่เติมวัตถุดิบชนิดอื่นลงไปผสมกับวัตถุดิบที่มีอยู่เดิมซึ่งผ่านการคั่วและบดแล้ว แต่ต่างกันที่สัดส่วนของวัตถุดิบเท่านั้น นอกจากนั้นในการคิดสูตรอาหารถ้าพิจารณาวัตถุดิบชนิดอื่นพร้อมกันทีเดียวร่วมกับวัตถุดิบเดิม สูตร-อาหารใหม่ที่ได้อาจประกอบด้วยวัตถุดิบมากกว่า 4 ชนิดขึ้นไป ทำให้เสียเวลาในการเตรียมวัตถุดิบและประกอบอาหารเสริมมาก

2.2.3.1 ชนิดวัตถุดิบที่นำมาศึกษา

ในการเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์พิจารณาวัตถุดิบทางด้านการเกษตรที่มีในท้องถิ่นเป็นหลัก ได้แก่ธัญพืช ไขมันและน้ำมัน ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์และไข่ สำหรับธัญพืชกับไขมันและน้ำมันนั้นมีอยู่ในวัตถุดิบเดิม ดังนั้นวัตถุดิบกลุ่มอื่นที่ควรนำมาเพิ่มในการปรับปรุงสูตรอาหารคือ ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ และไข่

ตารางที่ 2.5 คุณค่าทางอาหารของวัตถุดิบและสูตรอาหารเสริมที่ผลิตโดยสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

วัตถุดิบ	น้ำหนัก (กรัม)	ส่วนประกอบสารอาหาร							
		พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม)	วิตามิน เอ (ไมโครกรัม)	วิตามินบี1 (มิลลิกรัม)	วิตามินบี2 (มิลลิกรัม)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)
ข้าวเหนียว (ความชื้น 13.9%)	60	215	5.0	1.0	0.7	0	.10	.04	78
ถั่วเขียว (ความชื้น 10.6%)	20	68	4.6	0.2	1.4	5.5	.11	.05	66
งาขาว (ความชื้น 5.8%)	15	87	2.6	7.9	1.8	1.1	.11	.02	92
ข้าวเหนียวคั่ว (ความชื้น 4.8%)	60	237	5.5	1.1	0.6	0	.11	.04	86
ถั่วเขียวคั่ว (ความชื้น 5.3%)	20	72	4.9	0.2	1.5	5.8	.12	.05	70
งาขาวคั่ว (ความชื้น 1.2%)	15	91	2.7	8.3	1.9	1.2	.12	.22	96
ข้าวเหนียวคั่ว : ถั่วเขียวคั่ว : งาขาวคั่ว (อัตราส่วน 60 : 20 : 15)	95	400	13.1	9.6	4.0	7.0	.35	.11	252
	100	421	13.8	10.1	4.2	7.4	.37	.12	265
[ข้าวเหนียว : ถั่วเขียว : งาขาว] / 100 กิโลแคลอรี่ (60 : 20 : 15)		100	3.3	2.4	1.0	1.8	.09	.03	63
มาตรฐานอาหารเสริม/100 กิโลแคลอรี่		100	≥2.5	≥2.0	1-2	75-150	≥.04	≥.06	≥35
(ตามประกาศกระทรวงฯฉบับที่ 54)						*		*	

แต่ผักและผลไม้ในท้องถิ่นมีเป็นจำนวนมากจึงควรเลือกศึกษาเฉพาะผักผลไม้ที่เป็นแหล่งของวิตามินเอซึ่งเป็นคุณค่าทางอาหารที่ต้องการเพิ่มในผลิตภัณฑ์ และควรให้รสชาติเหมาะสมแก่อาหารเสริมสำหรับเด็กเช่นไม่เผ็ด ไม่เปรี้ยว และไม่ขม นอกจากนั้นควรผลิตได้ตลอดทั้งปี และปริมาณผลผลิตสูง ส่วนเนื้อสัตว์และไข่พิจารณาจากสัตว์ที่นิยมเลี้ยงเป็นอาหารและหาได้ง่ายในท้องถิ่น

2.2.3.2 การหาสูตรอาหาร

ในการคิดสูตรอาหารเพื่อเลือกวัตถุดิบในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ทำให้ส่วนผสมทั้งหมดมีคุณค่าตามที่ต้องการและราคาถูกนั้น อาจทำได้โดยวิธีของ Linear programming การศึกษาในด้านนี้ได้เริ่มมาแล้ว เช่น Stigler ในปี 1945 คิดสูตรอาหารที่มีคุณค่าสูงทางโภชนาการ หรือ Cavin ในปี 1972 พยายามหาส่วนผสมของเมล็ดพืชและแป้งถั่วเหลืองสำหรับอาหารเด็กวัยก่อนเรียน โดยคำนึงถึงโปรตีนและอัตราส่วนของกรดอะมิโนที่ต้องการโดยใช้หลักของ Linear programming เช่นเดียวกัน (43)

2.2.3.2.1 คุณลักษณะของ Linear programme (43)

คุณลักษณะโดยทั่วไปประกอบด้วย

ก. สมการแสดงถึงราคาของส่วนผสมคือ

$$c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 \ldots . c_nx_n$$

ซึ่งเป็นสมการที่ต้องการทำให้มีราคาต่ำที่สุด

ข. สมการแสดงถึงมาตรฐานของคุณภาพที่ต้องการ หรือเรียก Nutritional constraint ซึ่งอาจเขียนได้ดังนี้คือ

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \ldots\ldots\ldots a_{1n}x_n = b_1$$

ซึ่งถ้ามาตรฐานแสดงถึงค่าต่ำสุด สมการนี้จะ $> b_1$

ซึ่งถ้ามาตรฐานแสดงถึงค่าสูงสุด สมการนี้จะ $< b_1$

หรือถ้ามาตรฐานนั้นกำหนดราคาตายตัว สมการนี้จะ $= b_1$

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบสารอาหาร (40) และปริมาณผลผลิต (41, 42) ของวัตถุดิบทางการเกษตร ในจังหวัดอุบลราชธานี

วัตถุดิบ	ผลผลิตทั้งหมดในจังหวัดอุบลราชธานี (ตัน)	ส่วนประกอบสารอาหาร (ต่อ 100 grams edible portion)							
		พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม)	วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	วิตามิน บี (มิลลิกรัม	วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)
I. ผัก									
1. ผักกาดหัว	805	24	1.0	0.1	0.4	0	.02	.03	30
2. มะเขือเทศ	4476	20	1.2	0.3	0.6	252.5	.06	.04	30
3. ถั่วลันเตา	35	94	6.2	0.4	1.2	202.5	.28	.11	102
4. กระหล่ำปลี	6259	14	1.6	0.3	0.8	140	.06	.06	31
5. แตงร้าน	1560	14	0.7	tr.	0.4	tr.	.03	.04	0
6. ถั่วฝักยาว	979	37	3.0	0.2	0.7	112.5	.12	.11	45
7. แตงกวา	1442	12	0.6	0.1	0.4	42.5	.03	.04	24
8. บวบ	177	19	1.1	0.2	0.7	85	.03	.04	30
9. มะระ	21	19	0.8	0.1	2.3	55	.06	.04	32
10. ผักกาดขาว	1142	17	1.7	0.2	2.6	1152.5	.07	.13	46
11. ผักกาดหอม	43	20	1.4	0.3	2.1	1017.5	.06	.12	34
12. ผักกาดเขียวปลี	798	24	2.4	0.4	2.7	912.5	.06	.14	48
13. ผักคะน้า	6853	35	3.0	0.4	2.0	135	.10	.13	56
14. ผักบุ้ง	3572	30	2.7	0.4	2.5	1432.5	.09	.16	42
15. มันแกว	243	55	1.7	0.1	0.8	0	.04	.04	41
16. ฟักทอง	1816	27	0.7	0.2	0.7	392.5	.03	.04	33
17. ฟักเขียว	1094	12	0.5	0.1	0.4	2.5	.03	.03	19
18. เผือก	286	94	2.2	0.4	1.2	tr.	.12	.04	62
19. พริกใหญ่	303	116	6.3	1.4	3.6	3300	.37	.51	120
20. พริกเล็ก	2924	53	5.8	1.0	1.4	3105	.40	.33	56
21. ขิง	142	46	1.6	0.8	1.3	27.5	.01	.03	32
22. ตำลึง	*1	28	4.1	0.4	4.6	5422.5	.17	.13	30

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

วัตถุดิบ	ผลผลิตทั้งหมดในจังหวัดอุบลราชธานี (ตัน)	ส่วนประกอบสารอาหาร (ต่อ 100 grams edible portion)							
		พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม)	วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)
II. ผลไม้									
1. มะพร้าว	3121	312	3.2	28.2	2.5	0	.05	.03	112
2. มะนาว	142	28	0.7	0.8	0.3	7.5	.04	.02	19
3. มะม่วง	1366	62	0.6	0.3	0.3	940	.06	.05	15
4. มะม่วงหิมพานต์	88	568	18.4	46.3	3.6	2.5	.25	.34	462
5. มะขาม	643	214	2.3	0.2	1.3	5	.22	.08	86
6. ละมุด	8	76	0.4	0.7	0.6	12.5	tr.	tr.	11
7. น้อยหน่า	1197	78	1.4	0.2	0.6	2.5	.11	.10	36
8. ฝรั่ง	263	69	1.0	0.4	0.7	37.5	.05	.04	24
9. ขนุน	101	94	1.7	0.3	0.6	117.5	.09	.11	38
10. กระท้อน	14	57	0.4	0.7	1.2	2.5	.05	.03	17
11. ส้มโอ	27	39	0.7	0.3	0.5	15	.05	.02	22
12. กล้วย	1499	100	1.2	0.3	0.8	112.5	.03	.04	32
13. มะละกอ (ลูก)	*1	45	0.5	0.1	0.7	355	.03	.05	22
14. ชมพู่	22	20	0.3	0	0.8	75.9	.01	.02	10
III. เนื้อสัตว์									
1. เนื้อไก่	*1	302	18.0	25.0	1.5	242.5	.08	.16	200
2. เนื้อหมู	*1	457	11.9	45.0	1.8	0	.58	.14	117
3. เนื้อปลา	*1	75	16.6	0.5	0.7	0	.15	.10	0
IV. ไข่									
1. ไข่ไก่	*1	163	12.9	11.5	3.2	585	.10	.40	222
2. ไข่เป็ด	*1	188	13.2	14.2	3.6	462.5	.16	.40	220

*1 = ไม่ทราบตัวเลขแน่ชัด

ในทำนองเดียวกันนี้ จึงสามารถใช้สมการแบบนี้หลาย ๆ สมการ กำหนดค่าต่ำสุด และสูงสุดของสารอาหารที่ต้องการทั้งหมดได้ นั่นคือ

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \ldots\ldots\ldots a_{mn}x_n \geq b_m$$

โดยที่ค่า $x_1, x_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots x_n > o$

และ m แสดงถึงจำนวนสารอาหารหรือ row variable ที่ต้องการกำหนดคุณภาพ

n แสดงถึงจำนวนวัตถุดิบ หรือ column variable

ค่า x แต่ละค่า คือ น้ำหนักของวัตถุดิบแต่ละชนิด

ค่า c แต่ละค่าคือราคาของวัตถุดิบแต่ละชนิด

b แต่ละค่าคือน้ำหนักของสารอาหารแต่ละชนิดที่ต้องการในส่วนผสม

2.2.3.2.2 <u>โครงสร้าง Linear programme สำหรับอาหารเด็กอ่อน</u> (43)

โครงสร้างนี้ประกอบด้วย Nutritional constraint 2 ชนิด คือ

1. Direct constraint เป็นสมการที่กำหนดค่าสูงสุดหรือต่ำสุดโดยตรง เช่น จำนวนแคลอรี่ที่ต้องการในส่วนผสมอย่างน้อย 760 กิโลแคลอรี่ต่อวัน อาจเขียนได้เป็น

$$\text{Calorie} = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots\ldots\ldots a_{1n}x_n \geq 760$$

เมื่อ Calorie เป็นชื่อแสดงถึงแคลอรี่ที่มีในสูตรอาหารนั้น

a_{11} เป็นจำนวนแคลอรี่ต่อหน่วยน้ำหนักของวัตถุดิบ x_1

a_{12} เป็นจำนวนแคลอรี่ต่อหน่วยน้ำหนักของวัตถุดิบ x_2

เช่นเดียวกับ

$$\text{Protein} = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots\ldots\ldots a_{2n}x_n$$

เมื่อ Protein แสดงถึงโปรตีนที่มีอยู่ในสูตรอาหารนั้น

และ a_{21} แสดงถึงจำนวนโปรตีนต่อหน่วยน้ำหนักของวัตถุดิบ x_1

a_{22} แสดงถึงจำนวนโปรตีนต่อหน่วยน้ำหนักของวัตถุดิบ x_2

2. Interrelated constraint เป็นสมการซึ่งกำหนดถึงความสัมพันธ์ของสารอาหารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เช่น กำหนดโปรตีนต่อ 100 แคลอรี่ ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 กรัม สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{\text{Protein}}{\text{Calorie}} \geq \frac{2.5}{100}$$

นั่นคือ $1.0\ \text{Protein} - 0.025\ \text{Calorie} \geq 0$

เช่นเดียวกัน กำหนดค่าต่ำสุดของไอโซลิวซีนต่อกรัมของโปรตีน 28.0 มิลลิกรัม ก็สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{\text{Isoleucine}}{\text{Protein}} \geq \frac{28.0}{1.0}$$

นั่นคือ $1.0\ \text{Isoleucine} - 28.0\ \text{Protein} \geq 0$

2.2.3.2.3 <u>การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์กับโครงสร้างของ Linear programme</u>

จากโครงสร้าง Linear programme สำหรับอาหารเด็กอ่อน จะสามารถหาค่า $x_1, x_2, \ldots\ldots x_n$ นั่นคือ น้ำหนักของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ควรจะมีในสูตรอาหารนั้น โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Simplex method (44) โดยการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์

2.2.3.3 <u>การพิจารณาเลือกสูตรอาหาร</u>

ในการเลือกสูตรอาหารที่ได้จากวิธีของ Linear programme ควรใช้หลักในการพิจารณาคือ ราคาถูก คุณค่าทางอาหารที่ต้องการครบตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 54 (2523) ปริมาณแคลอรี่สูงพอต่อการบริโภคใน 1 วัน คือมากกว่า 200 กิโลแคลอรี่ในจำนวนอาหาร 100 กรัม และคุณภาพเป็นที่ยอมรับ โดยทดลองการยอมรับกับแม่ที่มีลูกอยู่ในช่วงอายุ 3 เดือน ถึง 1 ขวบ ในหมู่บ้านหนองไฮ จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อให้ได้สูตรอาหารที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของชนบทในภาคอีสาน