

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ผักและธัญพืช

1. ฟักทอง

ฟักทอง (*Cucurbita moschata*) เป็นพืชล้มลุกปีเดียว ลำต้นเป็นเถาเลื้อยไปตามพื้นดิน ลำต้นอวบน้ำ ผิวนำเป็นร่องตามยาว มีขน และมีหนวดเป็นเส้นยาวออกตรงกันข้ามกับใบ ใบเป็นใบเดี่ยวขนาดใหญ่รูปร่างค่อนข้างกลมออกสลับกัน มีความกว้าง 7-35 ซม. ยาว 10-35 ซม. ลักษณะขอบใบเว้าตื้นเป็น 5-7 แฉก ผิวนำเมื่อจับจะรู้สึกสากมือเนื่องจากมีขนขึ้นปกคลุม มีดอกตัวเมียและดอกตัวผู้แยกกันบนต้นเดียวกัน ผลมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันตามพันธุ์ เปลือกค่อนข้างแข็งมีสีเขียวอมน้ำเงินหรือสีเขียวมอมส้ม มีทั้งผิวขรุขระและผิวเรียบ ก้านผลสั้นเป็นห้าเหลี่ยม เนื้อในมีสีเหลืองอมส้มและเหลืองอมเขียว เมล็ดมีรูปร่างคล้ายรูปไข่แบน (จานุลักษณ์ และคณะ, 2549)

1.1. ชนิดของฟักทอง

ฟักทองมีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกา เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา เม็กซิโก โบวิเลีย ซิลี และอาร์เจนตินา เป็นต้น โดยพบว่ามีอายุปลูกมาตั้งแต่ 10,000-30,000 ปีที่ผ่านมา จึงถือเป็นพืชที่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างช้านาน (ทศพร, 2531)

ฟักทองแบ่งออกเป็น 5 ชนิด (species) ที่สำคัญ ดังแสดงในตาราง 1 นอกจากนี้ในประเทศไทยออสเตรเลียได้แบ่งฟักทองออกตามขนาดผลเล็กถึงผลกลาง เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) Queensland blue ผลมีขนาดกลาง แบน ผิวเปลือกเป็นสีเทา เนื้อเป็นสีเหลืองส้ม (2) Butternut ผลเป็นทรงระฆัง ผิวเปลือกมีสีเหลืองถึงสีส้ม เนื้อนิ่มเมื่อนำมาประกอบอาหาร มีสีส้มอ่อน (3) Golden nugget ผลกลมเล็ก ผิวเปลือกและเนื้อมีสีส้ม นิยมปลูกให้เลื้อยไปตามดิน และ (4) Japanese ให้ผลขนาดเล็กจนถึงกลาง ผิวเปลือกมีสีเขียว ส่วนเนื้อเป็นสีเหลืองเข้ม ไม่ใช่พืชถิ่นของญี่ปุ่น แต่เป็นพืชที่ถูกนำเข้ามาและปลูกกันต่อๆ มา (จานุลักษณ์ และคณะ, 2549)

ตาราง 1 การจำแนกชนิดของฟักทอง

ชนิด (species)	ชื่อสามัญ (common name)	แหล่งกำเนิด
<i>pepo L.</i>	Winter squash, Ornamental gourd	USA
<i>mixta</i>	Summer squash, pumpkin	Mexico, USA
<i>moschata</i>	Winter squash, pumpkin	USA
<i>maxima</i>	Winter squash	Bolivia, Chile, Argentina
<i>ficifolia</i>	Molavas gourd, Fig loaf gourd	Mexico, USA

ที่มา: ทศพร (2531)

ฟักทองญี่ปุ่น (Japanese pumpkin) เป็นพืชล้มลุกอีกชนิดหนึ่งที่ทางมูลนิธิโครงการหลวงได้นำมาส่งเสริมให้เกษตรกรบนพื้นที่สูงปลูก จากคู่มือการปลูกผักบนพื้นที่สูงของมูลนิธิโครงการหลวง (2546) ระบุว่า พืชนี้มีถิ่นกำเนิดในแถบอเมริกากลาง ภาคเหนือของเม็กซิโก และภาคตะวันตกของอเมริกาเหนือ ผลมีสีเขียว รูปทรงกลมค่อนข้างแบน เนื้อแน่นแข็ง เมื่อยังอ่อนมีสีเหลือง เมื่อแก่จะเป็นสีเหลืองเข้ม มีรสหวานมัน ค่อนข้างเหนียว เนื้อเนียน และรสชาติหวานกว่าฟักทองทั่วไป เปลือกนอกนุ่ม ไม่แข็ง จึงสามารถรับประทานได้ทั้งเปลือก มีอายุเก็บเกี่ยวหลังย้ายปลูกประมาณ 110 วัน

1.2. คุณค่าทางโภชนาการของฟักทอง

เนื้อฟักทองมีสีเหลืองธรรมชาติจากสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ประกอบด้วยเบต้าแคโรทีน (β -carotene) แอลฟาแคโรทีน (α -carotene) และลูทีน (lutein) เป็นต้น (Gonzalez et al., 2001) แต่ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมากที่สุดคือเบต้าแคโรทีน ซึ่งนอกจากจะเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอแล้วยังมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยป้องกันโรคตา โรคผิวหนัง และโรคมะเร็งต่างๆ เช่น มะเร็งในช่องปาก กลัองเสียง ตับ และกระเพาะอาหาร เป็นต้น (Bendich, 1989; สิริพันธ์, 2542) นอกจากนี้เบต้าแคโรทีนยังช่วยให้หัวใจแข็งแรง ระบบหมุนเวียนโลหิตจึงทำงานเป็นปกติ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตันได้ (Bendich, 1989) ตับสามารถเปลี่ยนเบต้าแคโรทีนให้เป็นวิตามินเอได้ตามความต้องการของร่างกาย โดยวิตามินเอมีสมบัติช่วยต้านทานโรคเพราะสามารถกำจัดออกซิเจนที่ทำลายเซลล์ในร่างกาย นอกจากนี้เนื้อฟักทองยังมีแร่ธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งมีความจำเป็นต่อกระดูกและฟัน

อีกด้วย (จากสัญลักษณ์ และคณะ, 2549) องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อฟักทองในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อฟักทองในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
พลังงาน	124 กิโลแคลอรี
ความชื้น	69.10 กรัม
โปรตีน	2.90 กรัม
ไขมัน	1.50 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	24.60 กรัม
ใยอาหารทั้งหมด	1.00 กรัม
เส้นใย	0.90 กรัม
แคลเซียม	7.00 มก.
ฟอสฟอรัส	17.00 มก.
เหล็ก	1.90 มก.
วิตามินเอ	3,266.00 มก.
ไทอะมิน	0.10 มก.
ไรโบฟลาวิน	0.04 มก.
ไนอะซิน	1.00 มก.
วิตามินซี	84.00 มก.

ที่มา: สำนักโภชนาการ (2535)

2. เผือก

เผือก (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) เป็นพืชหัวที่นิยมปลูกและบริโภคในเขตร้อนและกึ่งร้อน มีลำต้นอยู่ใต้ดินเจริญเติบโตกลายเป็นหัวใหญ่ 1 หัว และมีหัวขนาดเล็กล้อมรอบ หัวมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันตามพันธุ์ เนื้อเผือกมีสีต่างกันตั้งแต่สีขาว เหลือง ส้ม จนถึงแดง หรือม่วง ปกติลำต้นสูง 0.4-2 เมตร ใบใหญ่เป็นรูปหัวใจ มีขนาดและสีแตกต่างกัน ใบเกิดจากใต้ดิน มีดอก 2-5 ช่อ อยู่ในก้านใบ ช่อดอกมีก้านยาว 15-30 ซม. (ณรงค์, 2538)

เผือกเป็นพืชเศรษฐกิจระดับท้องถิ่นที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คนไทยนิยมบริโภคเผือก เพราะมีกลิ่นหอมและรสชาติดี ประเทศไทยมีการปลูกเผือกทั่วทุกภาคของประเทศ มีพื้นที่ปลูกเผือกทั้งประเทศปีละประมาณ 25,000-30,000 ไร่ ผลผลิตประมาณ 45,000-65,000 ตัน จังหวัดที่เป็นแหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ นครสวรรค์ พิชณุโลก นครราชสีมา สุรินทร์ สระบุรี พระนครศรีอยุธยา สิงห์บุรี ปราชินบุรี นครนายก นครปฐม ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี สุพรรณบุรี ชุมพร และสุราษฎร์ธานี (มาลินี และคณะ, 2541)

2.1. ชนิดของเผือก

ณรงค์ (2538) ได้แบ่งเผือกออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. เอดโด (Eddoe type)

เป็นเผือกหัวเล็ก มีลูกเผือกหรือลูกชอดิอยู่จำนวนมาก ได้แก่ เผือกชนิด *C. esculenta* var. *antiquorum* และ *C. esculenta* var. *globulifera* เช่น เผือกเหลือง เผือกตาแดง และเผือกไม้หรือเผือกไหหลำ เป็นต้น โดยเผือกกลุ่มนี้ไม่มีกลิ่นหอมและไม่นิยมนำมาบริโภค

2. แดชเชน (Dasheen type)

เป็นเผือกหัวใหญ่ มีลูกเผือกหรือลูกชอดิน้อย ได้แก่เผือกชนิด *C. esculenta* var. *esculenta* เช่น เผือกหอม ซึ่งเป็นเผือกที่นิยมปลูกกันมากที่สุดในประเทศไทย เมื่อคัมให้สุกแล้วจะมีกลิ่นหอม ผู้บริโภคจึงนิยมรับประทาน

2.2. คุณค่าทางโภชนาการของเหือก

หัวเหือกมีคาร์โบไฮเดรตสูง จึงเหมาะต่อการนำมาผลิตแป้ง มีแร่ธาตุหลายชนิด และมีแอนโทไซยานินซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ป้องกันความเสื่อมของเซลล์ และช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคเส้นเลือดอุดตันในสมองได้ (Onwueme, 1978) องค์ประกอบทางเคมีของเหือกจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยตามพันธุ์และสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว อุณหภูมิ และความชื้นขณะการเก็บรักษา (ณรงค์, 2538) องค์ประกอบทางเคมีของหัวเหือกในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 คุณค่าทางโภชนาการของหัวเหือกในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
พลังงาน	117 กิโลแคลอรี
ความชื้น	70.00 กรัม
โปรตีน	2.10 กรัม
ไขมัน	0.10 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	26.80 กรัม
ใยอาหาร	1.00 กรัม
เถ้า	1.00 กรัม
แคลเซียม	84.00 มก.
ฟอสฟอรัส	54.00 มก.
ไทอะมีน	0.15 มก.
ไรโบฟลาวิน	0.04 มก.
ไนอะซิน	1.00 มก.
วิตามินซี	2.00 มก.

ที่มา: สำนักโภชนาการ (2535)

3. ถั่วแดง

ถั่วแดงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Phaseolus vulgaris* (L.) เป็นพืชล้มลุก ใบเลี้ยงคู่ ผสมตัวเอง รากแก้วเจริญได้ดีและสามารถหยั่งลึกลงไปใต้ดินได้มากกว่า 1 เมตร ส่วนรากแขนงที่แตกออกจากด้านข้างโดยรอบของรากแก้วนั้นจะเจริญอยู่เป็นกลุ่มในระดับใต้ผิวดินลึกประมาณ 10-15 ซม. และบริเวณโคนรากแก้วหรือรากแขนงที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันจะมีปม (nodule) เล็กๆ เกิดขึ้น ซึ่งเป็นที่อยู่ของเชื้อแบคทีเรีย *Rhizobium japonica* ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาเปลี่ยนเป็นสารประกอบของไนโตรเจนเพื่อส่งขึ้นไปสะสมตามส่วนต่างๆ ของต้นถั่วแดง โดยปริมาณของปมแบคทีเรียนี้มีมากน้อยแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (สมบัติ, 2526)

โดยปกติแล้วต้นถั่วแดงจะมีลักษณะการเจริญเป็นสองพวก คือ พวกที่มีลักษณะลำต้นเป็นพุ่มกับพวกที่มีลักษณะเป็นลำต้นเลื้อย ในส่วนของใบ ใบที่เจริญออกมาคู่แรก (primary leaves) จะเป็นใบเดี่ยว ต่อจากนั้นจึงจะเกิดเป็นใบจริงขึ้น ซึ่งเป็นใบรวมประกอบด้วยใบเล็กๆ 3 ใบ (trifoliate leaves) เกิดเรียงสลับกันไปในแต่ละกิ่งหรือข้อ ที่ใบแต่ละใบจะมีขนเล็กๆ ก้านใบยาว รูปร่างของใบส่วนมาก ด้านโคนใบจะกลม ส่วนด้านปลายใบแหลม ขนาดของใบกว้างประมาณ 5-10 ซม. และยาวประมาณ 8-15 ซม. ดอกถั่วแดงจะเกิดรวมกันเป็นช่อ จำนวนดอกในแต่ละช่อจะไม่เท่ากัน ช่อดอกจะเกิดบนข้อหรือกิ่งก้านที่เจริญออกไป ดอกมีขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9-12 มม. กลีบดอกมี 5 กลีบ และกลีบเลี้ยงมี 5 กลีบ ดอกมีหลายสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ โดยทั่วไปจะพบเป็นดอกสีขาวและสีชมพู ดอกของถั่วแดงเป็นชนิดดอกสมบูรณ์ คือ เกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน การผสมเกสรเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ฝักของถั่วแดงจะเจริญจากดอกที่ได้รับการผสมแล้ว โดยที่รังไข่จะขยายตัวพัฒนาขึ้นมาเป็นฝัก ฝักจะเจริญต่อไปเรื่อยๆ พร้อมกับเจริญของเมล็ดที่อยู่ภายในซึ่งเกิดจากไข่ที่ผสมแล้ว ฝักที่โตเต็มที่และสมบูรณ์จะมีความยาวประมาณ 8-10 ซม. และกว้าง 12-15 มม. เมื่อเมล็ดแก่ฝักจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและสีน้ำตาลในที่สุด ถั่วต้นหนึ่งๆ อาจมีจำนวนฝัก 5-30 ฝัก ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้น แต่ละฝักมี 3-6 เมล็ด โดยเมล็ดถั่วแดงเมื่อแก่เต็มที่จะมีเปลือกแข็งมากและมีหลายสี เช่น สีแดง แดงเข้ม หรือแดงอมชมพู ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ เมล็ดถั่วแดงมีขนาดโตเมื่อเทียบกับถั่วอื่นๆ รูปร่างของเมล็ดมีลักษณะคล้ายไต (kidney) มีขนาด 8-15 มม. น้ำหนัก 100 เมล็ดมีประมาณ 20-60 กรัม (สุรัตน์, 2548)

3.1. ชนิดของถั่วแดง

ถั่วแดง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามสีของเปลือกหุ้มเมล็ด (สมบัติ, 2526) ได้แก่

1. ชนิดสีแดงเข้ม

มีหลายพันธุ์ เช่น มงคาล์ม (Monicalm) แคลิฟอร์เนีย (California) และโรยัล (Royal) ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากประเทศเคนยา และสหรัฐอเมริกา ขนาดของเมล็ดแต่ละพันธุ์จะเท่ากัน มีสีแตกต่างกันเล็กน้อย แต่พันธุ์โรยัลจะให้ผลดีกว่า มีสีสวย และเป็นที่ต้องการของตลาดมากกว่าพันธุ์อื่นๆ

2. ชนิดสีชมพู

ปัจจุบันมีปลูกเพียงพันธุ์เดียวคือ โมนิตัน (Moniton) ถั่วพันธุ์นี้มีขนาดของเมล็ดโตกว่าชนิดแรกเล็กน้อย ให้ผลผลิตต่อไร่สูง มีความต้านทานต่อโรคแอนแทรกคโนสได้ดี แต่มีข้อเสียคือ สีของเมล็ดไม่เป็นที่ต้องการของตลาดมากนัก

สำหรับถั่วแดงพันธุ์มาตรฐานที่มีการส่งเสริมให้ปลูกในประเทศไทยมี 2 พันธุ์ ได้แก่ (1) พันธุ์หมอกจ้าม ซึ่งจะออกดอกเป็นสีม่วง ลำต้นสูง 49 ซม. และมีน้ำหนักเมล็ดโดยเฉลี่ย 470 มก. และ (2) พันธุ์ MKS#8 ซึ่งจะออกดอกเป็นสีขาว ลำต้นสูง 47 ซม. และมีน้ำหนักเมล็ดโดยเฉลี่ย 470 มก. (ณรงค์, 2538)

3.2. คุณค่าทางโภชนาการของถั่วแดง

ถั่วแดง ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุที่จำเป็นหลายชนิด มีปริมาณไขมันและโซเดียมต่ำ ไม่มีคอเลสเตอรอล (Geil and Anderson, 1994) นอกจากนี้ เปลือกหุ้มเมล็ดยังมีรงควัตถุสีแดงเข้มคือแอนโทไซยานิน ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แต่อย่างไรก็ตาม ถั่วแดงจะประกอบด้วยสารต้านโภชนาการหลายชนิด เช่น แรฟฟิโนส (raffinose) และสตาซิโอส (stachyose) และเวอร์บาสโคส (verbascose) ซึ่งเป็นน้ำตาลกลุ่มโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ แต่แบคทีเรียบางชนิดในลำไส้ใหญ่สามารถนำไปใช้และทำให้เกิดก๊าซในทางเดินอาหารได้ (Ekvall et al., 2007) สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin inhibitor) ที่ทำให้เอนไซม์ทริปซินในลำไส้เล็กมีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนลดลง และไฟเตท (phytate) ที่อาจขัดขวางการดูดซึมเกลือแร่ของร่างกาย เช่น เหล็ก และสังกะสี เป็นต้น แต่จากการศึกษาของ Jangchud and Bunnag (2001) และ Queiroz et al. (2002) พบว่า การแช่ และการคั่วสุก สามารถลดปริมาณสารต้านโภชนาการต่างๆ ในถั่วแดงได้

ตาราง 4 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วแดง 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
พลังงาน	332 กิโลแคลอรี
ความชื้น	12.00 กรัม
โปรตีน	18.20 กรัม
ไขมัน	2.20 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	63.30 กรัม
เส้นใย	23.80 กรัม
เถ้า	4.30 กรัม
แคลเซียม	115.00 มก.
ฟอสฟอรัส	415.00 มก.
โทอะมิน	0.16 มก.
ไรโบฟลาวิน	1.32 มก.
ไนอะซิน	2.70 มก.

ที่มา: สำนักโภชนาการ (2535)

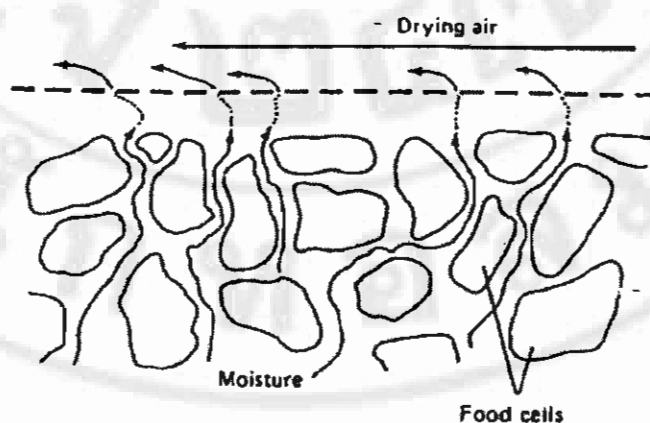
การทำแห้ง

การทำแห้ง (drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของน้ำแข็งในการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารโดยการลดค่ากิจกรรมของน้ำ ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ จึงทำให้อาหารแห้งเก็บไว้ได้นาน นอกจากนี้ยังเป็นการลดน้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์ ทำให้สะดวกในการขนส่งและง่ายต่อการนำไปใช้งานอีกด้วย (วิไล, 2546)

การถนอมอาหารโดยการทำแห้ง เป็นวิธีการที่ง่ายและเก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์ได้เรียนรู้มาจากธรรมชาติ โดยอาศัยการสังเกตจากผลิตผลทางการเกษตรที่ทิ้งไว้กลางแสงแดดนานๆ (จิรภา และคณะ, 2547) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นโดยการทำแห้ง เช่น เมล็ดธัญพืชอบแห้ง ผักอบแห้ง ผลไม้อบแห้ง และเนื้อปลาตากแห้ง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งอาจทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภค และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์

1. กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนผ่านผิวหนังอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหนังของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อน (Fellow, 2000) ดังแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง
ที่มา: Fellow (2000)

2. วิธีการทำแห้ง

จिरกา และคณะ (2547) ได้แบ่งวิธีการทำแห้งออกเป็น 2 วิธี คือ

2.1. การทำแห้งแบบธรรมชาติ

การทำแห้งแบบธรรมชาติที่เรียกว่า การตากแห้ง เป็นวิธีที่อาศัยแสงแดดให้ความร้อนแก่อาหารและอาศัยลมพัดพาไอน้ำออก ทำให้อาหารแห้ง เช่น การทำแห้งเม็ดธัญพืช เนื้อสัตว์ และผลไม้บางชนิด การทำแห้งแบบธรรมชาตินี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศที่มีแสงแดดเพียงพอ เป็นวิธีการที่ประหยัด แต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิ ระยะเวลา และอัตราเร็วในการทำแห้งได้

2.2. การทำแห้งด้วยเครื่องจักรกล

เป็นการใช้ความร้อนจากแหล่งพลังงานอื่นๆ เช่น ไฟฟ้า แก๊ส น้ำมัน หรือฟืนเป็นต้น และมีอุปกรณ์ประกอบ เช่น ตู้อบ หรือตูรมควัน ในอุตสาหกรรมการทำแห้งมีเครื่องจักรกลหลายแบบที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับประเภทของอาหารที่จะทำแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ต้นทุนการผลิต ตลอดจนสภาพของโรงงาน โดยสามารถแบ่งเครื่องทำอาหารแห้งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามวิธีการถ่ายเทความร้อน คือ

2.2.1. เครื่องที่ใช้อากาศเป็นตัวนำความร้อน

2.2.1.1. เครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน (cabinet dryer) มีลักษณะเป็นห้องหรือตู้อบ ภายในมีถาดหรือชั้นสำหรับใส่อาหาร มีพัดลมเป่าอากาศร้อนลงบนอาหาร เป็นเครื่องมือที่มีราคาถูก มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ นิยมใช้อบแห้งผักและผลไม้

2.2.1.2. เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) ประกอบด้วยถ່วยาวประมาณ 30-50 ฟุต ภายในมีล้อเลื่อนหรือสายพานลำเลียงสำหรับใส่ถาดบรรจุอาหาร ขณะที่อาหารเลื่อนไปก็จะมีลมร้อนเป่าลงบนอาหาร เครื่องนี้นิยมใช้กับผักและผลไม้อบแห้ง

2.2.1.3. เครื่องทำแห้งแบบพ่นลมร้อน (spray dryer) เป็นเครื่องที่ทำให้ของเหลวกลายเป็นผง อาหารจะถูกพ่นเป็นฝอยเล็กๆ สัมผัสกับอากาศร้อน โดยอาหารจะกลายเป็นผงทันทีซึ่งจะใช้เวลาที่สั้นมาก ทำให้สี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

3. อิทธิพลของการทำแห้งต่อคุณภาพของอาหาร

ในขั้นตอนการทำแห้งอาหารโดยทั่วไป น้ำในอาหารจะระเหยออกไปมีผลทำให้ความชื้นในอาหารลดลง ด้วยเหตุนี้ความเข้มข้นของสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารแห้งนั้นจึงเพิ่มขึ้น เช่น โปรตีน แป้ง และไขมัน (นิธิยา, 2543) ดังนี้

3.1. อิทธิพลของการทำแห้งต่อโปรตีน

โดยลักษณะธรรมชาติของ โปรตีนแล้ว ถ้าได้รับความร้อนสูงนานๆ จะทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (denature) และสมบัติในการจับกับน้ำไป ดังนั้น คุณค่าทางโภชนาการของ โปรตีนจะเหลืออยู่มกน้อยเพียงใดจึงขึ้นอยู่กับวิธีและสภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง คือการเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแต่ละประเภทอาจช่วยให้คุณค่าทางโภชนาการของ โปรตีนคงอยู่มากขึ้น

3.2. อิทธิพลของการทำแห้งต่อไขมัน

ไขมันที่มีในอาหาร โดยทั่วไปจะทำให้อาหารนั้นเกิดการเหม็นหืน โดยอาหารที่มีไขมันสูงและอุณหภูมิสูงจะทำให้เหม็นหืนได้เร็วขึ้น ดังนั้นในการทำแห้งจะต้องคำนึงถึงการเกิดกลิ่นหืนของอาหารแห้งที่ได้ ถ้าเป็นอาหารที่มีไขมันสูงก็ควรหลีกเลี่ยงวิธีการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง เช่นการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิต่ำภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรือการใช้สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เป็นต้น

3.3. อิทธิพลของการทำแห้งต่อคาร์โบไฮเดรต

อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ เมื่อได้รับความร้อนสูงในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) โดยเฉพาะในผักและผลไม้ จะเกิดการเปลี่ยนสีในขณะที่ทำแห้งจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) และปฏิกิริยาของน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน ทำให้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (caramelization and maillard reaction) ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นในอาหารที่มีความชื้นตั้งแต่ 1-3 % เป็นต้นไป

3. อิทธิพลของการทำแห้งต่อคุณภาพของอาหาร

ในขั้นตอนการทำแห้งอาหารโดยทั่วไป น้ำในอาหารจะระเหยออกไปมีผลทำให้ความชื้นในอาหารลดลง ด้วยเหตุนี้ความเข้มข้นของสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารแห้งนั้นจึงเพิ่มขึ้น เช่น โปรตีน แป้ง และไขมัน (นิธิยา, 2543) ดังนี้

3.1. อิทธิพลของการทำแห้งต่อโปรตีน

โดยลักษณะธรรมชาติของโปรตีนแล้ว ถ้าได้รับความร้อนสูงนานๆ จะทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (denature) และสมบัติในการจับกับน้ำไป ดังนั้น คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนจะเหลืออยู่มายน้อยเพียงใดจึงขึ้นอยู่กับวิธีและสภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง คือการเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแต่ละประเภทอาจช่วยให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนคงอยู่มากขึ้น

3.2. อิทธิพลของการทำแห้งต่อไขมัน

ไขมันที่มีในอาหารโดยทั่วไปจะทำให้อาหารนั้นเกิดการเหม็นหืน โดยอาหารที่มีไขมันสูงและอุณหภูมิสูงจะทำให้เหม็นหืนได้เร็วขึ้น ดังนั้นในการทำแห้งจะต้องคำนึงถึงการเกิดกลิ่นหืนของอาหารแห้งที่ได้ ถ้าเป็นอาหารที่มีไขมันสูงก็ควรหลีกเลี่ยงวิธีการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง เช่นการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิต่ำภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรือการใช้สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เป็นต้น

3.3. อิทธิพลของการทำแห้งต่อคาร์โบไฮเดรต

อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ เมื่อได้รับความร้อนสูงในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) โดยเฉพาะในผักและผลไม้ จะเกิดการเปลี่ยนสีในขณะที่ทำแห้งจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) และปฏิกิริยาของน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน ทำให้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (caramelization and maillard reaction) ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นในอาหารที่มีความชื้นตั้งแต่ 1-3 % เป็นต้นไป

3.4. อิทธิพลของการทำแห้งต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

การถนอมอาหาร โดยวิธีการอบแห้งนั้น จะทำให้อาหารมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง โดยเฉพาะวิตามินที่ละลายในน้ำ เช่น วิตามินบี และวิตามินซี เป็นต้น ซึ่งวิตามินดังกล่าวจะสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) นอกจากนี้ในขั้นตอนของการเตรียมอาหารก่อนการทำแห้ง เช่น การลวก หรือการแช่สารเคมีบางอย่างเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ ก็จะทำให้วิตามินดังกล่าวลดลงด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นหากมีการระมัดระวังในขั้นตอนของการเตรียมอาหารก่อนนำไปทำแห้ง การสูญเสียคุณค่าทางอาหารเหล่านี้ก็จะลดลง

การทำแห้ง เป็นกระบวนการที่สำคัญในการทำผง โดยอุณหภูมิอบแห้งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น จากการศึกษาของ Ahmed et al. (2010) พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะมีผลทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีน และวิตามินซีในแป้งมันฝรั่งลดลง นอกจากนี้การอบแห้งยังส่งผลกระทบต่อสมบัติทางหน้าที่บางประการของผลิตภัณฑ์ เช่น เมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำ คำนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวของแป้งถั่วพุ่มและแป้งเผือกจะมีค่าลดลง (Sefa-Dedeh and Stanly, 1979; Njintang and Mbofung, 2006) เป็นต้น

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้

การเกิดสีน้ำตาลในอาหารจะพบได้บ่อยในกระบวนการผลิตหรือการเก็บรักษาอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้ต่างๆ โดยเฉพาะผักสดที่เกิดการแตกหักหรือชำ และอาหารที่ผ่านการให้ความร้อน เช่น ผักและผลไม้อบแห้ง เป็นต้น การเกิดสีน้ำตาลในอาหารมักจะส่งผลให้รูปลักษณะของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เช่น สี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการ โดยการเกิดสีน้ำตาลในอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 สาเหตุ คือ เกิดจากเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) และเกิดจากสารอื่นที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction)

1. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ อาจเกิดขึ้นได้เมื่อมีการทำให้ชำ หรือการหั่นผักและผลไม้บางชนิด เช่น มะเขือ หัวปลี และแอปเปิล เป็นต้น โดยจะเกิดสีน้ำตาลขึ้นบริเวณรอยหั่น หรือเกิดขึ้นระหว่างการแปรรูป ปฏิกิริยาชนิดนี้เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ในผักและผลไม้ โดยเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาประเภทนี้คือ โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ซึ่งจัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มของออกซิโดรีดักเทส (oxidoreductases) (เกียรติศักดิ์, 2551)

1.1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในผักและผลไม้ คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์และสารประกอบฟีนอลที่เป็นสารตั้งต้น ค่า pH ปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิ เป็นต้น (สินธนา, 2547)

1.1.1. สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds)

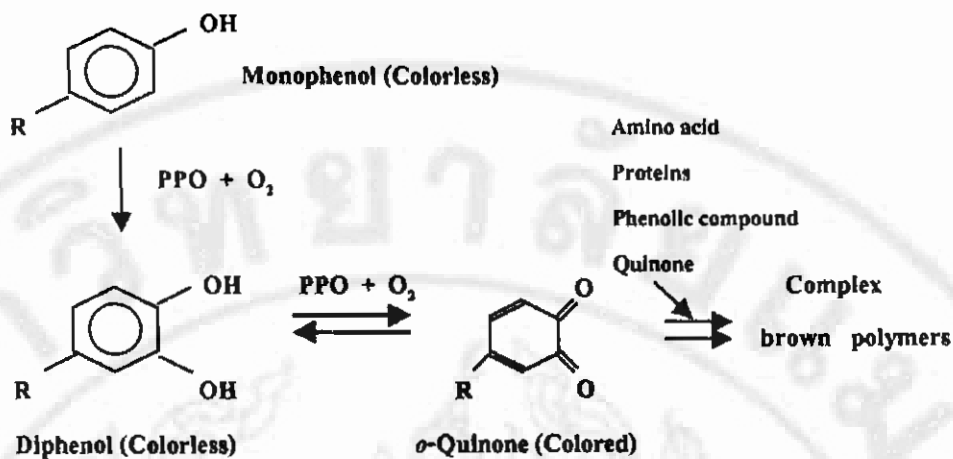
สารประกอบที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญและอาจมีหมู่เคมีอื่นเข้ามาเกาะที่ตำแหน่งต่างๆ สารในกลุ่มนี้ได้แก่ cinnamic acid, caffeic acid, chorogenic acid, catechol, anthocyanin และ tannin เป็นต้น นอกจากนี้ กรดอะมิโนไทโรซีน และฟีนิลอะลานีน ก็จัดเป็นสารประกอบฟีนอลเช่นเดียวกัน (จริงแท้, 2549) สารประกอบฟีนอลจะพบได้บริเวณแวคิวโอล (vacuole) ซึ่งรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ในรูปที่ละลายน้ำ (tannins) หรือรวมกันอย่างสมบูรณ์ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (lignins) (Macheix et al., 1990)

ระดับของการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอล โดยจากการศึกษาของ Heller and Forkmann (1994) และ Radi et al. (1997) พบว่า ปริมาณสาร chorogenic acid ในผล apricot และผลแอปเปิลพันธุ์ต่างๆ จะลดลงอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า chorogenic acid เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว

1.1.2. เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase; PPO)

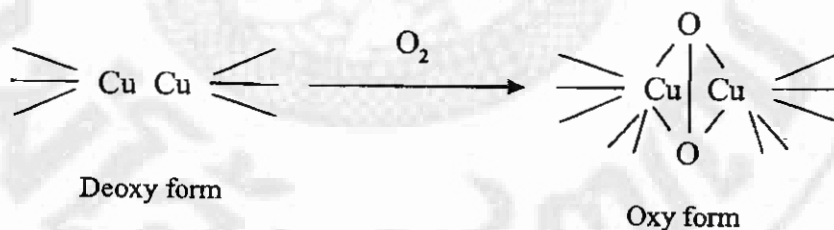
PPO เป็นเอนไซม์ที่เป็น copper metalloprotein (Steffens et al., 1994) มีชื่อตามระบบ คือ dihydroxyphenylalanine: oxygen oxydoreductase (Anderson, 1968; Mayer and Harel, 1979) และมีชื่อสามัญทั่วไปหลายชื่อตามสารตั้งต้นของปฏิกิริยานั้นๆ เช่น cresolase, catecholase, phenolase และ tyrosinase เป็นต้น (Mathew and Parpia, 1971; Mayer and Harel, 1979)

PPO สามารถพบได้ในพืชแทบทุกชนิด มีมากในเห็ด มันฝรั่ง ท้อ แอปเปิล กัลฉวย ใบชา กาแฟ และหัวปลี เป็นต้น ในสภาพปกติ PPO จะถูกเก็บอยู่ในโครงสร้างของไทลาคอยด์ (thylakoid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของคลอโรพลาสต์ แต่เมื่อเนื้อเยื่อของพืชได้รับความเสียหายหรือถูกทำลาย เช่น จากการปอกเปลือก หรือการหั่น จะทำให้เซลล์พืชแตกออก ส่วนของโมโนฟีนอล ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่อยู่ในแวคิวโอลจึงทำปฏิกิริยากับ PPO และก๊าซออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน ได้เป็น ไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งสารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น ออร์โท-ควิโนน (*o*-quinone) และจะทำปฏิกิริยาแบบไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้องกับสารประกอบต่างๆ รวมทั้งสารประกอบฟีนอลและกรดอะมิโน ทำให้เกิดเป็นสารสีต่างๆ (ภาพ 2) ซึ่งจะค่อนไปทางสีดำ กล่าวคือ อาจเป็นสีน้ำตาลดำ สีเทาดำ หรือสีม่วงดำก็ได้ (สินธนา, 2547)



ภาพ 2 การเกิดสีน้ำตาลที่มีสาเหตุจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส
ที่มา: Lee and Whitaker (1995)

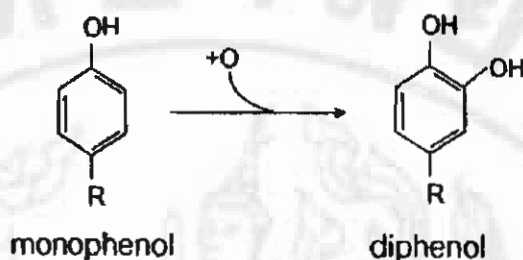
โดยปกติ PPO จะอยู่ในรูป deoxy form ซึ่งจะต้องเปลี่ยนไปอยู่ในรูป oxy form ก่อน จึงจะสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลได้ ดังแสดงในภาพ 3 (Whitaker, 1995) และกลไกในการเกิดปฏิกิริยาของ PPO จะมีอยู่ 2 ปฏิกิริยา คือ



ภาพ 3 การเปลี่ยน deoxy form เป็น oxy form ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส
ที่มา: Whitaker (1995)

1.1.2.1. ปฏิกิริยา hydroxylation เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยน monophenol ไปเป็น *o*-diquinone (cresolase, tyrosinase หรือ monophenol oxidase activity) ปฏิกิริยานี้เริ่มจากการที่ *o*-diquinone ไปจับตัวกับ mettyrosinase โดยมี binuclear copper cluster เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้เกิดเป็น deoxytyrosinase และมีการปลดปล่อยควิโนนออกมาและ deoxytyrosinase จะมารวมตัวกับออกซิเจน เกิดเป็น oxytyrosinase จากนั้น *o*-diquinone อีกโมเลกุลหนึ่งจะเข้ามาทำปฏิกิริยากับเปอร์ออกซิเดส เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำและควิโนน

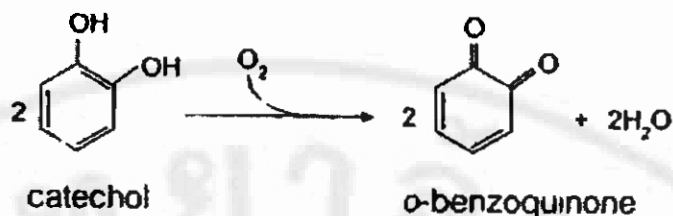
ปฏิกิริยา hydroxylation ของสารประกอบฟีนอล ณ ตำแหน่ง ortho โดยเอนไซม์ cresolase ซึ่งใช้ออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นร่วมได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไดฟีนอล ดังภาพ 4



ภาพ 4 ปฏิกิริยา monophenol oxidase activity ของสารประกอบฟีนอล ที่มา: Marshall et al. (2000)

1.1.2.2. ปฏิกิริยา dehydrogenation เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยน *o*-dihydroxy phenol ไปเป็น *o*-diquinone (catecholase หรือ diphenol oxygen oxydoreductase activity) เริ่มต้นจากการที่ monophenol มาจับกับ copper อะตอมหนึ่งที่อยู่ในโมเลกุลของ oxytyrosinase ทำให้โมเลกุลนี้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่เพื่อให้เกิดเสถียรภาพในโมเลกุลโดยปลดปล่อยโปรตอนออกมาแล้วจับตัวกับ copper อีกอะตอมที่เหลืออยู่จากนั้น binuclear copper cluster จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเกิดเป็น deoxytyrosinase และ *o*-diquinone และเมื่อ deoxytyrosinase รวมตัวกับออกซิเจนจะเกิดเป็น oxytyrosinase อีกครั้ง

ปฏิกิริยา dehydrogenation ของสารประกอบ diphenols จะใช้ออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นด้วยเช่นกัน เพื่อสร้างสาร *o*-quinones โดยเอนไซม์ catecholase (ภาพ 5) ปฏิกิริยานี้เรียกว่า diphenol oxidase activity จากนั้น *o*-quinone จึงเกิดการรวมตัวกับสารในกลุ่มฟีนอลอื่นๆ โดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันได้เป็นสารสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549ก) โดยค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของ PPO จะอยู่ในช่วง 5.0 ถึง 7.5 ซึ่งจะแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด (Taylor and Clydesdale, 1987)



ภาพ 5 ปฏิกริยา diphenol oxidase activity ของสารประกอบฟีนอล

ที่มา: Marshall et al. (2000)

1.2. การยับยั้งปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

การทำงานของ PPO เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ (เกียรติศักดิ์, 2551) เราสามารถยับยั้งปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลประเภทนี้ได้ โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ การกำจัดหรือเปลี่ยนรูปของสารตั้งต้นปฏิกริยา หรืออาจใช้วิธีการซึ่งส่งผลกระทบต่อทั้งสารตั้งต้นของปฏิกริยาและกิจกรรมของเอนไซม์ นอกจากนี้ อาจทำได้โดยการกำจัดออกซิเจนซึ่งเป็นสารตั้งต้นตัวหนึ่งในปฏิกริยา การคัดเลือกพันธุ์ผักและผลไม้ที่มียีนที่ก่อให้เกิดปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลต่ำเมื่อมีการฉีกขาดของเซลล์ หรือการใช้สารเคมีที่มีสมบัติป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น (Iyengar and McEvily, 1992; Martinez and Whitaker, 1995)

การใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลค่อนข้างจะมีประสิทธิภาพสูงและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย แต่ทั้งนี้การเลือกใช้สารเคมีก็ควรคำนึงถึงธรรมชาติและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ กลไกการยับยั้ง ความเป็นกรดด่างและอุณหภูมิของอาหารที่ใช้ รวมทั้งกฎข้อบังคับ กลิ่นรส ความเป็นพิษ และราคาต่อหน่วย (เกียรติศักดิ์, 2551)

1.3. สารยับยั้งปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

มีบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกริยาสีน้ำตาลในผักผลไม้ที่สำคัญ เช่น บทความของ Vamos-Vigyazo (1981), Macheix et al. (1991), Zawistowski et al. (1991), Iyengar and McEvily (1992), Martinez and Whitaker (1995), Walker (1995), Amiot et al. (1997), Artes et al. (1998) และ Yoruk and Marshall (2003) โดยเมื่อแบ่งตามกลไก การป้องกันการเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาล จะสามารถแยกสารยับยั้งการเกิดปฏิกริยาได้เป็น 6 กลุ่ม ดังตาราง 5 (Iyengar and McEvily, 1992)

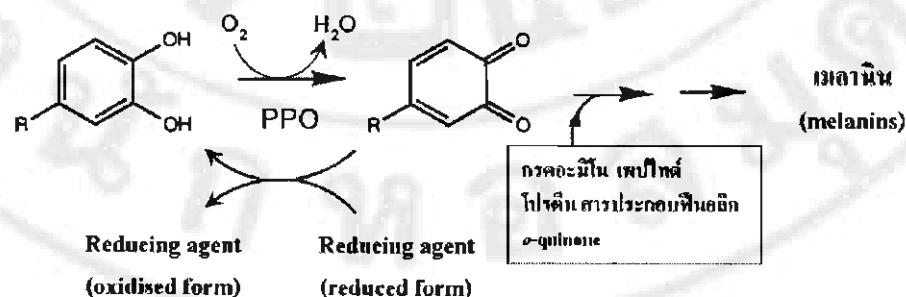
ตาราง 5 การจำแนกสารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

กลุ่ม	ตัวอย่างสาร
1. Reducing agents	Sulphiting agents, ascorbic acid and its derivatives, glutathione, and cysteine
2. Chelating agents	phosphates, EDTA, and organic acids
3. Acidulants	citric acid and phosphoric acid
4. PPO inhibitors	aromatic carboxylic acids, aliphatic alcohols, substituted resorcinols, anions, and peptides
5. Complexing agents	cyclodextrins and chitosans
6. Enzyme treatments	ring-cleaving oxygenases and proteases

ที่มา: Iyengar and McEvily (1992)

1.3.1. Reducing agents

Reducing agent จะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยการรีดิวซ์สาร *o*-quinone ที่เกิดขึ้นให้กลับไปเป็นสารประกอบฟีนอลดั้งเดิม ดังนั้น การยับยั้งปฏิกิริยาโดยใช้สารในกลุ่มนี้จะยับยั้งได้เพียงชั่วคราว เมื่อ reducing agent ถูกใช้หมดไป ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะดำเนินต่อไป (ภาพ 6) ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ สารประกอบซัลไฟต์ กรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ (Iyengar and McEvily, 1992; Vamos-Vigyazo, 1981)



ภาพ 6 การทำงานของ reducing agents

ที่มา: เกียรติศักดิ์ (2551)

เมื่อมีการใช้ reducing agent มักมีช่วงการชะลอการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล หรือที่เรียกว่า lag phase เกิดขึ้น ช่วงระยะเวลาการชะลอจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารที่ใช้ หลังจาก reducing agent หหมดไป ปฏิกิริยาก็จะสามารถดำเนินต่อไปได้ แต่โดยทั่วไปอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะลดลง (Duangmal and Owusu-Apenten, 1999)

1.3.2. Chelating agents

เนื่องจากเอนไซม์ชนิดนี้มีทองแดงที่บริเวณเร่ง ดังนั้น การใช้ chelator จึงช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาได้ เพราะ chelator จะกำจัดทองแดงออกจากโครงสร้างของเอนไซม์ ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดอินทรีย์ และ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) แต่ประสิทธิภาพในการยับยั้งของ EDTA จะค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสารยับยั้งในกลุ่มอื่น (Duangmal and Owusu-Apenten, 1999)

1.3.3. Acidulants

สารในกลุ่มนี้จะช่วยควบคุมค่าความเป็นกรดต่างของอาหาร เมื่อค่า pH ของระบบต่ำกว่า 4.0 เอนไซม์จะทำงานได้ช้ามากหรือไม่ทำงาน ทั้งนี้เนื่องจากค่า optimum pH ของเอนไซม์จะอยู่ในช่วง 5.0-7.0 นอกจากนี้ pH ของระบบยังมีผลต่อการจับตัว (binding) ของทองแดงที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ซึ่งจะง่ายต่อการที่ chelator ที่ใช้ จะกำจัดทองแดงออกจากโครงสร้างบริเวณเร่งของเอนไซม์ (Iyengar and McEvily, 1992; Yoruk and Marshall, 2003) ตัวอย่างของ acidulant ที่ใช้ได้แก่ สารในกลุ่มกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก สารในกลุ่มกรดอนินทรีย์ได้แก่ กรดฟอสฟอริก ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้กรดซิตริกในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลอันเนื่องมาจากเอนไซม์ โดยนิยมใช้ในผักผลไม้พร้อมบริโภครวมทั้งนี้เนื่องจากกรดซิตริกมีประสิทธิภาพทั้งทางด้านกรด pH ให้ต่ำกว่า 4.0 และเป็น chelator ในการจับทองแดงที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ การเลือกใช้ acidulant ตัวอื่นๆ ควรคำนึงถึงข้อจำกัดในเรื่องราคา และรสชาติของอาหารที่อาจจะเปลี่ยนไปด้วย (Vamos-Vigyazo, 1981; Iyengar and McEvily, 1992) ในปัจจุบันนิยมใช้กรดซิตริกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิก เพื่อช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักผลไม้พร้อมบริโภค และมีการผลิตสารผสมชนิดนี้จำหน่ายในเชิงการค้า (Artes et al., 1998)

1.3.4. PPO inhibitors

ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ substituted resorcinols (ได้แก่ 4-hexylresorcinol), aromatic carboxylic acids (เช่น cinnamic acid, *p*-coumaric acid และ ferulic acid), aliphatic alcohols, amino acids, peptides, anions และ kojic acid นอกจากนี้ยังพบว่า aromatic carboxylic acids มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับสารประกอบฟีนอลิกจึงช่วยยับยั้งปฏิกิริยาได้ แต่อย่างไรก็ตาม ในทางการค้าจะมีใช้เฉพาะ 4-hexylresorcinol เช่น ใช้ในผักผลไม้พร้อมบริโภค และกึ่งแกะเปลือก เป็นต้น (Iyengar and McEvily, 1992)

1.3.5. Complexing agents

ตัวอย่างสารกลุ่มนี้ ได้แก่ ไซโคลเดกซ์ทริน (cyclodextrin) ซึ่งมีกลไกการยับยั้งโดยการสร้างสารประกอบเชิงซ้อน (inclusion complex) กับสารประกอบฟีนอลิก จึงช่วยยับยั้งปฏิกิริยาได้ Lopez-Nicolas et al. (2007) ได้ศึกษาผลของการใช้ cyclodextrin (ชนิด α และ β) ต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในน้ำลูกท้อพบว่า เฉพาะ α -cyclodextrin เท่านั้น ที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาได้

1.3.6. Enzyme treatments

มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สาร ring cleaving oxygenases, proteases และ catechol transferases ในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในเชิงการค้า (Iyengar and McEvily, 1992)

2. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์

การที่จะควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลให้เป็นไปตามต้องการได้นั้น จำเป็นต้องเข้าใจถึงกลไกต่างๆ ของปฏิกิริยา ซึ่งกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในอาหารที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์นั้น ที่สำคัญมี 3 กลไกด้วยกัน คือ Maillard reaction, caramelization และ ascorbic acid oxidation

2.1. Maillard reaction

ค้นพบครั้งแรกในปี 1912 โดยนักเคมีชาวฝรั่งเศส ชื่อ Louis Maillard โดยพบว่าเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายผสมระหว่าง glucose และ lysine จะทำให้เกิดการพัฒนาเป็นสารสีน้ำตาล (brown pigment) และสารพวกเมลานอยดิน (melanoidines) ต่อมาจึงมีการเรียกปฏิกิริยาในลักษณะนี้ว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งจะหมายถึงปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับหมู่อะมิโน (amino group) ได้แก่ กรดอะมิโน เปปไทด์ โปรตีน และสารประกอบเอมีน และหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) ได้แก่ น้ำตาล อัลดีไฮด์ และคีโตน (Lee, 1983) กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด แบ่งออกเป็น 3 ช่วง (ดังแสดงในภาพ 7) ประกอบด้วย

2.1.1. Initial stage

Reducing sugar ถูก condensate ที่ตำแหน่ง carbonyl กับ amino group ของโปรตีนทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็น N-substituted glycosylamine ภายใต้สภาวะกรด เกิด isomerization เป็น ketone เรียกกระบวนการ Amadori arrangement ได้ผลผลิตเป็น 1-amino-1-deoxy-2-ketose derivative ซึ่งสารที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ยังเป็นสารไม่มีสี

2.1.2. Intermediate stage

ปฏิกิริยาในช่วงนี้เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนของ amino group จากการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลครึ่งส่วน ประกอบด้วยกระบวนการ dehydration, cyclization, fragmentation หรือ amine condensation สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบหลัก คือ

2.1.2.1. สภาวะกรด การบวนการ dehydration และ cyclization

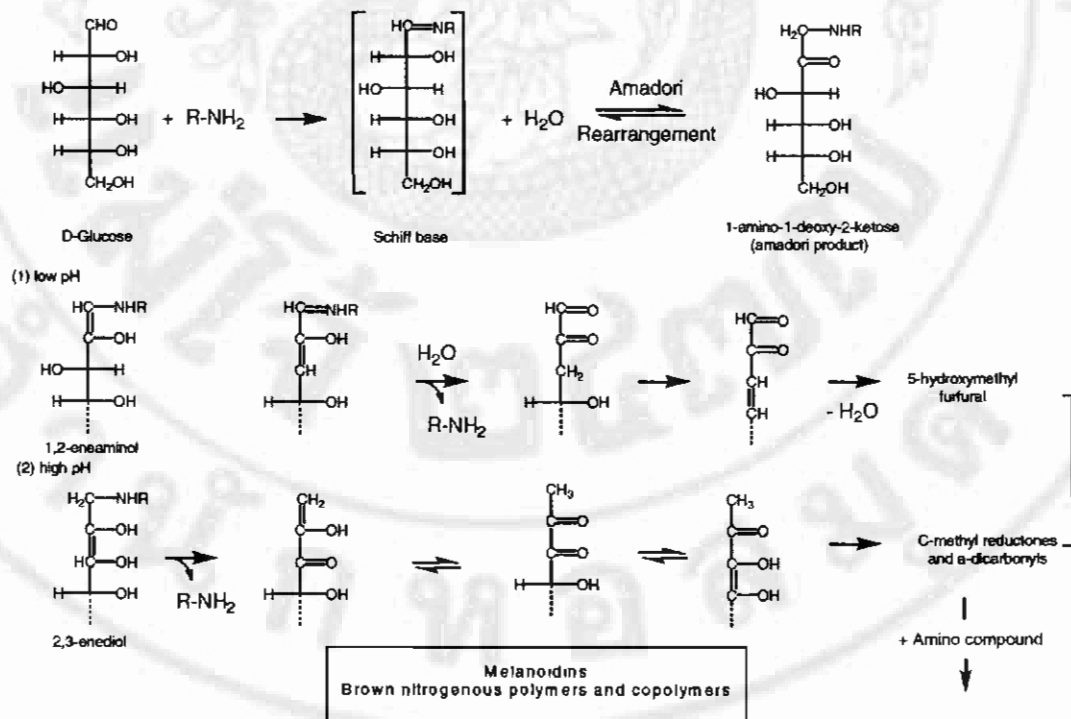
ทำให้ hexose เปลี่ยนเป็น hydroxyfurfural หรือ pentose เป็น furfural ซึ่งยังคงเป็นสารไม่มีสี แต่กระบวนการ oxidation ที่เกิดต่อไป ทำให้เกิด g-unsaturated decarboxyl compounds ได้ผลผลิตเป็นสารสีเหลือง

2.1.2.2. สภาวะต่าง 2-keto glycosyl form เปลี่ยนเป็น 1,2-enol glycosyl form เกิดกระบวนการ dehydration และ oxidation เปลี่ยนเป็น 2,3-enol form ได้ ผลิตภัณฑ์เป็น reductones และ dehydroreductones ซึ่ง dehydroreductones นี้จะไปรวมกับ amino acid ได้ผลิตภัณฑ์เป็น CO₂, aldehydes และ amino-keto derivatives เรียกปฏิกิริยานี้ว่า Strecker dehydration

2.1.2.3. สภาวะอุณหภูมิสูง กระบวนการ fragmentation ทำให้เปลี่ยน Amadori product ได้เป็น carbon aldehyde 3-4 ตัว, alcohols, acids หรือ ketones ซึ่งมีสีและกลิ่นเป็นเอกลักษณ์ของ Maillard browning โดยเฉพาะ

2.1.3. Final stage

ปฏิกิริยาในช่วงนี้เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา polymerization ของผลผลิต ในช่วงที่ 2 และทำปฏิกิริยา copolymerization กับ amino compound สุดท้ายจะได้เป็นผลผลิตที่มีสี เป็น melanoidins หรือ brown nitrogenous polymers



ภาพ 7 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ที่มา: อมรรัตน์ และ ลัดดา (2545)

2.2. Caramelization

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่น้ำตาลที่ระดับสูงกว่าจุดหลอมเหลว (melting point) ในสถานะที่ไม่มีสารประกอบไนโตรเจน ทำให้ monosaccharide เปลี่ยนไปอยู่ในรูป 1,2-enol form และได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นคาราเมล (caramel) ซึ่งมีกลิ่นรสเฉพาะตัว (อมรรัตน์ และ ถัดดา, 2545)

2.3. Ascorbic acid oxidation

กรดแอสคอร์บิก เป็นตัวกลางที่สำคัญของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ที่มีวิตามินซีสูง ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้ดีในสถานะที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4 โดยกรดแอสคอร์บิกจะเกิดการสลายตัว (oxidation) เป็นสารจำพวก furfural, dehydroascorbic acid และ 2,3-diketogluconic acids ซึ่งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกนี้ จะเกิดขึ้นได้ทั้งในสถานะที่มีอากาศ (aerobic) และไม่มีอากาศ (anaerobic) แต่ในสถานะที่มีอากาศจะเกิดการสลายตัวได้ดีกว่า (Eskin et al., 1971)

แป้งสาลีและผลิตภัณฑ์ขนมอบ

1. แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการ โม่ข้าวสาลี คุณภาพของแป้งสาลีที่ได้จะขึ้นกับคุณภาพของข้าวสาลี กรรมวิธีการ โม่ ระยะเวลาของการสกัด และระดับของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยทั่วไปคุณภาพของแป้งสาลีมี 2 ระดับคือ แป้งพาเทนท์ (patent flour) และแป้งสำหรับการทำขนมอบ (baker's flour) ในแง่ของการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบสามารถแบ่งแป้งสาลีออกได้เป็น 5 ประเภท (ดังแสดงในตาราง 6) ได้แก่ แป้งสาลีชนิดแข็ง (strong flour) ซึ่งเป็นส่วนผสมของแป้งจากข้าวสาลีที่เก็บเกี่ยวในฤดูใบไม้ผลิ (spring wheat) เป็นส่วนใหญ่ ใช้สำหรับทำขนมปัง แป้งสาลีที่มีความแข็งปานกลาง (medium flour) เป็นแป้งที่มีส่วนผสมของแป้งจากข้าวสาลีที่เก็บเกี่ยวในฤดูหนาว (winter wheat) ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่อาศัยการขึ้นฟูจากสารเคมี แป้งสาลีชนิดอ่อน (soft flour) เป็นแป้งที่มีส่วนผสมของแป้งจากข้าวสาลีพันธุ์อังกฤษ (English wheat) พันธุ์ฝรั่งเศส (French wheat) พันธุ์เยอรมัน (German wheat) และ/หรือ พันธุ์ออสเตรเลียชนิดอ่อน (weak Australian wheat) ใช้สำหรับทำเค้กปอนด์ นอกจากนี้ยังมีแป้งสาลีที่มีการฟอกสีในระดับสูง (spec. cake flour) และแป้งสาลีที่มีโปรตีนสูง (high protein flour) อีกด้วย (สุทธยา, 2549)

ตาราง 6 การจำแนกประเภทของแป้งสาลีและองค์ประกอบที่สำคัญ

Constituents	Strong	Medium	Soft	Spec. cake	High protein
Starch	68.0	71.0	71.2	75.7	64.7
Sugars	1.9	1.9	2.3	2.3	2.3
Proteins	15.0	12.0	9.2	7.5	19.5
Oil	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5
Mineral matter	0.6	0.5	1.0	1.0	1.0
Water	13.5	13.6	14.8	12.0	11.5

ที่มา: สุทธยา (2549)

แป้งสาลีที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.1. แป้งขนมปัง

มีโปรตีนสูง ประมาณ 12-14.5 % เหมาะสำหรับการทำขนมปังหรือผลิตภัณฑ์ที่หมักด้วยยีสต์ แป้งสาลีชนิดนี้ไม่จากข้าวสาลีชนิดแข็ง ลักษณะของแป้งจะหยาบ มีสีครีม

1.2. แป้งเค้ก

มีโปรตีนต่ำ ประมาณ 7-8 % เหมาะสำหรับการทำเค้ก และคุกกี้ เนื้อแป้งมีความเนียนละเอียดสูง สีขาวกว่าแป้งขนมปัง ทำให้ขึ้นฟูได้ด้วยสารเคมีเท่านั้น ได้แก่ ผงฟู และ โซเดียมไบคาร์บอเนต

1.3. แป้งอเนกประสงค์

มีโปรตีนปานกลาง ประมาณ 9-11 % เหมาะสำหรับการทำคุกกี้ เพสตรี ปาท่องโก๋ และขนมปัง เป็นต้น เป็นแป้งที่ได้จากการนำแป้งสาลีชนิดแข็งกับชนิดอ่อนมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้มีลักษณะร่วมกันระหว่างแป้งขนมปังกับแป้งเค้ก ส่วนประกอบที่ทำให้แป้งชนิดนี้ขึ้นฟู ได้แก่ ยีสต์ และผงฟู

ในประเทศไทยได้มีการนำเข้าเมล็ดข้าวสาลี แล้วนำมาไม่แป้งสาลีชนิดต่างๆ บรรจุถุงภายใต้ชื่อทางการค้าของบริษัท ตัวอย่างของแป้งที่มีวางขายตามท้องตลาดภายใต้เครื่องหมายการค้า UFM หรือ บริษัทยูไนเต็ทฟลาวมิลล์ จำกัด ได้แก่

(1) แป้งตราหงส์ขาวหรือแป้งตราห่าน เป็นแป้งที่ใช้สำหรับทำขนมปังทุกชนิด เช่น ขนมปังแซนด์วิช ขนมปังแถว ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังหวาน เคนนิชเพสตรี พัพเพสตรี โคนัท ยีสต์ ขนมปังไข่และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ต้องทำจากแป้งสาลี แป้งสาลีชนิดนี้ไม่จากข้าวสาลีชนิดแข็งที่มีคุณภาพดีที่สุดจากประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูงมาก มีความเหนียวเป็นพิเศษ มีการดูดซึมน้ำสูง และมีความคงทนต่อการหมักสูง

(2) แป้งตราว่าว เป็นแป้งอเนกประสงค์ที่ไม่มาจากข้าวสาลีชนิดต่างๆ มีความเหนียวและการดูดซึมน้ำปานกลาง เหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์พวกบิสกิต คุกกี้ แครกเกอร์ เพสตรี พาย โคนัทเค้ก เค้กผลไม้ วาฟเฟิล แพนเค้ก ทาร์ต ขนมไข่ ขนมเปียะ ปาท่องโก๋ ขนมปังไข่ ฯลฯ

(3) แป้งตราดอกบัวแดง หรือแป้งตราบัวแดง เป็นแป้งที่ไม่จากข้าวสาลีที่มีคุณภาพสูงด้วยกรรมวิธีพิเศษ เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำและมีความเหนียวน้อย มักใช้แป้งชนิดนี้ในการทำซาลาเปา สปันจ์เค้ก บิสกิต คุกกี้ ฟูฝ้าย ขนมไข่ เค้กเนย แยมโรล ฯลฯ

(4) แป้งตราพัดโบก เป็นแป้งที่ใช้สำหรับทำเค้กที่มีคุณภาพดีโดยเฉพาะใน ส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น เค้กเนย หรือในเค้กที่ใช้ไข่ในปริมาณมาก เช่น ชิฟฟอนเค้ก สปันจ์เค้ก ฯลฯ เป็นแป้งเค้กชนิดพิเศษที่ไม่จากข้าวสาลีที่มีคุณภาพสูงด้วยกรรมวิธีพิเศษ เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำและมีความเหนียวน้อย

แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ทำขนมอบทุกชนิด ไม่มีแป้งชนิดอื่นที่นำมาใช้แทนกันได้ ถึงแทนกันได้บ้างแต่สมบัติจะไม่เหมือนแป้งสาลี ทั้งนี้เพราะแป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม คือ กลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดีน (gliadin) โปรตีนในแป้งสาลีจะดูดซึมน้ำได้อย่างน้อยประมาณ 2 เท่า ของน้ำหนักตัวมันเอง โดยแป้งสาลีที่มีโปรตีนสูงจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่าแป้งสาลีที่มีโปรตีนต่ำ เมื่อเติมน้ำลงไป แป้งสาลีแล้วนวด โปรตีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกลูเตน (gluten) ซึ่งมีลักษณะเป็นยางเหนียว ยืดหยุ่นได้ แป้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกเรียกว่า โด (dough) ถ้าหมักโดไว้ระยะหนึ่งแล้วนำมาล้างน้ำ จะพบว่า ส่วนประกอบต่างๆ จะหลุดออกไป เหลือเพียงส่วนของกลูเตนเท่านั้น โดยกลูเตนนี้จะเป็นตัวเก็บก๊าซเอาไว้ทำให้เกิดโครงสร้างที่จำเป็นของขนมอบ และจะเป็นโครงสร้างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากการอบ (ภัทรภณ, 2552)

2. ขนมปัง

สูตรพื้นฐานของขนมปัง โดยทั่วไปประกอบด้วยแป้งสาลี ยีสต์ เกลือ น้ำ และยังมี ส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล และสารลดแรงตึงผิว เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมแต่ละชนิดจะมีหน้าที่แตกต่างกัน คือ แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลักที่มีสมบัติเฉพาะตัวในการให้โดที่เหนียวและยืดหยุ่นเมื่อเติมน้ำ ทำให้กักเก็บก๊าซได้ และทำให้ขนมปังเนื้อนุ่มมีโครงสร้างดี โดยก่อนโดจะเกิดจากการรวมตัวกันของโปรตีน 2 ชนิด คือ กลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดีน (gliadin) ได้เป็นสารประกอบโปรตีนที่มีความเหนียวยืดหยุ่นได้ เรียกว่า กลูเตน (gluten) ยีสต์จะมีหน้าที่หลักในการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และเอทานอล โดยก๊าซที่ผลิตขึ้นจะทำให้ได้ขนมปังขึ้นฟู เกลือจะมีหน้าที่หลักในการเพิ่มรสชาติ ทำให้โดแข็งแรง ไขมันจะไปเพิ่มปริมาตรและทำให้ขนมปังนุ่ม รวมถึงช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา น้ำตาลเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตสำหรับยีสต์

และให้รสชาติ สารออกซิแดนซ์ เช่น กรดแอสคอร์บิก และ โปแทสเซียมโบรเมต จะทำให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสและปริมาตรที่ดี ส่วนสารลดแรงตึงผิวจะช่วยให้โดมีความแข็งแรงและป้องกันการเสื่อมสภาพของขนมปัง (สุชาดา, 2546) และสำหรับการอบ ซึ่งเป็นขั้นตอนการทำให้ผลิตภัณฑ์สุกและพร้อมบริโภค ในขั้นตอนการอบจะมีการเปลี่ยนแปลงก่อนโดดังนี้คือ เมื่อก่อนโดได้รับความร้อนปริมาตรของก้อนโดจะเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นนี้เรียกว่า “oven spring” เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 130 °ซ เม็ดแป้งจะเริ่มพองตัวและดูดซับความชื้นจากส่วนผสมอื่นๆ จากนั้นเม็ดแป้งจะเกิดการเจลาติไนเซชันซึ่งส่งผลให้มีการดึงความชื้นจาก กลูเตนมากขึ้น กลูเตนจะแห้งและเกิดการตกตะกอน (อุณหภูมิประมาณ 165 °ซ) เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นจนถึงจุดกระบวนการอบ ผิวนอกของขนมปังจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาของแป้งและน้ำตาลที่เปลี่ยนเป็นเดกซ์ทริน และเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) สำหรับเวลาที่ใช้ในการอบจะขึ้นกับขนาดของก้อนโด ส่วนผสม สีของผิวขนมปังที่ต้องการ และสภาพอากาศในขณะนั้น

3. เค้กเนย

เค้กเนย เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีส่วนผสมของแป้งสาลี เนย น้ำตาล เกลือ ไข่ นม กลีเซอรอล และสารที่ทำให้เกิดการขึ้นฟู เช่น ผงฟู หรือ โซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นต้น โดยความสมดุลย์ของส่วนผสมที่ใช้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (สุชาดา, 2549) วิธีการผลิตเค้กเนย ประกอบด้วย การผสม ตักใส่พิมพ์ และนำเข้าอบ ซึ่งการผสมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน มีการกักเก็บอากาศไว้ภายในส่วนผสมมากที่สุด และทำให้เนื้อแป้งกลายเป็นกลูเตนน้อยที่สุด (Bennion and Bamford, 1973) เค้กเนย เป็นเค้กที่มีปริมาณไขมันสูง การขึ้นฟูของเค้กเกิดจากการตีเนยให้ขึ้นฟู ซึ่งฟองอากาศจะกระจายใน liquid fat ที่อยู่รอบๆ ผลึกไขมัน ไขมันจะเก็บอากาศไว้ได้ดีเมื่อผลึกอยู่ใน β' form ฟองอากาศจะมีลักษณะเล็ก ง่ายในการตีให้ขึ้น และมีปริมาณมาก ทำให้ไขมันมีลักษณะเป็นครีมเนียน (Stauffer, 1998)

การใช้แป้งชนิดอื่นทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทำคือแป้งสาลี แต่จากข้อมูลของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (2548) พบว่าปริมาณข้าวสาลีที่ประเทศไทยปลูกได้ยังถือว่าน้อยมากและไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ ทำให้ประเทศไทยยังคงต้องมีการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศอยู่ ซึ่งในปี 2553 และ 2554 ประเทศไทยมีการนำเข้าแป้งสาลีและเมล็ดข้าวสาลี คิดเป็นมูลค่ากว่า 12,367.86 และ 18,704.38 ล้านบาท ตามลำดับ (สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2555) โดยเมล็ดข้าวสาลีและแป้งสาลีที่นำเข้าราว 2 ใน 3 จะถูกแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภค ส่วนที่เหลือราว 1 ใน 3 จะถูกนำไปใช้ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ ซึ่งสัดส่วนของการนำเข้าแป้งสาลีมาบริโภคจะแยกออกได้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบ 35 % บะหมี่สำเร็จรูป 30 % บิสกิต 10 % และการนำไปใช้ในลักษณะอื่นประสงค์อีก 25 % (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2548)

ในปีค.ศ.1964 FAO (Food and Agriculture Organization United Nation) ได้ริเริ่มโครงการ Composite flour ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีการนำเข้าชนิดต่างๆ ที่สามารถผลิตได้ในแต่ละประเทศมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ทั้งนี้ก็เพื่อช่วยลดการใช้และการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศ อีกทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสร้างความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำแป้งชนิดอื่นมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

Lorenz and Coulter (1991) ศึกษาการใช้แป้งข้าวคินัว (quinoa) ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5, 10, 20 และ 30 % ในการทำคุกกี้ พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนจะทำให้คุกกี้มีค่าความสว่าง การแผ่ขยายตัว และการยอมรับด้านลักษณะปรากฏลดลง โดยระดับการทดแทนสูงสุดที่ผู้บริโภครยังคงให้การยอมรับ คือ 20 % เนื่องจากการใช้แป้งข้าวคินัวทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 30 % จะทำให้คุกกี้มีรสขมคั่งค้างหลังกลืน อริสรา และ ออรูมา (2550) ศึกษาการใช้แป้งข้าวหอมนิลที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 180 ไมโครเมตร ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในการทำคุกกี้ ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งข้าวหอมนิลพบว่า มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต 8.18, 3.76, 10.27, 7.25, 1.18 และ 69.17 % ตามลำดับ เมื่อนำไปใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 % ในการทำคุกกี้ พบว่าสามารถใช้ทดแทนได้มากที่สุดถึง 50 % โดยคุกกี้ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิลจะมีปริมาณ โปรตีนและไขมันสูงกว่า มีสีเข้มกว่า แต่มีค่าความแข็งต่ำกว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลีล้วน รุจิรา และคณะ (2543) ได้ทดลองใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในการทำเค้กและคุกกี้ พบว่าเมื่อใช้แป้งข้าวผสมกับแป้งสาลี จะทำให้เค้กเหนียว

คะแนนการยอมรับทางประสาทลดลงตามปริมาณของแป้งข้าวที่เพิ่มขึ้น โดยการผสมแป้งข้าวลงในแป้งสาลี 20 % เค้กเนยจะยังคงได้รับการยอมรับใกล้เคียงกับเค้กเนยที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และเมื่อเพิ่มความละเอียดของตะแกรงร่อนแป้งจาก 140 เมช เป็น 200 เมช พบว่าจะทำให้เค้กเนยมีคุณภาพดีขึ้น และการเติม SP 7 % จะช่วยให้เค้กที่ทำจากแป้งข้าว ได้รับการยอมรับใกล้เคียงกับเค้กเนยที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ส่วนการทดลองทำคุกกี้จากแป้งข้าว โดยใช้สูตรการค้า พบว่าสามารถนำแป้งข้าวมาผลิตเป็นคุกกี้ได้ แต่จะได้รับการยอมรับต่ำกว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลีล้วน โดยคุกกี้แป้งข้าวจะมีเนื้อหยาบกว่าคุกกี้แป้งสาลีเล็กน้อย เมื่อวางทิ้งไว้ในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 77-84 % เป็นเวลา 6 ชั่วโมง คุกกี้แป้งข้าวจะอ่อนตัวเร็วกว่าคุกกี้แป้งสาลี ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพคุกกี้แป้งข้าวจึงควรไม่แป้งให้ละเอียด และการเติมแป้งข้าวพรีเจลจะช่วยชะลอการอ่อนตัวของคุกกี้ให้ช้าลงได้ ภัทรภณ (2552) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวสาลี และพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังโดยใช้แป้งข้าวสาลีทดแทนแป้งสาลีบางส่วน พบว่าแป้งข้าวสาลีมีปริมาณไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่า แต่มีปริมาณโปรตีน และแอมิโลสต่ำกว่าแป้งสาลี และยังพบอีกด้วยว่า แป้งข้าวสาลีมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าแป้งสาลีถึง 2.6 เท่า ส่วนผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพพบว่า แป้งข้าวสาลีมีค่าการละลายน้ำต่ำกว่า แต่มีค่ากำลังการพองตัวไม่แตกต่างจากแป้งสาลี และเมื่อนำแป้งข้าวสาลีไปใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0-50 % ในการทำขนมปัง พบว่าระดับการทดแทนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ขนมปังมีความความแข็ง มีความแข็งของกลั่นรสหมัก และกลั่นรสชูฟิซเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณจำเพาะ และคะแนนการยอมรับในด้านต่างๆ ลดลง โดยระดับการทดแทนสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคส่วนใหญ่คือ 30 %

ถั่วและธัญพืช เป็นพืชที่มีปริมาณ โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูง ดังนั้นจึงได้มีการนำมาผลิตเป็นแป้งเพื่อใช้ทดแทนแป้งสาลีด้วยเช่นกัน โดยภรณ์ (2540) ได้ทดลองนำแป้งถั่วเขียวผสมแป้งสาลีมาใช้ในการทำขนมอบ พบว่าแป้งผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับแป้งสาลีมีความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ความคงตัวของอิมัลชัน ความสามารถในการเกิดฟอง และความคงทนของฟองสูงกว่า แต่มีความสามารถในการเกิดเจล ค่าความหนืดสูงสุด ค่า setback และค่า consistency ต่ำกว่าแป้งสาลี เมื่อนำมาทำเป็นคุกกี้ พบว่าค่า spread factor และความแข็งของเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างกัน แต่จะมีค่า a^* ลดลง โดยคุกกี้ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วเขียวที่ระดับ 10 % จะได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคไม่แตกต่างจากคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลีล้วน โดยองค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้จะมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต 1.63, 5.63, 18.74, 1.76, 0.1 และ 72.14 % ตามลำดับ McWatters et al. (2003) ได้ศึกษาผลของการใช้แป้ง fonio และแป้งถั่วพุ่ม (cowpea) ทดแทนแป้งสาลีต่อลักษณะทางกายภาพและประสาทสัมผัสของคุกกี้ พบว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลีล้วนมีการแผ่ขยายตัว

สูงสุด ขณะที่ลูกกึ่งที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วพุ่ม 25 % จะมีการแผ่ขยายตัวต่ำสุด และลูกกึ่งที่มีส่วนผสมของแป้งถั่วพุ่มจะมีความแข็งแรงมากกว่าลูกกึ่งที่มีส่วนผสมของแป้ง fonio เมื่อทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้ง fonio และแป้งถั่วพุ่ม ไม่มีผลต่อการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัส แต่มีผลต่อการยอมรับด้านกลิ่นรส และความชอบโดยรวม โดยลูกกึ่งที่มีการใช้แป้ง fonio ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 50 % มีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างจากลูกกึ่งที่ทำจากแป้งสาลีล้วน นอกจากนี้ สมชาย และคณะ (2541) ยังได้ทดลองใช้แป้งถั่วเขียวผิวมัน แป้งถั่วเขียวผิวดำ และแป้งถั่วมะแฮะทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 10, 20, 25 และ 30 % ในการทำลูกกึ่ง พบว่าลูกกึ่งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวผิวมัน 20 % แป้งถั่วเขียวผิวดำ 10 % และแป้งถั่วมะแฮะ 10 % มีคะแนนการยอมรับในด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสสูงสุด เมื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่ามีปริมาณโปรตีน 8.49, 7.45 และ 7.56 % ตามลำดับ และมีปริมาณไขมัน 26.82, 32.84 และ 28.47 % ตามลำดับ

ผักและผลไม้ เป็นวัตถุดิบที่อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ โยอาหาร และสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด ดังนั้นจึงได้มีการนำมาผลิตเป็นแป้งเพื่อใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น จีรภา และคณะ (2547) ได้ศึกษาการนำฟักทองผงที่ผลิตจากฟักทองพันธุ์คางคก ไปใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 % ในการทำขนมปังแซนด์วิช ขนมปังหวาน เค้กเนย ชิฟฟอนเค้ก ลูกกึ่ง และวอฟเฟิลล์ พบว่าสามารถใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีได้มากที่สุดที่ระดับ 20 % ในการทำเค้กเนย และ 10 % ในการทำขนมปังหวาน ชิฟฟอนเค้ก ลูกกึ่ง และวอฟเฟิลล์ สุชาติ (2546) ได้ศึกษาการนำแป้งกล้วยน้ำว้ามาใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมปังเค้ก และลูกกึ่ง พบว่าสามารถใช้แป้งกล้วยทดแทนแป้งสาลีในขนมปังได้ 15-20 % ส่วนเค้กและลูกกึ่งสามารถทดแทนได้ 70-90 % โดยขนมปังที่ได้จะมีสีเนื้อในคล้ำขึ้น มีปริมาณคราฟและไขมันนุ่มลดลง เค้กที่ได้จะมีปริมาณคราฟและไขมันนุ่มลดลง และลูกกึ่งที่ได้จะมีปริมาณคราฟ ความกรอบ และการแผ่ขยายตัวลดลง แต่มีความหนาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาของศศิธร และอุไรวรรณ (2545) ที่ได้นำแป้งพรีเจลาติไนซ์เมล็ดขนุนมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำลูกกึ่งเนย โดยนำเมล็ดขนุนไปคั่วที่อุณหภูมิ 100 °ซ 45 นาที ทำให้เย็นทันที ปอกเปลือกและหั่นบางๆ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ 5 ชั่วโมง บดเป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่ามีปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน เถ้า โยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต 11.03, 9.29, 0.26, 2.89, 3.56 และ 72.96 % ตามลำดับ เมื่อนำไปใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0, 30, 50, 70 และ 100 % ในการทำลูกกึ่งเนย พบว่าที่ระดับการทดแทน 50 % จะได้รับการยอมรับมากที่สุด และการศึกษาของศศิวิมล (2552) ที่ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งสาकुเปรียบเทียบกับแป้งสาลีอเนกประสงค์ พบว่า แป้งสาकुมีองค์ประกอบทางเคมี ความสามารถในการพองตัว และ

สมบัติด้านความหนืด (pasting properties) แตกต่างจากแป้งสาลีเนกประสงค์ โดยแป้งสาครมี ปริมาณโปรตีนต่ำกว่า แต่มีความสามารถในการพองตัวสูงกว่า เมื่อนำแป้งสาครไปใช้ทดแทนแป้ง สาลีที่ระดับ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 % ในการทำคุกกี้ก็ค้นพบพบว่า เมื่อระดับการทดแทน เพิ่มขึ้น คุกกี้จะมีระดับการแผ่ขยายตัว ความโปร่งของเนื้อ และความเปราะเพิ่มขึ้น แต่จะมีความ หนาแน่น และความแข็งลดลง จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า เมื่อระดับการทดแทน เพิ่มขึ้น คะแนนการยอมรับในด้านต่างๆ จะมีค่าลดลง โดยระดับการทดแทนสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์ยังคง เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคส่วนใหญ่คือ 40 %