บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ในการผลิตอาหารเด็กอ่อนจำเป็นต้องมีการกำหนดคุณภาพ ซึ่งในการศึกษานี้จะกำหนดคุณภาพอาหารออกเป็น 2 ด้าน คือ

–กำหนดคุณค่าทางอาหาร

–กำหนดลักษณะทางกายภาพ

2.1 การกำหนดคุณค่าทางอาหาร

เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่ได้รับจะมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพของเด็ก ดังนั้นจึงได้ศึกษาถึงความต้องการสารอาหารต่าง ๆ ของเด็กอ่อน โดยมีแนวทางในการพิจารณากำหนดดังนี้คือ

–อาหารเด็กอ่อนจะมุ่งใช้กับเด็กที่มีอายุตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไปจนถึง 1 ปี เพราะเด็กตั้งแต่แรกเกิดจนถึง 3 เดือนนั้นอาหารที่เหมาะสมที่สุดคือ น้ำนมแม่

–ชนิดของสารอาหารและปริมาณสารอาหารที่กำหนดให้มีในอาหารเด็กอ่อนจะศึกษาจากประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 16 พ.ศ. 2516 (1), เอกสารที่เกี่ยวข้องกับโภชนาการของเด็ก และ Codex Alimentarius

–การกำหนดปริมาณต่ำสุด สำหรับสารอาหารแต่ละตัวนั้น พิจารณาจากปริมาณสารอาหารที่ร่างกายต้องการ ในกรณีของสารอาหารบางตัวที่ประกาศกระทรวงฯ ไม่กำหนดแต่เล็งเห็นความสำคัญที่ควรกำหนดเพิ่มเติม จะใช้มาตรฐานอาหารเด็กอ่อน ซึ่งกำหนดโดย Codex Alimentarius มาร่วมพิจารณา

–การกำหนดปริมาณสูงสุดนั้น พิจารณาจากปริมาณที่ไม่ปลอดภัยต่อร่างกาย ตามข้อมูลของโภชนาการของเด็ก

–การกำหนดปริมาณสารอาหาร จะถือจากพลังงาน 100 กิโลแคลอรี่ที่ได้จากอาหารเป็นเกณฑ์ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดพลังงานต่ำสุดที่เด็กควรได้รับ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณสารอาหารที่ต้องการต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี่

2.1.1 ความต้องการพลังงาน

ได้มีการกำหนดความต้องการพลังงานตามอายุ โดยถือตามน้ำหนักตัวของเด็กทารกไทย (15) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความต้องการพลังงานของเด็กทารกไทย

อายุ(เดือน)	น้ำหนักตัวเด็กโดยเฉลี่ย (กิโลกรัม)	กิโลแคลอรี่ต่อวัน
ต่ำกว่า 3	4.35	530
3 – 5	6.56	760
6 – 8	7.83	870
9 – 12	8.38	880

เนื่องจากเด็กอายุ 6 – 8 เดือน มีความต้องการพลังงานใกล้เคียงเด็กอายุ 9 – 12 เดือน ดังนั้นจะรวมกันเข้าเป็นเด็กกลุ่มเดียวกันคือ เด็กอายุ 6 – 12 เดือนมีความต้องการพลังงาน 880 กิโลแคลอรี่ต่อวัน

2.1.2 ความต้องการสารอาหารต่าง ๆ ของเด็กอ่อน

2.1.2.1 โปรตีน อาหารโปรตีนมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการทำงานให้เป็นปกติของร่างกาย

ประกาศกระทรวงฯกำหนดว่าอาหารเด็กอ่อนต้องมีโปรตีนต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี่ ไม่น้อยกว่า 1.8 กรัมและไม่เกิน 3.5 กรัม ซึ่งพอเพียงกับปริมาณที่ร่างกายต้องการและปลอดภัยต่อการทำงานของไต(23) จึงกำหนดปริมาณให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงฯ

2.1.2.2 กรดอะมิโนที่จำเป็น

อาหารโปรตีนที่เด็กได้รับนอกจากต้องมีปริมาณเพียงพอแล้ว ต้องมีคุณภาพดีด้วย หมายถึงมีจำนวนของกรดอะมิโนที่จำเป็นพอเพียงกับที่ร่างกายต้องการและได้สัดส่วนที่เหมาะสม

ประกาศกระทรวงฯถือเอาสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นในไข่เป็นมาตรฐานและให้มีในอาหารเด็กอ่อนในปริมาณไม่น้อยกว่า 70%ของไข่ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งใกล้เคียงกับที่ FAO/WHO กำหนด(39) ดังนั้นจะกำหนดสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นในปริมาณ 70% ของไข่ ตามตารางที่ 2.2

2.1.2.3 ไขมันและกรดไขมัน ไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่ดี ในอาหารเด็กอ่อนควรมีไขมันอยู่ด้วย เพราะถ้าจะอาศัยเฉพาะพลังงานที่ได้จากคาร์โบไฮเดรทและโปรตีน ต้องทานปริมาณมากจึงจะได้พลังงานพอเพียงซึ่งเกินความสามารถของเด็ก กรดไขมันที่จำเป็นที่สำคัญคือ กรดลิโนเลอิค (Linoleic acid) ร่างกายต้องการจากอาหารเพราะสังเคราะห์เองไม่ได้ จะรับผิดชอบต่อความเป็นปกติของผิวหนัง(23,29)

ประกาศกระทรวงฯ กำหนดเฉพาะปริมาณกรดไขมันชนิดลิโนเลอิค ต้องไม่น้อยกว่า 200 มิลลิกรัม ต่อ 100 กิโลแคลอรี่ ซึ่งเป็นปริมาณที่พอเพียงกับที่ร่างกายต้องการ(23) จึงกำหนดปริมาณกรดลิโนเลอิคให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงฯ ส่วนปริมาณไขมันถึงแม้จะไม่กำหนด แต่เห็นสมควรว่าควรได้รับในปริมาณที่ไม่ต่างจากเด็กอายุต่ำกว่า 3 เดือนซึ่งประกาศกระทรวงมีกำหนดไว้ ดังนั้นจะกำหนดให้มีไขมันในอาหารต่อ 100 กิโลแคลอรี่ เป็นปริมาณไม่น้อยกว่า 2.0 กรัมและไม่เกิน 4.0 กรัม

ตารางที่ 2.2 สัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นที่กำหนดโดย FAO/WHO ที่มีในไข่ และใน 70% ของไข่

กรดอะมิโนที่จำเป็น	มิลลิกรัมของกรดอะมิโน/กรัมของโปรตีน		
	FAO/WHO	ไข่	70% ไข่
ไอโซลิวซีน	35.0	54.0	37.8
ลิวซีน	80.0	86.0	60.2
ไลซีน	52.0	70.0	49.0
เมไธโอนีนและซิสตีน	29.0	57.0	39.9
ฟีนีล อลานีล และไธโรซีน	63.0	93.0	65.1
ทรีโอนีน	44.0	47.0	32.9
ทริปโทฟาน	8.5	17.0	11.9
วาลีน	47.0	66.0	46.2
อิสติดีน	14.0	22.0	15.4

2.1.2.4 ไวตามิน เอ

ประกาศกระทรวงฯ กำหนดปริมาณต่ำสุดไว้เท่ากับ 250 หน่วยสากล ต่อ 100 กิโลแคลอรี่ ซึ่งเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย (23,66) ไวตามิน เอ ถ้ารับเข้าไปมากจะเกิดอันตราย (61) จึงจำเป็นต้องกำหนดปริมาณสูงสุดไว้ด้วย ปริมาณสูงสุดถือตามที่ Codex กำหนดคือ 750 หน่วยสากล ต่อ 100 กิโลแคลอรี่

2.1.2.5 ไวตามิน ดี ไวตามิน ดี จะช่วยเสริมสร้างกระดูกและฟัน โดยไปช่วยเพิ่มอัตราการดูดซึมแคลเซี่ยมและฟอสฟอรัส (85)

พบว่าปริมาณที่ควรได้รับเท่ากับ 45 – 53 หน่วยสากลต่อ 100 กิโลแคลอรี่ (10,16) และถ้าเข้าไปมากเกินจะก่อให้เกิดโทษ ทำให้เกิด Hyper –

calcemia ปริมาณไม่ควรเกิน 113 - 131 หน่วยสากลต่อ 100 กิโลแคลอรี่ (10)

ประกาศกระทรวงฯ ไม่กำหนดปริมาณของไวตามินตัวนี้ แต่นำมาศึกษาด้วยเพราะเห็นว่าจะได้รับจากน้ำนมแม่ไม่พอ (23) ดังนั้นจะกำหนดปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 53 หน่วยสากลต่อ 100 กิโลแคลอรี่ และปริมาณสูงสุดเท่ากับ 100 หน่วยสากลต่อ 100 กิโลแคลอรี่

2.1.2.6 ไวตามิน อี

ประกาศกระทรวงฯ กำหนดให้มีไวตามิน อี ในรูป α-Tocopherol acetate ไม่น้อยกว่า 1.0 หน่วยสากลต่อกรัมกรดลิโนเลอิค ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย (50) ดังนั้นจะกำหนดปริมาณต่ำสุดไว้ 1.0 หน่วยสากลต่อกรัมกรดลิโนเลอิค

2.1.2.7 ไวตามิน เค

ปัญหาการขาดไวตามิน เค พบมากในเด็กเกิดใหม่ที่กินนมแม่ เนื่องจากมีไม่พอเพียง และแบคทีเรียในลำไส้ยังไม่พร้อมที่จะสังเคราะห์ (77) ความต้องการไวตามิน เค ที่แท้จริงเป็นเท่าใด ยังไม่ทราบชัด แต่ Fomon (23) แนะนำปริมาณที่ควรได้รับเท่ากับ 1.2 - 2 ไมโครกรัมต่อ 100 กิโลแคลอรี่

ประกาศกระทรวงฯ ไม่ได้กำหนดปริมาณไวตามินตัวนี้ไว้ แต่จะนำมาศึกษาด้วย เพราะในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังคงเลี้ยงลูกด้วยน้ำนมแม่ ดังนั้นจะกำหนดปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 2 ไมโครกรัมต่อ 100 กิโลแคลอรี่

2.1.2.8 ไวตามิน ซี

เด็กทารกมีความต้องการไวตามิน ซี ประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อวัน หรือประมาณ 1.1 - 1.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กิโลแคลอรี่ (43,70)

ประกาศกระทรวงฯ กำหนดไว้สูงมากถึง 10 มิลลิกรัมต่อ 100 กิโลแคลอรี่ แต่เนื่องจากไม่มีหลักฐานเกี่ยวกับความเป็นพิษ ถ้าหากรับเข้าไปมาก ดังนั้นจะกำหนดปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อ 100 กิโลแคลอรี่

2.1.2.9 ไทอะมีน

ประกาศกระทรวงฯ กำหนดปริมาณต่ำสุดไว้ 50 ไมโครกรัมต่อ 100 กิโลแคลอรี่ ซึ่งสูงกว่าที่ร่างกายต้องการ 2 เท่า (23) แต่เนื่องจากร่างกายสามารถขับไทอะมีนส่วนที่เกินความต้องการออกทางปัสสาวะได้ ดังนั้นจะกำหนดปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อ 100 กิโลแคลอรี่

2.1.2.10 ไรโบฟลาวิน

ประกาศกระทรวงฯ กำหนดปริมาณต่ำสุดไว้เท่ากับ 70 ไมโครกรัมต่อ 100 กิโลแคลอรี่ ซึ่งพอเพียงกับความต้องการของร่างกาย (12) ดังนั้นจะกำหนดปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 70 ไมโครกรัมต่อ 100 กิโลแคลอรี่

2.1.2.11 ไนอะซิน, ไวตามินบี 6 และไวตามิน บี 12

ประกาศกระทรวงฯ ไม่ได้กำหนดปริมาณ 3 ตัวนี้ไว้ แต่จะนำมาศึกษาด้วยเนื่องจากเห็นว่าเป็นตัวที่สำคัญ ในการศึกษาจะกำหนดเฉพาะปริมาณต่ำสุด โดยพิจารณาจากความต้องการของร่างกายดังนี้คือ

ไนอะซิน	กำหนดปริมาณต่ำสุดเท่ากับ	660	ไมโครกรัมต่อ	100 กิโลแคลอรี่	(23)
ไวตามิน บี 6	"	"	53	"	" (23)
ไวตามิน บี 12	"	"	39	"	" (40)

2.1.2.12 กรดแพนโทเธนิค, กรดฟอลิค, โคลีนและไบโอติน

ประกาศกระทรวงฯ ไม่ได้กำหนดปริมาณไว้ แต่จะนำมาพิจารณาด้วยความสำคัญดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้นปริมาณต่ำสุดที่กำหนดต่อ 100 กิโลแคลอรี่คือ กรดแพนโทเธนิค 300 ไมโครกรัม,โคลิน 7 ไมโครกรัม,ไบโอติน 1.5 ไมโครกรัม (38) และกรดโฟลิค 6.5 ไมโครกรัม(76)

2.1.2.13 โซเดียม,โปตัสเซียมและคลอไรด์

แร่ธาตุทั้ง 3 มีความสำคัญต่อความดันและความสมดุลย์ต่าง ๆ ของของเหลว ภายในร่างกาย (23)

ประกาศกระทรวงฯ ไม่ได้กำหนดปริมาณต่ำสุดของทั้ง 3ตัว กำหนดเฉพาะปริมาณสูงสุดต่อ 100 กิโลแคลอรี่ ของโซเดียมและคลอไรด์ไว้เท่ากับ 80 มิลลิกรัม และ 150 มิลลิกรัมตามลำดับ ได้กำหนดปริมาณต่ำสุดของโซเดียม,โปตัสเซี่ยม และคลอไรด์ ต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี่ ไว้ดังนี้คือ 18 มิลลิกรัม, 31 มิลลิกรัมและ 28 มิลลิกรัมตามลำดับ (23) ปริมาณสูงสุดของโซเดียมและคลอไรด์ให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงฯ ส่วนปริมาณสูงสุดของโปตัสเซียมกำหนดตาม Codex คือ 200 มิลลิกรัม

2.1.2.14 แคลเซียม,ฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม

ประกาศกระทรวงฯกำหนดเฉพาะปริมาณต่ำสุดของแคลเซียมไว้เท่ากับ 50 มิลลิกรัม ต่อ 100กิโลแคลอรี่ ซึ่งเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย(23) ได้กำหนดปริมาณของธาตุทั้ง 3 ต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี่ไว้ดังนี้คือ แคลเซียม 50 มิลลิกรัม,ฟอสฟอรัส 17 มิลลิกรัม และแมกนีเซียม 2.6 มิลลิกรัม(23) ส่วนปริมาณสูงสุดกำหนดเฉพาะของแคลเซียมไว้เท่ากับ 70 มิลลิกรัม ต่อ 100 กิโลแคลอรี่(39)เนื่องจากพบว่าถ้ารับแคลเซียมเข้าไปมากเกินควบคู่กับไวตามินดีในปริมาณมาก จะทำให้เกิด Hypercalcemia (67)

นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสมีผลต่อการดูดซึมแคลเซี่ยม จึงได้กำหนดสัดส่วนของแคลเซี่ยมต่อฟอสฟอรัสในปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 1.4 และปริมาณสูงสุดเท่ากับ 2.0 (84)

2.1.2.15 เหล็ก, ไอโอดีน, แมงกานีส, ทองแดง และสังกะสี

ประกาศกระทรวงฯ กำหนดปริมาณต่ำสุดของเหล็กและไอโอดีนต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี่ ไว้เท่ากับ 1 มิลลิกรัมและ 5 ไมโครกรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย (23,67) จึงกำหนดปริมาณต่ำสุดตามประกาศกระทรวงฯ

แมงกานีส, ทองแดง และสังกะสี ประกาศกระทรวงฯ ไม่ได้กำหนดไว้ แต่จะนำมาพิจารณา โดยกำหนดปริมาณต่ำสุดต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี่ไว้ดังนี้คือ แมงกานีส 5 ไมโครกรัม, ทองแดง 60 ไมโครกรัม, และสังกะสี 0.5 มิลลิกรัม(38) ส่วนปริมาณสูงสุดกำหนดเฉพาะทองแดงและสังกะสีคือ ทองแดง 84 ไมโครกรัม, สังกะสี 1.0 มิลลิกรัม (23)

2.1.3 ความต้องการอื่น ๆ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข

- ความสัมพันธ์ของพลังงานกับน้ำหนักอาหาร

ได้กำหนดพลังงานที่จะได้จากอาหาร 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) เท่ากับ 350 กิโลแคลอรี่ ตามประกาศกระทรวงฯ

- ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลกับคาร์โบไฮเดรท

ประกาศกระทรวงฯ กำหนดว่าไม่น้อยกว่า 20% ของคาร์โบไฮเดรทั้งหมดต้องเป็นน้ำตาล

ไม่มีข้อมูลที่บอกให้ทราบว่าเด็กควรได้รับน้ำตาลปริมาณเท่าใด แต่พบว่า 35 - 55% ของพลังงานที่เด็กได้รับควรมาจากคาร์โบไฮเดรท (23) เมื่อถือเอา 20%ของคาร์โบไฮเดรท ต้องอยู่ในรูปของน้ำตาล พบว่าพลังงานที่ได้จากน้ำตาลจะเป็น 9.2-14.3%

จะเห็นว่าการกำหนดตามประกาศกระทรวงฯ อยู่ในช่วงของพลังงานที่ต้องการจากคาร์โบไฮเดรท ดังนั้นจึงกำหนดให้อาหารเด็กอ่อนมีน้ำตาลไม่น้อยกว่า 20%

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ของคาร์โบไฮเดรท

ได้สรุปชนิดและปริมาณที่ต้องการของสารอาหารต่าง ๆ ไว้ในตาราง ที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สารอาหารและปริมาณที่กำหนดในการศึกษา

สารอาหาร	แสดงปริมาณต่อ100กิโลแคลอรี่		แสดงปริมาณในรูปอื่น
	ต่ำสุด	สูงสุด	
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)			760 ต่อวัน สำหรับเด็กอายุ 3-5 เดือน 880 ต่อวัน สำหรับเด็กอายุ 6-12 เดือน
โปรตีน (กรัม)	1.8	3.5	
กรดอะมิโนชนิดจำเป็น			แบบแผนของกรดอะมิโนต้องไม่น้อยกว่า 70% ของโปรตีนในไข่
ไขมัน (กรัม)	2.0	4.0	
กรดลิโนเลอิค (มิลลิกรัม)	200.0	-	
ไวตามิน เอ (หน่วยสากล)	250.0	750.0	
ไวตามิน ดี (หน่วยสากล)	53.0	100.0	
ไวตามิน อี (หน่วยสากล)			1 หน่วยสากลต่อกรัมของกรดลิโนเลอิค
ไวตามิน เค (ไมโครกรัม)	2.0	-	
กรดแอสคอบิค (มิลลิกรัม)	10.0	-	
ไทอะมีน (ไมโครกรัม)	50.0	-	
ไรโบฟลาวิน (ไมโครกรัม)	70.0	-	

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

สารอาหาร	แสดงปริมาณต่อ100กิโลแคลอรี่		แสดงปริมาณในรูปอื่น
	ต่ำสุด	สูงสุด	
ไนอะซิน (ไมโครกรัม)	660.0	-	
ไวตามิน บี6 (ไมโครกรัม)	53.0	-	
ไวตามิน บี12 (ไมโครกรัม)	39.0	-	
กรดแพนโทเทนิค (ไมโครกรัม)	300.0	-	
กรดโฟลิค (ไมโครกรัม)	6.5	-	
โคลีน (ไมโครกรัม)	7.0	-	
ไบโอติน (ไมโครกรัม)	1.5	-	
โซเดียม (มิลลิกรัม)	18.0	80.0	
คลอไรด์ (มิลลิกรัม)	28.0	150.0	
โปแตสเซียม (มิลลิกรัม)	31.0	200.0	
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	50.0	70.0	
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	17.0	-	
สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส			ต่ำสุด 1.4, สูงสุด 2.0
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	2.6	-	
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.0	-	
ไอโอดีน (ไมโครกรัม)	5.0	-	
แมงกานีส (ไมโครกรัม)	5.0	-	
ทองแดง (ไมโครกรัม)	60.0	84.0	
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.5	1.0	
พลังงาน/น้ำหนักแห้ง			ต่ำสุด 3.5
%คาร์โบไฮเดรทในรูปซูโครส			ต่ำสุด 20%

2.2 การกำหนดลักษณะทางกายภาพของอาหาร

จากการสำรวจความคิดเห็นของมารดาเกี่ยวกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้ชี้ว่าควรเป็นผลิตภัณฑ์แห้ง (15) ดังนั้นลักษณะอาหารเด็กอ่อนที่ใช้ศึกษาจะเป็นผลิตภัณฑ์แห้ง ซึ่งประกาศกระทรวงสาธารณสุข (1) กำหนดให้มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 5

2.3 สูตรอาหารเด็กอ่อน

เมื่อกำหนดคุณค่าทางอาหารและลักษณะทางกายภาพแล้ว จะมีวิธีการหาสูตรอาหารเพื่อหาส่วนผสมของวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ทำให้อาหารมีคุณภาพตามกำหนด การหาสูตรอาจทำได้โดยคำนวณหรือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้าช่วย (15) วิธีการคำนวณใช้ได้ดีเมื่อมีวัตถุดิบไม่กี่ชนิด ทำให้การเลือกใช้วัตถุดิบมีขอบเขตจำกัด แต่ถ้าใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสามารถเลือกใช้วัตถุดิบได้อย่างอิสระ

สูตรอาหารที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้จากเอกสารอ้างอิง (15) ซึ่งหาสูตรโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ชนิดเส้นตรง เลือกจากวัตถุดิบจำนวน 93 ชนิด วัตถุดิบเหล่านี้หาได้ในตลาดทั่วไป สูตรอาหารที่ใช้แสดงในตารางที่ 2.4 ส่วนตารางที่ 2.5 แสดงคุณค่าทางอาหารที่จะได้จากส่วนผสมอาหารตามสูตรที่ใช้

2.4 กรรมวิธีการทำให้แห้ง

2.4.1 การทำให้แห้งแบบต่าง ๆ

การทำให้แห้งมีหลายวิธี การตัดสินใจเลือกใช้วิธีใดจะคำนึงถึงเหตุผลหลายอย่าง เช่น ลักษณะของของที่จะทำให้แห้ง ความยากง่ายในการทำ ความพร้อมของเครื่องมือ และต้นทุนในการทำ (14,68,80)

ของที่จะนำมาทำให้แห้ง ซึ่งอยู่ในลักษณะเหลวหยุ่นคล้ายแป้งเปียก มีวิธีการทำให้แห้งที่เหมาะสมหลายแบบ (14,80) เช่น Pan drying, Vacuum drying, Freeze drying, Foam-mat drying, Spray dryingและ Drum drying

ตารางที่ 2.4 สูตรอาหารที่ใช้ในการผลิต

วัตถุดิบ	ปริมาณ (กรัม)	ปริมาณร้อยละ
ปลาไส้ตัน	54.9	11.88
เนื้อวัว	0.2	0.04
แป้งมัน	38.7	8.38
มะพร้าว	3.4	0.74
กะน้า	140.0	30.32
ไข่เป็ด	6.3	1.36
ตำลึง	7.8	1.69
แป้งถั่วเขียว	50.3	10.89
หัวผักกาด	0.4	0.09
ข้าวนึ่ง	34.2	7.41
งา	23.2	5.02
เต้าหู้	22.9	4.96
บวบ	20.3	4.40
แตงโม	20.3	4.40
น้ำตาล	38.9	8.42

น้ำหนักรวม = 462.0 กรัม

น้ำหนักแห้ง = 204.8 กรัม

003761

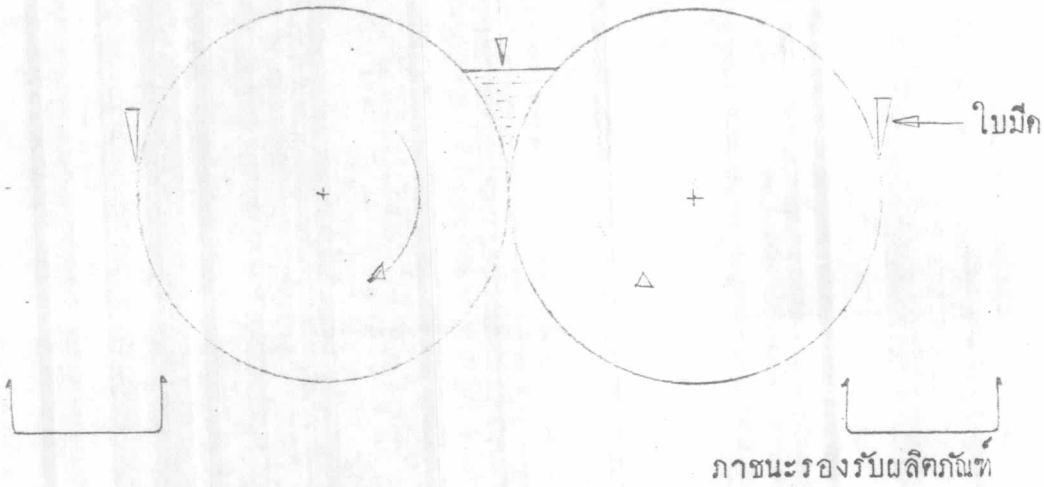
ตารางที่ 2.5 สารอาหารและคุณค่าทางอาหารที่จะได้จากสูตรในตารางที่ 2.4 (น.น รวม 462.0กรัม)

สารอาหาร	ปริมาณ	สารอาหาร	ปริมาณ
พลังงาน	880.0 กิโลแคลอรี่	คลอไรด์	213.0 มิลลิกรัม
โปรตีน	25.6 กรัม	โปแตสเซียม	1760.0 "
ไขมัน	17.6 "	แคลเซียม	719.7 "
คาร์โบไฮเดรท	156.6 "	ฟอสฟอรัส	514.1 "
เส้นใย	3.6 "	แมกนีเซียม	224.9 "
กรดลิโนเลอิค	4598.3 มิลลิกรัม	เหล็ก	11.0 "
ไวตามิน เอ	2303.7 หน่วยสากล	ไอโอดีน	44.0 "
ไวตามิน ดี	400.0 "	แมงกานีส	104.2 "
ไวตามิน อี	4.8 "	ทองแดง	900.0 ไมโครกรัม
ไวตามิน เค	6505.9 ไมโครกรัม	สังกะสี	4.4 มิลลิกรัม
กรดแอสคอบิค	139.1 มิลลิกรัม	ไอโซลิวซีน	1349.0 "
ไทอะมิน	0.62 "	ลิวซีน	2113.0 "
ไรโบฟลาวิน	0.66 "	ไลซีน	1784.0 "
ไนอาซิน	5.13 "	เมไทโอนีน	764.0 "
ไวตามิน บี6	1.12 "	ฟีนิลอลานีน	1320.0 "
ไวตามิน บี12	0.004 "	ทรีโอนีน	1204.0 "
กรดแพนโทเทนิค	2.98 "	ทริบโทเฟน	353.0 "
กรดโฟลิค	0.75 "	ไทโรซีน	881.0 "
โคลีน	326.3 "	วาลีน	1462.0 "
ไบโอติน	14.87 "	ซิสทีน	279.0 "
โซเดียม	184.8 "	ฮิสทิดีน	670.0 "

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการเหล่านี้โดยดูจากความยากง่ายในการทำต้นทุนในการทำ และความพร้อมของเครื่องมือ ได้เลือกวิธีการทำให้แห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum drying) (15)

2.4.2 วิธีการทำให้แห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum drying or roller drying)

เครื่องมือการทำให้แห้งแบบลูกกลิ้งมีหลายแบบ แบบที่ใช้ศึกษาครั้งนี้เป็นแบบลูกกลิ้งคู่Double drum dryer ในสภาพบรรยากาศปกติ ดังภาพแสดงรูปที่ 2.1 ลูกกลิ้งสองตัวหมุนเข้าหากันด้วยความเร็วที่ควบคุมได้ ของที่จะทำให้แห้งถูกป้อนเข้าทางด้านบนตรงกลางระหว่างลูกกลิ้ง ควบคุมความร้อนของลูกกลิ้งได้โดยควบคุมจำนวนไอน้ำที่จะกลั่นตัวคายความร้อนให้ผิวลูกกลิ้ง ความร้อนจากผิวลูกกลิ้งจะถ่ายเทไปยังของที่จะทำให้แห้งอีกต่อหนึ่ง ของที่แห้งแล้วจะถูกปาดออกโดยใบมีดลงสู่ภาชนะรองรับ



รูปที่ 2.1 ลักษณะเครื่องมือทำให้แห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Double drum dryer)

2.4.2.1 ตัวแปรต่าง ๆ ในการทำให้แห้งโดยใช้เครื่องมือทำให้แห้งแบบลูกกลิ้งคู่

ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องมีอยู่หลายตัว (14, 18,80) ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือได้แก่ ความดันไอน้ำ ความเร็วลูกกลิ้ง และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง ส่วนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของของที่จะทำให้แห้งได้แก่ อุณหภูมิของตัวอย่างก่อนป้อนเข้าเครื่อง และปริมาณของแข็งในตัวอย่างที่จะทำให้แห้ง จะพิจารณารายละเอียดของแต่ละตัวดังนี้

-ความดันไอน้ำ (Steam pressure)

ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่ลูกกลิ้ง ถ้าเพิ่มความดันไอน้ำมากขึ้น อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งจะเพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ถ้าเพิ่มความดันไอน้ำมากเกินไป อาจทำให้ไหม้ และทำนองเดียวกันถ้าความดันไอน้ำน้อยไป ผลิตภัณฑ์จะไม่แห้ง

-ความเร็วลูกกลิ้ง (Drum speed)

เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการทำให้แห้ง (Drying time) โดยกำหนดเป็นเวลาที่ใช้ในการหมุนครบหนึ่งรอบ หรือจำนวนรอบต่อนาที ในการทำให้แห้ง ถ้าเพิ่มความเร็วมากขึ้น ระยะเวลาที่ตัวอย่างจะได้รับความร้อนจะน้อยลง ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะมากขึ้น ทำนองเดียวกันถ้าลดความเร็วลง ตัวอย่างจะได้รับความร้อนมากและเป็นเวลานานจนอาจไหม้ได้

จากการศึกษาผลของตัวแปรตัวนี้ ในการผลิต Potato-flake (80) พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วขึ้นจาก 2 รอบ/นาที ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะมากขึ้น ทั้งนี้เพราะหมุนเร็วยังไม่ทันแห้งก็ถูกปาดออกก่อน เมื่อลดความเร็วจาก 2 รอบ/นาที ความชื้นจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ให้เหตุผลว่าเกิดการแห้งมากเกินไปที่ผิวที่สัมผัสกับผิวลูกกลิ้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์หลุดออกจากผิวลูกกลิ้งเสียก่อน ที่น้ำจะทันได้ออกจากภายใน

-อุณหภูมิของตัวอย่างก่อนป้อนเข้าเครื่อง (Feeding temperature)

จะมีผลต่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวในลูกกลิ้งกับอุณหภูมิของตัวอย่างที่จะทำให้แห้ง (18) ถ้าตัวอย่างมีอุณหภูมิต่ำ ผลต่างจะมีค่ามาก อัตราการระเหยของน้ำจะเกิดขึ้นเร็ว ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้น้อยกว่าเมื่อตัวอย่างมีอุณหภูมิสูง

แต่ถ้าตัวอย่างมีอุณหภูมิต่ำเกินไป อัตราการระเหยน้ำจะกลับช้าลง เพราะต้องใช้เวลาในการยกระดับอุณหภูมิให้สูงขึ้น ทำให้ความชื้นสูง

-ปริมาณของแข็งในตัวอย่างที่จะทำให้แห้ง (Solid content)

เป็นตัวแสดงความเข้มข้นของตัวอย่างที่จะทำให้แห้ง จะมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ พบว่าถ้าปริมาณของแข็งมีมากจะทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงกว่าเมื่อปริมาณของแข็งมีน้อย (80)

-ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (Clearance)

เป็นตัวควบคุมความหนาของผลิตภัณฑ์ สามารถปรับให้ห่างมากน้อยได้จะมีผลต่อความชื้น ถ้าห่างมากผลิตภัณฑ์จะหนามีความชื้นสูง ถ้าห่างน้อยผลิตภัณฑ์จะบางมีความชื้นต่ำ บางครั้งถ้าบางมากผลิตภัณฑ์อาจจะไหม้ได้

2.4.2.2 การเลือกช่วงตัวแปรต่าง ๆ ในการทำให้แห้ง

พิจารณาจากข้อมูลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่มีผู้ทดลองศึกษาไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.6 จะเห็นว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีหลายประเภท ทั้งประเภทที่มีปริมาณน้ำตาลสูง และเส้นใยต่ำ เช่น มะเขือเทศ,แอปเปิ้ล ประเภทที่มีแป้งสูง เช่น มันฝรั่ง,มันเทศ รวมทั้งประเภทที่มีแป้งและน้ำตาลปานกลาง ทุกประเภทสามารถนำมาทำให้แห้งโดยใช้เครื่องทำให้แห้งแบบลูกกลิ้งได้ทั้งนั้น ช่วงของความดันไอน้ำที่ใช้กันคือ 15 - 100 ปอนด์/ตารางนิ้ว ความเร็วลูกกลิ้ง 2 - 10 รอบ/นาที อุณหภูมิของตัวอย่างก่อนป้อนเข้าเครื่อง 54 °ซ - 99 °ซ ปริมาณของแข็งในตัวอย่าง15-22% และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง .006 - .25 นิ้ว

นอกจากจะพิจารณาเลือกช่วงตัวแปรที่จะศึกษาจากช่วงที่เคยมีผู้ศึกษาไว้แล้ว การเลือกยังต้องคำนึงถึงขีดจำกัดการทำงานของเครื่องมือ และความสะดวกในการทดลองด้วย จากตัวแปรทั้ง 5 ตัวของเครื่อง จะเลือกตัวแปรตามลำดับความสำคัญดังนี้คือ

ตารางที่ 2.6 สภาวะการทำให้แห้งของผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์	สภาวะการหุงต้ม	ปริมาณของแข็ง (ร้อยละ)	อุณหภูมิก่อนป้อนเข้าเครื่อง	ความเร็วลูกกลิ้ง (รอบ/นาที)	ความดันไอน้ำ (ปอนด์/นิ้ว)	ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (นิ้ว)	ขนาดลูกกลิ้ง $\phi \times$ ยาว (นิ้ว)	เอกสารอ้างอิง
1. Tomato Flake	-	20	-	3-3⅓	35	.008-.01	-	46
2. Tomato Flake	100°C (20°Brix)	20	80°C	2-3.5	35.5-50	.008	6 x 6.5	29
3. Instant Apple Sauce			-	1.5	60-70	.008	12 x 18	47
4. Instant Tortilla Flour	-	-	-	2-4	15-25	.003	-	54
5. Potato Flake	-	21-22	-	2	75-80	.25	-	80
6. Sweet Potato Flake	ไอน้ำ 20-30 นาที	20	54°C	2-10	50-100	.006-.075	-	74
7. White Yam Flake	ไอน้ำ 30 นาที	20	-	2-4	80	.01	6 x $7\frac{5}{8}$	58
8. Pumpkin Flake	98-100°C 25 นาที	15	99°C	2	80	-	12 x 19	35
9. Guava-Taro Flake	-	20	-	2-3	35-40	.03	15 x 19.5	57
10. Papaya-Taro Flake	-	20	-	3	25-30	.03	15 x 19.5	57

-ความดันไอน้ำและความเร็วลูกกลิ้ง จะเลือกศึกษาก่อน เนื่องจากมีผลต่อคุณภาพอาหารอย่างเห็นได้ชัด ช่วงที่เลือกศึกษาเมื่อคำนึงถึงขีดจำกัดของเครื่องมือด้วยแล้วคือ ใช้ความดันไอน้ำ 20 - 50 ปอนด์/ตารางนิ้ว และความเร็วลูกกลิ้ง 2 - 4 รอบ/นาที

-อุณหภูมิของตัวอย่างที่จะป้อนเข้าเครื่อง เนื่องจากมีข้อมูลน้อย จะขยายช่วงที่ศึกษาให้ต่ำลงมาอีก ช่วงที่เลือกศึกษาคือ 30 - 90°ซ ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สะดวก

-ปริมาณของแข็งในตัวอย่างที่จะทำให้แห้ง ช่วงที่เลือกศึกษาคือ 15 - 22% ซึ่งอยู่ในช่วงที่ได้มีคนศึกษาไว้แล้ว

-ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ไม่สามารถปรับระยะให้ได้แน่นอน จึงตั้งระยะไว้ตายตัวตลอดการทดลองคือ 0.01 นิ้ว

สรุปตัวแปรและช่วงตัวแปรที่จะศึกษาในการทดลองนี้คือ

ความดันไอน้ำ 20 - 50 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ความเร็วลูกกลิ้ง 2 - 4 รอบ/นาที
อุณหภูมิของตัวอย่างที่จะป้องเข้าเครื่อง 30°ซ-90°ซ
ปริมาณของแข็งในตัวอย่างที่จะทำให้แห้ง 15 - 22%

2.4.3 กรรมวิธีก่อนการทำให้แห้ง

ขั้นตอนก่อนการทำให้แห้ง ที่สำคัญต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้แก่

-การเตรียมวัตถุดิบ
-การต้ม

2.4.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้มีทั้งของแห้งและสด ของแห้งที่ต้องเตรียม คือ ข้าวและงา จะนำมาบดให้แตกออก ส่วนของสดจะแยกส่วนที่ไม่ใช้ออก จากนั้นเป็นการล้างทำความสะอาด บดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วชั่งน้ำหนักให้ได้ปริมาณตามที่กำหนดในสูตรอาหาร

2.4.3.2 การต้ม

วัตถุประสงค์ของการต้มคือ 1) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อเยื่อ ซึ่งจะช่วยให้องค์ประกอบในอาหารถูกย่อยได้ง่ายขึ้น 2) ทำลายสารพิษที่มีตามธรรมชาติ สารพิษเหล่านี้หมายถึง สารที่สกัดกั้นการใช้โปรตีน และสารที่ยับยั้งการทำงานของไวตามิน (15)

- การเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อเยื่อ

องค์ประกอบในอาหารที่จำเป็นต้องได้รับความร้อนเพื่อช่วยให้ถูกย่อยได้ง่ายขึ้น ได้แก่ โปรตีน และคาร์โบไฮเดรท ความร้อนจะทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอนหรือเสื่อมสภาพไปจากเดิม (Protein denaturation) นอกจากนี้ยังช่วยให้กรดอะมิโนประเภทที่มีซัลเฟอร์ถูกนำไปใช้ได้ดีขึ้น (6) ส่วนคาร์โบไฮเดรท เมื่อถูกความร้อน จะทำให้แป้งสุก (Gelatinization of starch) ทำให้ถูกย่อยง่ายขึ้น โดยเฉพาะเด็กทารกซึ่งทราบกันแล้วว่าการย่อยแป้งจะช้าเมื่ออายุมากขึ้นการย่อยจึงจะไวขึ้น (23) ดังนั้นอาหารเด็กอ่อนจึงควรทำแป้งให้สุก แป้งต่างชนิดกันจะมีช่วงอุณหภูมิของการทำให้สุกแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.7 (32) ส่วนพวกเซลลูโลสหรือเส้นใยต่าง ๆ ความร้อน จะช่วยให้อ่อนตัวทำให้ถูกย่อยได้ง่ายขึ้น

- การทำลายสารพิษตามธรรมชาติ

ตัวอย่างสารพิษตามธรรมชาติที่ทำให้คุณค่าอาหารลดลงมีทั้งในสัตว์และพืช (9,27,86) เช่น ไทอะมิเนส (Thiaminase) พบในปลา จะทำลายไทอะมิน อะวิดิน (Avidin) ในไข่ขาว จะรวมกับไบโอติน แอสคอบิค แอซิด ออกซิเดส (Ascorbic acid oxidase) พบในผัก, ผลไม้ จะทำลายไวตามิน ซี ในพืชประเภทถั่ว จะมีสารพิษอยู่หลายตัว

ตารางที่ 2.7 ช่วงอุณหภูมิการเกิด Gelatinization สำหรับแป้งชนิดต่าง ๆ

ชนิดของแป้ง	อุณหภูมิ (°ซ)
แป้งข้าวโพด	62 - 70
แป้งข้าว	68 - 78
แป้งข้าวสาลี	59.5 - 64
แป้งถั่วเขียว	57 - 70
แป้งมันฝรั่ง	58 - 66
แป้งมัน	52 - 64

พบว่าสารพิษที่สำคัญในถั่วเหลืองคือ ทริปซิน อินฮิบิเตอร์ (Trypsin inhibitor) ฮีแมกกลูตินิน (Haemagglutinin), และ แซพโพนิน (Saponin) นอกจากนี้แล้วยังอาจพบเอนไซม์อินฮิบิเตอร์อื่น ๆ อีกในวัตถุดิบต่าง ๆ

ในจำนวนสารพิษเหล่านี้ ทริปซินอินฮิบิเตอร์เป็นตัวที่ทนความร้อนได้มาก ดังนั้นความร้อนที่ใช้ในการทำลายทริปซินอินฮิบิเตอร์นี้จะพอเพียงในการทำลายสารพิษอื่น ๆ (9,86)

การทำลายทริปซินอินฮิบิเตอร์

การทำให้แห้งถึงแม้จะใช้อุณหภูมิสูง แต่อินฮิบิเตอร์จะถูกทำลายได้น้อย เนื่องจากใช้เวลาสั้น การให้ความร้อนในภาวะที่มีน้ำอยู่ด้วยในระยะเวลานานพอควร จะทำลายอินฮิบิเตอร์ได้อย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว (45) เนื่องจากปฏิกริยาการทำลายทริปซินอินฮิบิเตอร์ จะเป็นขบวนการไม่ย้อนกลับเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 90°ซ ขึ้นไป (86) ดังนั้นอุณหภูมิในการต้ม จะต้องมากกว่า 90° ซ

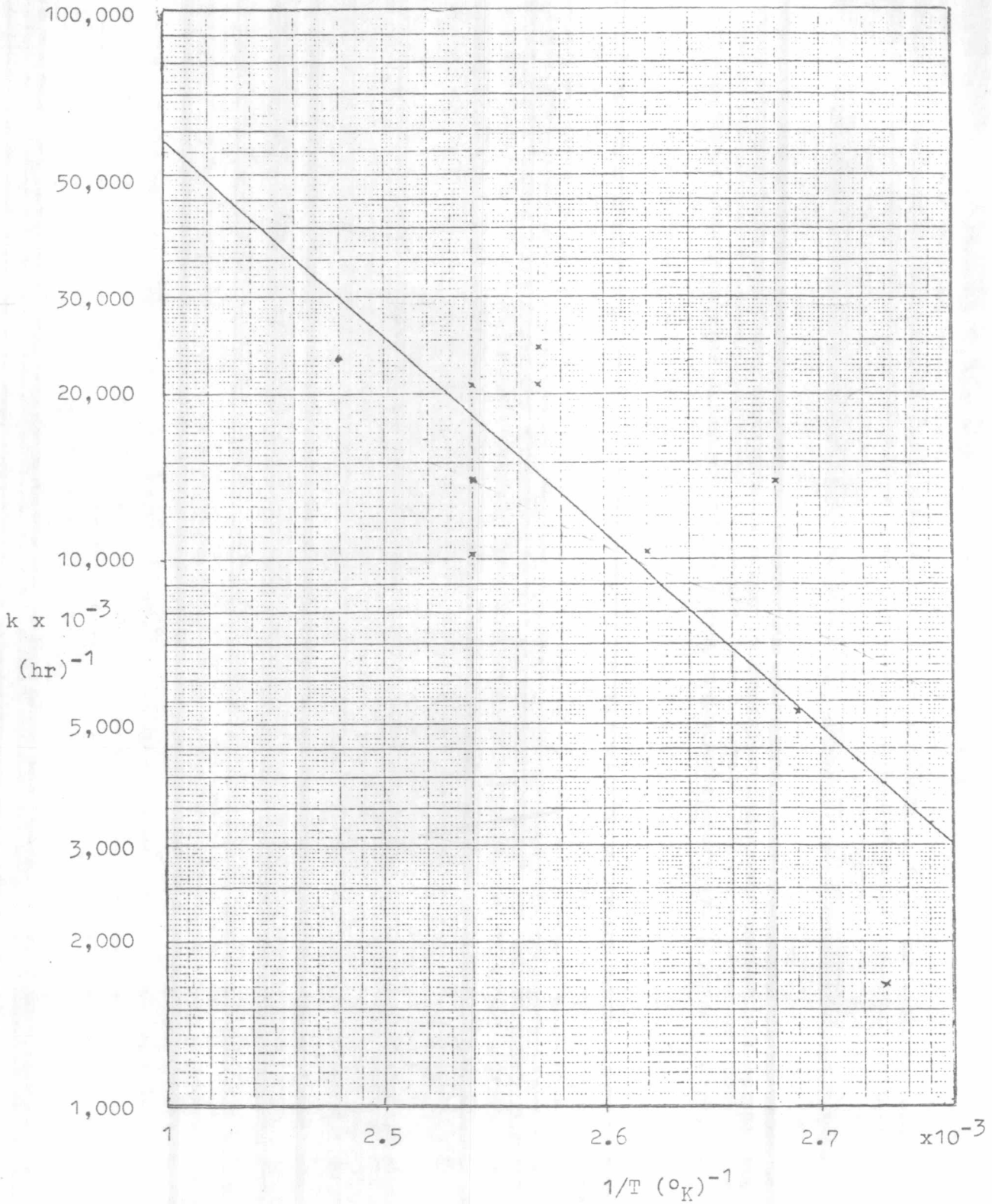
มีผู้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิที่ใช้ทำลายจากผลิตภัณฑ์ถั่วต่าง ๆ

แล้วคำนวณหาค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกริยาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.8 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่กับส่วนกลับของอุณหภูมิออกมาเป็นกราฟดังรูปที่2.2 (15)

ในการศึกษาครั้งนี้ การคำนวณหาเวลาในการต้ม จะคำนวณจากสมการ $t = -\frac{1}{k} \ln(\frac{C}{C_0})$ (20) โดยให้มีการทำลายเพียง 90% เนื่องจากพบว่าเมื่อทริปซินอินฮิบิเตอร์ถูกทำลายเพียง 79 - 87% ร่างกายจะสามารถใช้โปรตีนได้เพียงพอกับความต้องการของร่างกายแล้ว (65) ดังนั้นได้กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ต้มเท่ากับ 93 °ซ แล้วหาค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกริยาจากรูปที่ 2.2 จากการคำนวณ (แสดงในภาคผนวกที่ ค) ได้ว่า การต้มจะให้คงอุณหภูมิไว้ที่ 93 °ซ เป็นเวลานาน 40 นาที จะเห็นว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทำลายทริปซินอินฮิบิเตอร์นี้เพียงพอที่จะทำให้แป้งสุก และช่วยให้โปรตีนถูกย่อยได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 2.8 ค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกริยาการทำลายทริปซินอินฮิบิเตอร์

อุณหภูมิ(°ซ)	$k \times 10^{-3}$ (ชั่วโมง)$^{-1}$	ชนิดของผลิตภัณฑ์
93	1680	Soy milk
98	5454	Soy milk
100	13818	Soybean flake
108	10368	Soy product
115	24384	Soy milk
115	20727	Soy product
121	10380	Soy milk
121	13818	Soy product
121	13818	Ground soybean
121	20727	Soybean product



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า K กับ $\frac{1}{T}$ สำหรับปฏิกริยา การทำลายทริปซินอินฮิบิเตอร์

2.5 ผลของกรรมวิธีการทำให้แห้งที่มีต่อคุณภาพอาหารเด็กอ่อน

ผลของความร้อนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบางอย่างขึ้น เช่น การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร การเกิดปฏิกริยาที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น สี, กลิ่น, รส, ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ ซึ่งจะกล่าวถึงโดยละเอียดต่อไป

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหาร

2.5.1.1 การสูญเสียคุณค่าทางอาหารของสารอาหารต่าง ๆ

กรรมวิธีการทำให้แห้งนับตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ, การต้ม จนถึงการทำให้แห้ง มีผลทำให้เกิดการสูญเสียได้ทุกขั้นตอน จะเป็นสารอาหารตัวใดหรือมากน้อยเพียงใดขึ้นกับสภาวะในแต่ละขั้นตอนนั้น ระหว่างเตรียมวัตถุดิบ การสูญเสียจะเกิดเนื่องจากการล้าง การปอกเปลือก และการหั่น โดยเฉพาะแร่ธาตุและไวตามินที่ละลายน้ำ ปัญหานี้หลีกเลี่ยงได้โดยไม่ล้างด้วยวิธีการแช่น้ำไว้นาน ๆ หรือไม่ล้างหลังปอกเปลือก มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการสูญเสียสารอาหาร เช่น อุณหภูมิและเวลาที่ให้ความร้อน ความเป็นกรด เป็นด่าง ปริมาณความชื้น ปริมาณออกซิเจน และแสงสว่าง Harris(27) ได้ศึกษาเสถียรภาพของสารอาหารภายใต้สภาวะต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 2.9

การสูญเสียคุณค่าทางอาหารของสารอาหารแต่ละประเภทที่เกิดเนื่องจากกรรมวิธีการผลิตสรุปได้ดังนี้

-โปรตีน เมื่อถูกความร้อนจะเกิดการตกตะกอน การต้มที่อุณหภูมิปกติไม่ทำให้คุณค่าทางอาหารเปลี่ยนแปลง แต่ช่วยให้ถูกย่อยได้ง่ายขึ้น(6) แต่การใช้ความร้อนสูงมาก ๆ จะทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นได้หลายทาง (6,45,48) เช่น 1) ทำให้บอนด์ในโมเลกุลของกรดอะมิโนเกิดการเปลี่ยนแปลงจนร่างกายนำกรดอะมิโนนั้นมาใช้ไม่ได้ 2) เกิดปฏิกริยา Non-enzymatic browning เนื่องจากกรดอะมิโนบางตัว คือ ไลซีน, เมทิโอนิน ทำปฏิกริยากับน้ำตาลรีดิวซิงส์ หรือทำปฏิกริยากับสารประกอบคาร์โบนีลที่เกิดจากปฏิกริยาออกซิเดชั่นของไขมัน

-คาร์โบไฮเดรต ความร้อนที่ไม่สูงจนเกินไปจะช่วยให้ - คาร์โบไฮเดรตถูกย่อยได้ง่ายขึ้น และคุณค่าทางอาหารจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าได้รับความร้อนมากเกินไปจะเกิดการไหม้ ทำให้สูญเสียคุณค่าทางอาหาร (35)

-ไขมัน การให้ความร้อนแห้งที่อุณหภูมิสูง จะทำให้โมเลกุลของไขมันแตกตัวเป็นบางส่วน ได้กรดไขมันออกมา การสูญเสียคุณค่าทางอาหารของไขมันจะเกิดเนื่องจากกรดไขมันที่จำเป็น เช่น ลิโนเลนิค,ลิโนเลอิค ถูกทำลายโดยเกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่น (71)

-แร่ธาตุ สภาวะต่าง ๆ จะไม่ค่อยมีผลต่อการสูญเสียของแร่ธาตุ ถึงแม้จะมีบางตัวที่อาจถูกออกซิไดส์โดยแสง ออกซิเจน ทำให้สมมูลย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นก็ตาม แต่ยังไม่มีหลักฐานว่ามีผลต่อคุณค่าทางอาหาร (27)

-ไวตามิน เป็นตัวที่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว จากตารางที่ 2.9 จะเห็นว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการถูกทำลายของไวตามิน ในจำพวกไวตามินที่ละลายน้ำได้ ไวตามินซีจะถูกทำลายโดยความร้อนได้ง่ายที่สุด รองลงมาคือ ไวตามิน บี โดยเฉพาะไทอะมิน (ไวตามินบี 1) จะถูกทำลายได้ง่ายกว่า ไวตามิน บี ตัวอื่น ๆ (27,45) ไวตามิน ซี นอกจากจะถูกทำลายโดยความร้อนแล้ว ยังถูกทำลายได้เนื่องจากปฏิกริยาออกซิเดชั่น อัตราการถูกทำลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น จำพวกไวตามินที่ละลายในไขมันที่สำคัญคือ ไวตามิน เอ และ อี การสูญเสียส่วนใหญ่เนื่องจากเกิดปฏิกริยากับ Peroxide หรือ Radical ที่เกิดจากปฏิกริยาออกซิเดชั่นของไขมัน (45) อัตราเร็วของการถูกทำลายของไวตามินพวกนี้จะลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นการป้องกันไม่ให้ปฏิกริยาออกซิเดชั่นเกิดขึ้น ก็จะเป็นการช่วยให้ไวตามินพวกนี้ถูกทำลายน้อยลง

ดังนั้นสารอาหารที่ควรใช้ในการพิจารณาติดตามคุณภาพอาหารเด็กอ่อนในลักษณะแห้งคือ โปรตีนและไวตามิน แต่เนื่องจากการติดตามผลการถูกทำลายของโปรตีน เช่น การหากรดอะมิโน การหา Biological value ต้องใช้เครื่องมือและความละเอียดในการวิเคราะห์มากกว่าไวตามิน ฉะนั้นเมื่อคำนึงถึงความพร้อมของเครื่อง

ตารางที่ 2.9 ความคงตัวของสารอาหารภายใต้สภาวะต่างๆ

Nutrient	Effect of pH			Air or oxygen	Light	Heat	Max cooking losses
	Neutral pH 7	Acid < pH 7	Alkaline > pH 7				
Vitamins							%
Vitamin A	S	U	S	U	U	U	40
Ascorbic acid (C)	U	S	U	U	U	U	100
Biotin	S	S	S	S	S	U	60
Carotene (pro-A)	S	U	S	U	U	U	30
Choline	S	S	S	U	S	S	5
Cobalamin (B-12)	S	S	S	U	U	S	10
Vitamin D	S		U	U	U	U	40
Folic acid	U	U	S	U	U	U	100
Inositol	S	S	S	S	S	U	95
Vitamin K	S	U	U	S	U	S	5
Niacin (PP)	S	S	S	S	S	S	75
Pantothenic acid	S	U	U	S	S	U	50
p-Amino benzoic acid	S	S	S	U	S	S	5
Pyridoxine (B-6)	S	S	S	S	U	U	40
Riboflavin (B-2)	S	S	U	S	U	U	75
Thiamin (B-1)	U	S	U	U	S	U	80
Tocopherol (E)	S	S	S	U	U	U	55
Essential amino acids							
Isoleucine	S	S	S	S	S	S	10
Leucine	S	S	S	S	S	S	10
Lysine	S	S	S	S	S	U	40
Methionine	S	S	S	S	S	S	10
Phenylalanine	S	S	S	S	S	S	5
Threonine	S	U	U	S	S	U	20
Tryptophan	S	U	S	S	U	S	15
Valine	S	S	S	S	S	S	10
Essential fatty acids	S	S	U	U	U	S	10
Mineral salts	S	S	S	S	S	S	3

S = Stable(no important destruction)

U = Unstable(significant destruction)

มือและระยะเวลาที่ใช้ศึกษา จึงมุ่งความสนใจในการติดตามมาที่ ไวตามิน ไวตามินพวกที่ไม่ทนความร้อนมีอยู่หลายตัว แต่จะเลือกติดตามเพียงตัวเดียว โดยพิจารณาจากข้อมูลทางไคเนติคส์เกี่ยวกับการเสื่อมสลาย ความยากง่ายในการวิเคราะห์ เครื่องมือ และระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา

2.5.1.2 ข้อมูลทางไคเนติคส์เกี่ยวกับการเสื่อมสลายของไวตามินต่าง ๆ

จากการศึกษาค้นคว้าที่ผ่านมาโดยทั่วไปอนุโลมว่า ปฏิกริยาการเสื่อมสลายของสารอาหารต่าง ๆ เป็นปฏิกริยาลำดับที่หนึ่ง (20,22,24,55)

ปฏิกริยาการเสื่อมสลายของสารอาหาร A เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{-dC_A}{dt} = k[C_A] \qquad (1)$$

หรือ

$$\ln\left(\frac{C}{C_o}\right) = -kt \qquad (2)$$

ในเมื่อ

C_A = ความเข้มข้นของสาร

k = ค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกริยา

C = ความเข้มข้นที่เหลืออยู่หลังจากเวลา ใด ๆ

C_o = ความเข้มข้นเริ่มต้น

อัตราเร็วของปฏิกริยาจะขึ้นกับอุณหภูมิ (3) Arrhenius แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของปฏิกริยา และอุณหภูมิไว้ดังสมการ

$$k = k_o e^{-E/RT} \qquad (3)$$

$$\ln k = \ln k_o - \frac{E}{R}\cdot\frac{1}{T} \qquad (4)$$

ในเมื่อ

k_o = Absolute rate constant(Frequency factor)

E = Activation energy

R = Gas constant

T = Absolute temperature

จากการรวบรวมข้อมูล การถูกทำลายของไวตามินต่าง ๆ สามารถทำนายอัตราเร็วของปฏิกริยาโดยใช้สมการที่ 2 และ Activation energy โดยใช้สมการที่ 4 (15) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2.10 และ 2.11

ตารางที่ 2.10 ค่าคงที่ของปฏิกริยาการเสื่อมสลายของไวตามินต่าง ๆ

ไวตามิน	ค่าคงที่ของปฏิกริยา ที่ 100 °ซ $k \times 10^{-3}$ ชั่วโมง$^{-1}$	ไวตามิน	ค่าคงที่ของปฏิกริยา ที่ 120 °ซ $k \times 10^{-3}$ ชั่วโมง$^{-1}$
ไทอะมิน	150.0	ไทอะมิน	840.0
ไรโบฟลาวิน	150.0	ไวตามิน ซี	470.0
ไวตามิน ซี	112.0	ไวตามิน บี12	340.0
ไวตามิน บี12	68.0	ไรโบฟลาวิน	320.0
ไวตามิน บี6	46.5	กรดแพนโทเทนิค	162.0
แคโรทีน	34.0	แคโรทีน	126.0
โทโคเฟรอล	25.5	ไนอะซิน	90.0
ไนอะซิน	17.4	โทโคเฟอรอล	54.4

จากตารางที่ 2.10 จะเห็นว่าไวตามินแต่ละตัวจะถูกทำลายด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราเร็วจะมากขึ้น ตามสมการที่ 4 ถ้า Activation energy มีค่ามาก การเพิ่มอุณหภูมิก็จะมีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกริยามากขึ้น

ตารางที่ 2.11 Activation energy ของปฏิกริยาการเสื่อมสลายของไวตามินต่าง ๆ

ไวตามิน	Activation energy (kcal/mole)
ไทอะมิน	26
ไนอะซิน	24
ไวตามิน บี12	24
ไวตามินซี	21
แคโรทีน	19
ไวตามิน บี6	18
โทโคเฟอรอล	11
ไรโบฟลาวิน	11

(45) ดังนั้นการเลือกไวตามินตัวหนึ่งขึ้นมาเพื่อใช้ติดตามหาสภาวะการทำให้แห้งที่เหมาะสม จึงควรเลือกตัวที่อัตราเร็วของปฏิกริยาเปลี่ยนแปลงมาก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในทางอาหารจะพิจารณาตัวที่มี Activation energy ตั้งแต่ 20 กิโลแคลอรี่/โมล ขึ้นไป ค่าต่ำกว่านี้ลงมาถือว่า การเพิ่มอุณหภูมิมีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกริยาน้อย เพราะฉะนั้นจากตารางที่ 2.11 จะพิจารณาเพียงไวตามิน 4 ตัวแรกคือ ไทอะมิน, ไนอะซิน, ไวตามิน บี12และไวตามิน ซี จากการศึกษาถึงความยากง่ายในการวิเคราะห์ และความสะดวกรวดเร็ว พบว่าไวตามิน ซี เป็นตัวที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ติดตามผลของสภาวะการทำให้แห้งที่มีต่อคุณค่าทางอาหาร

2.5.1.3 การเสื่อมสลายของไวตามิน ซี

การสูญเสียไวตามิน ซี ระหว่างการเตรียมวัตถุดิบ เช่น ในการหั่นหรือการล้าง การสูญเสียหลังผ่านขบวนการต่าง ๆ ส่วนใหญ่เกิดจากการเสื่อมสลายทางเคมี กลไกการเสื่อมสลายมีได้หลายทาง จะเป็นทางใดนั้น ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ที่

มีในระบบ เช่น อุณหภูมิ แสง pH ออกซิเจน ความชื้น เอนไซม์ โลหะที่เป็นตัวเร่งปฏิกริยา กรดอะมิโน และสารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดส์ หรือ รีดิวซ์(Oxidants หรือ Reductants) (78) การเสื่อมสลายในผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ที่มีไวตามิน ซี อยู่มาก และมีความชื้นสูง จะเป็นปฏิกริยา Non-enzymatic browning แต่ในผลิตภัณฑ์บางอย่าง การเสื่อมสลายอาจเกี่ยวข้องกับปฏิกริยาออกซิเดชั่นของไขมัน (48,78) พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารแห้งซึ่งมีความชื้นอยู่น้อย การเสื่อมสลายจะเกิดผ่านทางขบวนการออกซิเดชั่น ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสลายระหว่างการทำให้แห้ง และการเก็บรักษาคือ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้น ปริมาณออกซิเจน และระยะเวลาในการเก็บรักษา (25,42,78,81) อัตราเร็วของการเสื่อมสลายจะมากขึ้น เมื่อปัจจัยเหล่านี้มีค่ามากขึ้น (48,73,82) ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.12

ในการศึกษาการผลิตอาหารเด็กอ่อนนี้ จะศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและเวลาในการทำให้แห้งที่มีต่อการถูกทำลายของไวตามิน ซี และผลของสภาวะในการเก็บรักษาที่จะมีต่อไวตามิน ซี เช่น อุณหภูมิ ปริมาณความชื้น ปริมาณออกซิเจน และระยะเวลาการเก็บ

การวิเคราะห์ไวตามิน ซี มีหลายวิธี วิธีที่เลือกใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ การหาปริมาณโดยไตเตรท กับ 2,6Dichloroindophenol เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ต้องการเครื่องมือเป็นพิเศษ และสามารถศึกษาได้ง่ายจากเครื่องมือที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ เมื่อเทียบกับวิธีอื่น

2.5.2 <u>การเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อลักษณะของอาหาร</u>

2.5.2.1 <u>ปฏิกริยาการเกิดสารสีน้ำตาล</u>

การเกิดสารสีน้ำตาลในอาหารที่ผ่านความร้อนมาแล้ว หรืออาหารแห้งจะเป็นปฏิกริยา Non-enzymatic browning กลไกที่เกี่ยวข้องกับปฏิกริยามีผู้สรุปไว้เป็น 3 แบบ (6) คือ

ตารางที่ 2.12 ค่า k สำหรับปฏิกริยาการถูกทำลายของไวตามินซีที่สภาวะต่างๆ

Product	Gas	%H_2O gH_2O/100gSolid	A_w	T °C	k $days^{-1}$	
Carrot flakes	Air	5	0.2	20	$1.07x10^{-3}$	
Cabbage	Nitrogen	2.8	0.25	37	$9.30x10^{-4}$	
		4.7	0.40	37	$4.97x10^{-3}$	
Wheat flour	Air	14.6	0.65	45	$1.97x10^{-2}$	
				37	$7.00x10^{-3}$	E_a=22.3Kcal/mole
				26	$2.10x10^{-3}$	
		13.7	0.55	45	$1.86x10^{-3}$	
				37	$1.29x10^{-3}$	E_a=16.0Kcal/mole
				26	$5.70x10^{-4}$	
		12.9	0.25	45	$4.28x10^{-4}$	
				37	$2.86x10^{-4}$	E_a=11.0Kcal/mole
				26	$1.43x10^{-4}$	
Corn soya milk	Air	11.8	0.70	45	$8.74x10^{-2}$	
				37	$2.93x10^{-2}$	E_a=36.5 Kcal/mole
				26	$1.86x10^{-3}$	

ต่อตารางที่ 2.12

Product	Gas	$\%H_2O$ $gH_2O/gSolid$	A_w*	T°C	k $days^{-1}$	
Corn soya milk	Air	10.4	0.5	45	3.20×10^{-2}	
				37	8.29×10^{-3}	E_a=28 Kcal/mole
				26	0.86×10^{-3}	
		8.0	0.3	45	3.00×10^{-3}	
				37	1.28×10^{-3}	E_a=18 Kcal/mole
				26	2.86×10^{-4}	
Orange juice crystals	Nitrogen	18.0	0.54	37	2.30×10^{-2}	
	Air	11.0	0.44		1.65×10^{-2}	
		7.4	0.32		9.90×10^{-3}	
		3.2	0.20		6.83×10^{-3}	
		1.1	0.11		3.30×10^{-3}	
		0.7	0.06		1.76×10^{-3}	

*A_w extrapolated from other references

- Maillard reaction เกิดจากปฏิกริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซิงส์และโปรตีน ปฏิกริยานี้เกิดขึ้นได้แม้จะมีสารอาหารสองตัวนี้เป็นจำนวนเล็กน้อยก็ตาม

- Ascorbic acid degradation กรดแอสคอบิคสลายตัวจนได้สารสีน้ำตาลในขั้นสุดท้าย

- Caramelization เกิดจากน้ำตาลมีการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุล จะเกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนสูงมาก ๆ

ในการเกิดสารสีน้ำตาลทั้ง 3 แบบดังกล่าวแล้วข้างต้น นอกจากสีจะเปลี่ยนแปลงแล้ว ยังทำให้คุณสมบัติอื่น ๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น ปริมาณความชื้น การละลายน้ำ หรือการดูดซึมน้ำ (17,48)

ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อปฏิกริยาได้แก่ ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิ (6,25) อัตราเร็วของปฏิกริยาจะสูงสุดที่ปริมาณความชื้นค่าหนึ่ง ปริมาณความชื้นที่มากหรือน้อยกว่านี้ จะทำให้อัตราเร็วของปฏิกริยาลดลง อย่างไรก็ตามพบว่าในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งซึ่งมีความชื้นต่ำ ๆ ปฏิกริยาการเกิดสารสีน้ำตาลจะไม่เป็นปัญหาใหญ่ เหมือนปฏิกริยาออกซิเดชั่นของไขมัน ส่วนผลของอุณหภูมินั้นพบว่า ปฏิกริยาจะเกิดเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าปริมาณออกซิเจน แทบจะไม่มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกริยา (25)

2.5.2.2 ปฏิกริยาออกซิเดชั่นของไขมัน

ในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง การเกิดกลิ่นเหม็นหืนจะเกิดเนื่องจากปฏิกริยาออกซิเดชั่นของไขมัน (19,48) ถึงแม้ว่าในอาหารจะมีไขมันอยู่เป็นปริมาณน้อยก็ตาม เช่น มันฝรั่ง (ไขมัน 0.001%) แอสปารากัส (ไขมัน 0.15 - 0.3%) และปลา (ไขมันน้อยกว่า 1%) พบว่าก่อให้เกิดปัญหาการมีกลิ่นหืนได้ทั้งนั้น (25,48,71) กรดไขมันที่ถูกทำลายได้เร็วเนื่องจากปฏิกริยานี้คือ กรดลิโนเลอิค และกรดลิโนเลนิค ส่วนกรดโอลีอิคจะถูกทำลายในอัตราที่ช้ากว่า 2 ตัวแรกมาก (34) กรดไขมันเหล่านี้เมื่อถูกออกซิ-ไดส์จะสลายตัวให้สารประกอบโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น กรดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สารประกอบ

คาร์โบนิล (Carbonyl compound) นอกจากกรดไขมันจะถูกทำลายแล้ว ปฏิกริยาออกซิเดชั่นของไขมัน ยังทำให้เกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่นของสารอื่นอีกด้วย เช่น แคโรทีนอยด์ กรดแอสคอบิค และคลอโรฟิลล์

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกริยา เช่น ปริมาณออกซิเจน ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ แสง ไอออนของโลหะ และสารที่เป็นตัวต่อต้านปฏิกริยาออกซิเดชั่น (Antioxidant) (19,71) อัตราเร็วของปฏิกริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสงและไอออนของโลหะ (เหล็ก,ทองแดง) จะเป็นตัวเร่งปฏิกริยา ส่วนผลของปริมาณความชื้นนั้นพบว่า เมื่อความชื้นมากขึ้นอัตราเร็วของปฏิกริยาจะลดลงและลดลงเรื่อย ๆ จนถึงความชื้นค่าหนึ่ง จากนั้นเมื่อความชื้นเพิ่มต่อไป อัตราเร็วจะกลับมากขึ้น (19)

การติดตามปฏิกริยาการเกิดกลิ่นเหม็นหืนทำได้หลายวิธีคือ การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) การหากรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) การหาค่าไอโอดีน (Iodine number) และการหาค่าTBA (Thiobarbituric acid number) (59,61) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ วิธีหาค่า TBA จะเป็นวิธีที่เหมาะสมด้วยเหตุผลหลายอย่าง (69,61,72) คือ

-การวิเคราะห์ไม่ต้องใช้สารละลายสกัดไขมันออกมาก่อนเหมือนวิธีอื่น ทำให้วิเคราะห์ได้รวดเร็ว สามารถติดตามปฏิกริยาออกซิเดชั่นที่เกิดขึ้นในไขมันพวกที่ไม่ถูกสกัดด้วยสารละลายธรรมดา(Non extractable fat) เช่น ฟอสฟอไลปิด(Phospholipids) และไขมันที่รวมอยู่กับโปรตีน ไขมันพวกนี้ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนมากกว่าไขมันพวกที่ถูกสกัดออกได้ด้วยสารละลาย(Extractable fat) เช่น ไตรกลีเซอไรด์(Triglyceride)

-ไม่ทำให้เกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่นของไขมัน อันเนื่องมาจากวิธีการที่ใช้วิเคราะห์เอง

-ค่า TBA จะมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับกลิ่นที่เกิดขึ้น(72)
-ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ง่าย ๆ มี sensitivity สูง

Thiobarbituric acid number (TBA)

จากการศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบคาร์โบนิลที่มีอยู่ในอาหารที่เกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่นของไขมัน สรุปว่าสารประกอบที่เป็นตัวการสำคัญทำให้เกิดกลิ่นหืน คือ มาโลนัลดีไฮด์(Malonaldehyde) (60,72,83) ซึ่งจะแยกออกมาได้โดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำของอาหารที่มีสภาพเป็นกรด (72) มาโลนัลดีไฮด์ที่ถูกกลั่นออกมาสามารถทำปฏิกริยากับ 2-Thiobarbituric â ให้สารละลายสีชมพู ดูดกลืนแสงได้ดีที่ 538นาโนเมตร ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มข้นของมาโลนัลดีไฮด์ ความเข้มข้นของมาโลนัลดีไฮด์ต่อตัวอย่างอาหาร 1 กิโลกรัม จะเป็นค่า TBA ซึ่งแสดงถึงความมากน้อยของปฏิกริยาออกซิเดชั่นที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงใช้ค่าTBA เป็นตัวติดตามปฏิกริยาออกซิเดชั่นของไขมัน

2.5.2.3 การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ

สภาวะในการทำให้แห้งจะมีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณสมบัติในการเก็บ เนื่องจากก่อให้เกิดปฏิกริยาการเสื่อมสลายอื่น ๆ ได้ (1,2) ปริมาณความชื้น จะเปลี่ยนแปลงถ้าเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในภาชนะที่ไอน้ำซึมเข้าออกได้ ความชื้นจะเพิ่มขึ้น ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศที่เก็บผลิตภัณฑ์มีค่าสูง อย่างไรก็ตามถึงแม้จะเก็บผลิตภัณฑ์ในภาชนะที่ปิดสนิท ความชื้นก็อาจเพิ่มขึ้นได้ ถ้าหากสภาวะการเก็บรักษาก่อให้เกิดปฏิกริยาการเกิดสารสีน้ำตาลซึ่งจะได้น้ำเป็นผลผลิตของปฏิกริยา (17)

-ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

ความสามารถในการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์จะขึ้นกับสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำให้แห้ง ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะโครงสร้างของเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยน -

แปลงทางเคมีหรือทางกายภาพที่เกิดขึ้นระหว่างเก็บรักษา ก็จะทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน (4) การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปจากเดิม เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ความหนืด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำ เช่น ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ (8)

2.5.3 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

ตามคำจำกัดความของ IFT (37) อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์จะหมายถึง ช่วงระยะเวลาระหว่างการผลิตไปจนถึงการนำออกขายปลีก โดยที่ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพเป็นที่น่าพอใจ มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่ออายุของผลิตภัณฑ์ เช่น องค์ประกอบของอาหาร, กรรมวิธีการผลิต, วิธีการบรรจุ และสภาวะที่ใช้ระหว่างขนส่งหรือเก็บรักษา ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ (28,37)

อายุของผลิตภัณฑ์แห้งจะแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปจะประมาณ 1 - 2 ปี (51,53,75) การทดลองเพื่อคำนวณหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ทำได้ 2 แบบ คือ (45)

-ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่เร่งให้เกิดปฏิกริยาการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น โดยอาศัยความรู้ที่ว่าอัตราเร็วของปฏิกริยาที่สนใจศึกษาตาม จะขึ้นกับอุณหภูมิ และความชื้นเป็นสำคัญ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในภาชนะปิดสนิทความชื้นจะไม่มีผลต่อปฏิกริยา ดังนั้นจะศึกษาโดยเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องปกติ อย่างน้อย 3 อุณหภูมิขึ้นไป เวลาที่ใช้ศึกษาจะสั้นแค่ 1 - 3 เดือน ทำการตรวจสอบเป็นระยะ 1 - 2 อาทิตย์ต่อครั้ง (53,59) อุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษากรณีนี้อยู่ในช่วง 25 - 80 °ซ (11,30,49) จากผลการเปลี่ยนแปลงซึ่งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงจะนำมาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงซึ่งจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า เพื่อหาอายุการเก็บได้ต่อไป

-ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่เหมือนกับสภาวะเมื่อนำออกจำหน่าย (สภาวะของอุณหภูมิ, ภาชนะบรรจุ, ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ) ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะ 1 - 3 เดือนต่อครั้ง เวลาที่ใช้ศึกษาจะประมาณ

$\frac{1}{2}$ - 2 ปี (59,75) จากผลการเปลี่ยนแปลงจะทราบอายุการเก็บ

Brockman (11) ได้ศึกษาโดยทดลองเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่ 3 อุณหภูมิแล้วหา k ที่อุณหภูมิทั้งสามนี้โดยใช้สมการ $\ln\frac{C}{C_o} = -kt$ เขียนกราฟระหว่าง $\ln\frac{C}{C_o}$ กับเวลา t จะได้ความชันมีค่าเท่ากับ k และจากสมการ $\ln k = \ln k_o - \frac{E}{RT}$ เขียนกราฟระหว่าง lnk กับ1/T จะหาอัตราเร็วของปฏิกริยาที่อุณหภูมิใด ๆ ได้ และเมื่อทราบค่าC/C_oซึ่งยังทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับ จะหาอายุการเก็บที่อุณหภูมินั้นได้โดยใช้สมการ $\ln\frac{C}{C_o} = -kt$ อีกครั้ง

นอกจากอุณหภูมิและเวลาแล้ว ภาชนะบรรจุจะมีผลต่ออายุการเก็บด้วย สำหรับภาชนะที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์แห้ง คุณสมบัติสำคัญที่ต้องการคือ ป้องกันการซึมเข้าออกของไอน้ำและออกซิเจนได้ การบรรจุอาจอยู่ในสภาพสูญญากาศหรือในบรรยากาศของไนโตรเจนเพื่อลดปริมาณออกซิเจน พบว่าภาชนะที่ให้คุณสมบัติตามที่ต้องการ และนิยมใช้ได้แก่ กระป๋องและภาชนะบรรจุที่มีลักษณะยืดหยุ่น(Flexible packaging) ทำจากแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยวัสดุหลายอย่าง

2.5.4 <u>คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับประสาทสัมผัสของผู้บริโภค</u>(Organoleptic properties)

การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ ลักษณะสำคัญที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงมีดังนี้คือ ลักษณะสี ลักษณะกลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัส วิธีการที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงนี้ส่วนมากใช้วิธีการให้คะแนน (4,52) โดยการเลือกผู้ทดสอบประมาณ 5-12 คนแล้วทำการซักซ้อมให้คุ้นเคยกับลักษณะต่าง ๆ ให้ผู้ทดสอบให้คะแนนตามลักษณะที่กำหนดไว้