

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มันเทศ

มันเทศ (Sweet potato) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea batatas* ตระกูล Convolvulaceae และเป็นพืชที่เจริญเติบโตและให้ผลผลิตของหัวค่อนข้างสูงในสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทย (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) มันเทศสามารถปรับเข้ากับสภาพแวดล้อมได้อย่างกว้างขวาง เป็นพืชที่มีความทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดีมาก แต่ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมก็มีผลกระทบต่อผลผลิตของมันเทศเช่นกัน ซึ่งแหล่งปลูกมันเทศในประเทศไทยอยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคอื่น ๆ ทั่วทุกภาคโดยพบว่าจังหวัดปลูกมันเทศมาก ได้แก่ พระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม อุบลราชธานี สุโขทัย เชียงใหม่ นครศรีธรรมราช พัทลุง เป็นต้น (สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์, 2530) มันเทศมีลำต้นเป็นเถาหรือเป็นพุ่มตั้งตรง ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของราก โดยมีเนื้อเยื่อภายในรากที่เรียกว่า “Parenchyma” เป็นส่วนที่สะสมแป้งรากที่ขยายตัวเป็นหัวขึ้นมา อาจเกิดจากรากของลำต้นที่ชำปลูก หรือรากที่เกิดจากข้อของลำต้นที่เลื้อยไปตามดินก็ได้ ลักษณะหัวส่วนมากมีรูปร่างทรงกระบอกด้านหัวท้ายเรียวตรงกลางป่องออก มันเทศแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกันไปตามสีผิวของหัวและเนื้อ โดยมีผิวเรียบหรือขรุขระมีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 90 – 150 วัน โดยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสภาพแวดล้อม โดยให้ผลผลิตต่อหน่วยค่อนข้างสูง คือ 2.3 ตันต่อไร่ หรือ 2,586 – 7,019 บาทต่อไร่ ขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์ (โครงการวิจัยระบบการทำฟาร์ม, 2531) พันธุ์มันเทศที่นิยมมีมากมายหลายพันธุ์ และโดยทั่วไปแล้วพันธุ์ที่เป็นที่ต้องการของตลาดจะเป็นพันธุ์ที่มีเนื้อสีม่วง เหลือง เหลืองส้ม และขาว

สายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย เช่น พันธุ์แม่โจ้ พันธุ์ พม.02 พันธุ์ นส.25 พันธุ์โนนนาคร พันธุ์ห้วยสีทัน 1 พันธุ์หัวโตแดง พันธุ์โออุด พันธุ์หัวโตขาว พันธุ์โนริน 03 พันธุ์นิโกร พันธุ์ร้อยเอ็ด 04 พันธุ์ปากช่อง พันธุ์พิจิตร 1 พันธุ์อีดก และพันธุ์อีกา เป็นต้น (วิภากรณ์ วรรณชนาเลิศ, 2546)

การจำแนกพันธุ์มันเทศ ตามลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ (วิภากรณ์ วรรณชนาเลิศ, 2546)

1. จำแนกตามอายุการเก็บเกี่ยวได้แก่ พันธุ์เบา เมื่ออายุเก็บเกี่ยว 90 วัน พันธุ์กลางมีอายุเก็บเกี่ยว 120 วัน และพันธุ์หนักมีอายุเก็บเกี่ยว 150 วัน
2. จำแนกตามสีเนื้อ ได้แก่ เนื้อสีเหลือง เนื้อสีเหลืองส้ม เนื้อสีส้มหรือแดง เนื้อสีขาว เนื้อสีขาวเหลือง เนื้อสีขาวม่วง เนื้อสีม่วง และเนื้อสีม่วงเหลือง

3. จำแนกตามสีผิว ได้แก่ ผิวสีน้ำตาล ผิวสีแดง ผิวสีแดงม่วง ผิวสีขาว และผิวสีส้ม

4. จำแนกตามวิธีการบริโภค ได้แก่ บริโภคสด อุตสาหกรรมแป้ง อุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร และอาหารสัตว์

องค์ประกอบทางเคมีของมันเทศ (Salunkhe & Kadam, 1998) จากการวิเคราะห์ พบว่ามีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. แป้ง (Starch) หัวของมันเทศมีแป้งประมาณร้อยละ 15 – 28 เมื่อได้รับความร้อนจากการทำอาหาร แป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลมอลโทส (Maltose)
2. น้ำตาล (Sugars) ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโตส (Fructose) กาแลคโตส (Galactose) กลูโคส (Glucose) ซูโครส (Sucrose) มอลโทส (Maltose) และอินซิทอล (Inositol) หลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บในโรงเก็บแป้ง หัวมันเทศจะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลซูโครส
3. เอนไซม์ (Enzymes) มี α -Amylase และ β -Amylase มีความคงทนต่อความร้อนและมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้ในโรงเก็บ
4. กรดอินทรีย์ (Organic acid) เป็นกลุ่มสารที่ไม่ระเหย มีผลต่อรสชาติของมันเทศเพียงเล็กน้อย เช่น กรดซัคซินิก (Succinic) มาลิก (Malic) ซิตริก (Citric) และควินิก (Quinic) มีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์
5. โปรตีน (Proteins) หัวมันเทศมีโปรตีนประมาณร้อยละ 1.0 – 2.5 หรือมีประมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งบริเวณผิวหรือเปลือกมีมากกว่าส่วนอื่น ๆ และมีสารประกอบของกรดอะมิโนที่สำคัญ ได้แก่ ทรีโอนีน (Threonine) เมไทโอนีน (Methionine) ซีสเตอีน (Cysteine) ไทโรซีน (Tyrosine) ฟีนิลแอลanine (Phenylalanine) โพรลีน (Proline) ไกลซีน (Glycine) แอลานีน (Alanine) ฮิสทีดีน (Histidine) ทริปโตเฟน (Tryptophan) ซีรีนาลีน (Serinevaline) ลิวซีน (Leucine) ไอโซลิวซีน (Isolucine) และอาร์จินีน Arginine
6. วิตามินและแร่ธาตุ (Vitamins and minerals) มันเทศมีวิตามินเอสูงถึง 7100 IU ต่อ 100 กรัม และวิตามินบีซึ่งมีมากกว่าในผักชนิดอื่น (Yoshimoto et al., 1998) โดยพบว่ามันเทศที่มีเนื้อสีเหลืองหรือส้มจะมีปริมาณของแคโรทีนสูงถึง 10 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ β -carotene ซึ่งเป็นตัวตั้งต้นในการผลิตวิตามินเอ และเป็นแหล่งของวิตามินซี (Ascorbic acid) ในปริมาณ 20 – 30 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม นอกจากนี้หัวมันเทศมีแร่ธาตุโพแทสเซียม (Potassium) และฟอสฟอรัส (Phosphorus) ในปริมาณมากอีกด้วย
7. สารระเหย (Volatile compounds) สกัดได้จากผิวเปลือกของมันเทศซึ่งมีโครงสร้างเป็นวงแหวนในกลุ่มเอโรแมติก (Aromatic) ได้แก่ อัลดีไฮด์ (Aldehydes) แอลกอฮอล์ (Alcohols)

คีโตน (Ketone) แอโรแมติก (Aromatic) ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons) สารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (Heterocyclic compounds) คือ Pyridine และ Furan derivatives และกรดปาลมาติก (Palmitic acid) และสำหรับมันเทศที่ผ่านความร้อนจากการทำอาหารแล้วจะพบสารตัวใหม่เพิ่มขึ้น คือ Limonene, Cineole, Terpineol, β -Cyclocitral, α -Cadinene และ Palmitic acid

8. รงควัตถุ (Pigments) มันเทศมี β -carotene ในปริมาณมาก โดยเฉพาะมันเทศที่มีเนื้อสีส้มหรือเหลืองมากกว่าในมันเทศเนื้อสีขาว ส่วนมันเทศที่มีเนื้อสีแดงและสีม่วงมีแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ในปริมาณสูง

หัวมันเทศมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงโดยมีประมาณร้อยละ 15 – 28 ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ นอกจากจะให้อาหารแก่พวกแก้งยังอุดมไปด้วยวิตามินเอ (โดยเฉพาะหัวที่มีเนื้อสีเหลือง) วิตามินบี และวิตามินซี ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางโภชนาการของหัวมันเทศ โดยน้ำหนัก 100 กรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542)

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
น้ำ (กรัม)	70.0
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	114.0
โปรตีน (กรัม)	1.5
ไขมัน (กรัม)	0.3
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	26.0
เส้นใย (กรัม)	1.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	25.0
ฟอสฟอรัส (หัวเนื้อสีเหลือง, มิลลิกรัม)	38.0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.0
เบต้าแคโรทีน (มิลลิกรัม)	60.0
(หัวเนื้อสีเหลือง, มิลลิกรัม)	1,225.0
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.10
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	0.04
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม)	0.7
	30

Rowena, Djanna, and Inacrist (2009) พบว่า มันทะ 5 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เนื้อสีม่วงอ่อนและผิวเปลือกสีม่วงเข้ม (Dakol) พันธุ์เนื้อสีขาวและผิวเปลือกสีแดง (Emelda) พันธุ์เนื้อและผิวเปลือกสีม่วงเข้ม (Haponita) พันธุ์เนื้อสีเหลืองและผิวเปลือกสีส้ม (PSBSP) และพันธุ์เนื้อและผิวเปลือกสีม่วงอ่อน (Violet) มีปริมาณฟีนอลิกอยู่ในช่วง 192.7 – 1159.0 มิลลิกรัมกรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักฐานแห้ง (Dry basis) แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของสายพันธุ์ส่งผลให้มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มันทะที่มีเนื้อสีม่วงอ่อนพันธุ์ Dakol มีปริมาณฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 1159.0 มิลลิกรัมกรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และพันธุ์ Violet มีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับ 434.3 มิลลิกรัมกรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ซึ่งมันทะเนื้อสีม่วงเข้มพันธุ์ Haponita มีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับ 736.8 มิลลิกรัมกรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ส่วนมันทะเนื้อสีขาวและเนื้อสีเหลืองมีปริมาณฟีนอลิกต่ำสุดโดยมันทะพันธุ์ PSBSP มีค่าเท่ากับ 310.7 มิลลิกรัมกรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และพันธุ์ Emelda มีค่าเท่ากับ 192.7 มิลลิกรัมกรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

มันทะเนื้อสีม่วง



ภาพที่ 2-1 มันทะเนื้อสีม่วง (ชมรมเผยแพร่ความรู้ทางการเกษตร, 2551)

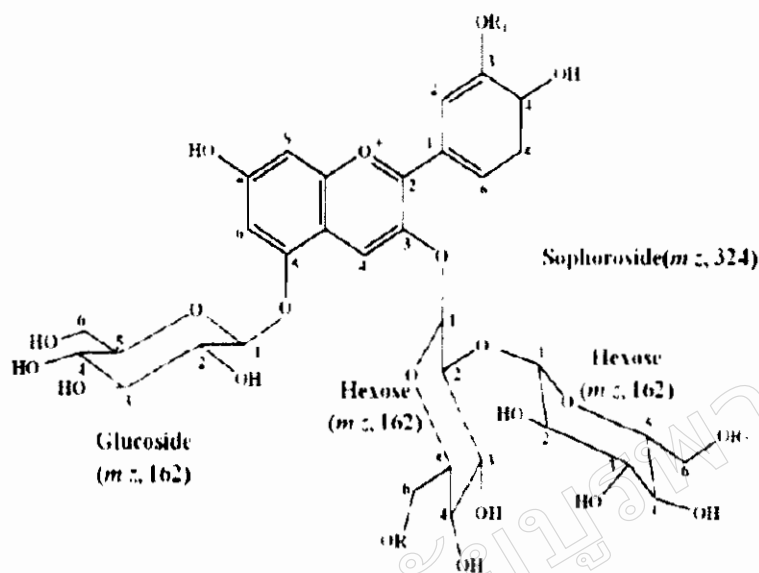
มันทะเนื้อสีม่วงที่ปลูกในประเทศไทยมีหลายสายพันธุ์ เช่น พันธุ์นิโกร พันธุ์ พจ 106-35 พันธุ์ พจ 188-1 และพันธุ์ พจ 188-2 โดยมันทะเนื้อสีม่วงมีสารสีที่อยู่ในรูปแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นสารธรรมชาติที่ไม่มีพิษและละลายน้ำได้มีสีส้ม แดง ม่วง

หรือน้ำเงิน โดยแอนโทไซยานินประกอบด้วย แอนโทไซยานิดิน (Anthocyanidin) น้ำตาล และอนุพันธ์ Acylating acids (Giusti & Wrolstad, 2003) และเมื่อละลายอยู่ในน้ำ Acylate anthocyanin กับ Aromatic acid มีความเสถียรมากกว่าแอนโทไซยานินที่ไม่มี Acylate (Giusti & Wrolstad, 2003; Redus, Baker, & Dougall, 1999)

มันเทศเนื้อสีม่วง (Purple-fleshed sweet potato) เป็นแหล่งของ Acylate anthocyanin กับ Aromatic acid (Miyazaki, Tsuzuki, & Suzuki, 1991; Otake et al., 1992; Goda et al., 1997; Terahara et al., 1999) แอนโทไซยานินจากมันเทศเนื้อสีม่วงเป็นอนุพันธ์ Acylate แบบ mono/di คือ 3-(2-glucosyl) glucosyl-5-glucosyl peonidin (Pn) และ Cyanidin (Cy) (Terahara et al., 1999; Oki et al., 2003; Suda et al., 2003) แอนโทไซยานินในมันเทศเนื้อสีม่วงสายพันธุ์ Ayamuyasaki ของญี่ปุ่นมีปริมาณ Acylate peonidin อยู่ในช่วงร้อยละ 71 - 73 และมีปริมาณ Acylate cyanidin อยู่ในช่วงร้อยละ 12 - 19 (Tsukui et al., 1999; Yoshimoto et al., 1999) อย่างไรก็ตามแอนโทไซยานินเป็นสารธรรมชาติที่ไม่เสถียร เมื่อสัมผัสความร้อน แสง และพีเอช (Fossen, Cabrita, & Andersen, 1998; Dyrby, Westergaard, & Stapelfeldt, 2001)

Yang and Gadi (2008) พบว่า มันเทศเนื้อสีม่วงที่มีผิวเปลือกสีม่วง (พันธุ์ Terlaje) มีปริมาณแอนโทไซยานิน 0.40 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเนื้อมันเทศสด และมันเทศเนื้อสีม่วงที่มีผิวเปลือกสีขาว (พันธุ์ Luta) มีปริมาณแอนโทไซยานิน 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเนื้อมันเทศสด จากผลวิจัยของ Teow et al. (2007) พบว่า ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในมันเทศเนื้อสีม่วง 4 สายพันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.24 - 0.53 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเนื้อมันเทศสด และมันเทศเนื้อสีม่วงอ่อนทั้ง 2 สายพันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.03 - 0.07 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเนื้อมันเทศสด และจากการศึกษา Furuta et al. (1998) พบว่ามันเทศเนื้อสีม่วงใน 5 สายพันธุ์ มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.053 - 0.54 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเนื้อมันเทศสด ซึ่งประกอบด้วย peonidin 3-caffeoyl sophoroside-5-glucoside เป็นองค์ประกอบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 2-2

แอนโทไซยานินในมันเทศเนื้อสีม่วงมีหน้าที่ทางชีวภาพมีผลในการดูดซับอนุมูลอิสระ (Scavenging free radicals) มีฤทธิ์ต้านการก่อกลายพันธุ์ ยับยั้งการทำงานของสารก่อมะเร็ง และลดความดันโลหิต (Furuta et al., 1998; Yoshinaga et al., 1999; Yoshimoto et al., 2001; Hagiwara et al., 2002; Masuda et al., 2002; Kano et al., 2005) โดยสาร Acylate anthocyanin ในมันเทศเนื้อสีม่วงช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านออกซิเดชันในพลาสมาของมนุษย์ โดยสามารถดูดซับได้โดยตรงในหลอดเลือด (Suda et al., 2002, 2003; Harada et al., 2004; Kano et al., 2005) ในประเทศญี่ปุ่นได้ผลิตเครื่องดื่มและน้ำผลไม้ทางการค้าที่ทำจากมันเทศเนื้อสีม่วง และสกัดสีจากมันเทศเนื้อสีม่วงเพื่อใช้เป็นสารสีในอาหาร เช่น ไอศกรีม นม เครื่องดื่ม และน้ำสลัด เป็นต้น (Yamakawa, 1998)



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน (Kano et al., 2005)

สารต้านอนุมูลอิสระในมันเทศ

อนุมูลอิสระ (Free radicals) เป็นสารหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (Unpair electron) อยู่รอบนอกเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียร และว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) แล้วกลายเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป ส่วนมากแล้วเกิดกับโมเลกุลของออกซิเจน เช่น Superoxide anion radical ($O_2^{\cdot-}$), Hydroxyl radical ($HO^{\cdot}$), Peroxide radical ($ROO^{\cdot}$) และ Hydrogen peroxide (H_2O_2) เป็นต้น โดยอนุมูลอิสระเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายมนุษย์ และเกิดจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นมลพิษ ส่งผลให้เกิดการสะสมของอนุมูลอิสระในสิ่งมีชีวิตเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดภาวะที่เรียกว่า Oxidative stress ที่ส่งผลกระทบต่อเซลล์ เช่น เซลล์ถูกทำลายเกิดการเสื่อมของเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุของความแก่ (Aging) ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของดีเอ็นเอ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเยื่อหุ้มเซลล์ และรุนแรงไปถึงการเกิดโรค เช่น โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด หลอดเลือดหัวใจ มะเร็ง และเบาหวาน เป็นต้น ซึ่งมนุษย์สามารถป้องกันการทำลายจากอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ โดยเอนไซม์ที่ร่างกายสร้างขึ้น เช่น Superoxide dismutase (SOD) และ Glutathione peroxidase (GPX) แต่การกำจัดอนุมูลอิสระด้วยเอนไซม์ก็มีข้อจำกัด เช่น บางคนมีพันธุกรรมที่สามารถสร้างเอนไซม์ได้น้อย การเพิ่มความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยการรับประทานอาหารประเภทผักผลไม้ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และแอนโทไซยานิน (จักรพงษ์ ไพบุลย์, 2542)

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) เป็นสารที่มีโครงสร้างที่สามารถจับอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวของอนุมูลอิสระ ทำให้ไม่สามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และหยุดการเกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ ลดอัตราการเกิดโรคร้ายแรงต่าง ๆ ที่เกิดจากอนุมูลอิสระเป็นต้นเหตุแอนโทไซยานินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีโครงสร้างสามารถจับอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวของอนุมูลอิสระ ไม่สามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และหยุดการเกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ ลดอัตราการเกิดโรคที่เกิดจากอนุมูลอิสระเป็นต้นเหตุ ซึ่งแอนโทไซยานินสามารถลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ และพบว่า การรับประทานผักและผลไม้ที่มีแอนโทไซยานินสามารถยับยั้งการลุกลามของเนื้องอก ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง และลดระดับไขมันในเลือดได้ และแอนโทไซยานินสามารถป้องกันโรคเบาหวานได้ สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (Scavenge) อนุมูลอิสระ ได้ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (Chelate) กับโลหะ เพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งตามกลไกการยับยั้งได้เป็น 3 ชนิด คือ ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ (Preventive antioxidant) ทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น (Scavenging antioxidant) และทำให้ถูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสั้นสุดลง (Chain breaking antioxidant)

การวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ในปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ได้มีการนำสารต้านอนุมูลอิสระมาใช้ในการส่งเสริมสุขภาพ ป้องกันและรักษาโรคต่าง ๆ ซึ่งการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสำคัญ เพื่อใช้บอกประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ หากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงด้วย ซึ่งการตรวจสอบฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระมีหลายวิธีด้วยกัน คำนวณความจำเพาะที่แตกต่างกัน วิธีทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่นิยม (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหามน, 2554) ได้แก่

- DPPH radical scavenging activity (DPPH) เป็นการวัดความสามารถในการยับยั้งอนุมูลของ DPPH โดยวัดความสามารถในการให้ไฮโดรเจนในการต้านอนุมูลอิสระ
- Ferric reducing/Antioxidant power (FRAP) เป็นวิธีการวัดความสามารถในการรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนของ Ferric tripyridyltriazine (Fe^{3+} -TPTZ)
- Trolox equivalents antioxidant capacity (TEAC) เป็นการวัดความสามารถในการขจัดอนุมูลของ ABTS
- Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) เป็นการวัดความสามารถในการดูดซับอนุมูลของออกซิเจน
- Lipid peroxidation reducing power เป็นกรวัดความสามารถในการยับยั้ง Lipid peroxidation ของสารตัวอย่าง

- Reducing power เป็นการวัดความสามารถในการให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน

- Metal chelating ability เป็นการวัดความสามารถในการจับกับโลหะเนื่องจากโลหะ (Fe^{2+} และ Cu^{2+}) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

Rowena et al. (2009) วิเคราะห์ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระของมันเทศ 5 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Dakol พันธุ์ Emelda พันธุ์ Haponita พันธุ์ PSBSP และพันธุ์ Violet ใช้วิธี DPPH radical scavenging activity ซึ่งเป็นการวัดการกำจัดอนุมูลของ DPPH โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวอย่าง ซึ่งจากการประเมินกิจกรรมการต้านออกซิเดชันโดยการกำจัดอนุมูลของ DPPH ที่แสดงในรูปของค่า EC_{50} (ค่าความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่างที่มีผลต่อการลดจำนวนของอนุมูลอิสระลงครึ่งหนึ่งจากจำนวนของอนุมูลอิสระเริ่มต้น) พบว่ามันเทศทั้ง 5 สายพันธุ์ให้ค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 2.1 – 24.7 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Fresh sample) โดยให้ค่า EC_{50} ของตัวอย่างมันเทศทั้งหมดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มันเทศเนื้อสีม่วงอ่อนพันธุ์ Dakol มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงสุด (EC_{50} เท่ากับ 2.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ในขณะที่มันเทศเนื้อสีขาวพันธุ์ Emelda มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำสุด (มีค่า EC_{50} เท่ากับ 24.7 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) โดยสารตัวแรกที่ทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระ คือ แอนโทไซยานิน โดยจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Reducing power วัดความสามารถในการให้อิเล็กตรอนในการต้านอนุมูลอิสระใช้วิธี Potassium ferricyanide reduction method สามารถตรวจวัดกิจกรรมได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 1 – 25 มิลลิกรัม แสดงในรูปของค่า EC_{50} (ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่มีผลให้ค่าการดูดกลืนแสงมีค่าเท่ากับ 0.500) พบว่ามันเทศทั้ง 5 สายพันธุ์ มีค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 8.1 – 53.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มันเทศสายพันธุ์ที่มีเนื้อสีม่วงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ามันเทศสายพันธุ์ที่มีเนื้อสีเหลืองและสีส้มโดยมันเทศทั้ง 5 สายพันธุ์ มีค่า EC_{50} ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมันเทศที่มีเนื้อสีม่วงพันธุ์ Dakol พันธุ์ Haponita และพันธุ์ Violet มีค่า EC_{50} เท่ากับ 8.1 9.9 และ 18.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนในเนื้อสีเหลืองพันธุ์ PSBSP (EC_{50} เท่ากับ 26.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และเนื้อสีขาวพันธุ์ Emelda มีค่า EC_{50} เท่ากับ 53.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และจากการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Iron-chelating capacity เป็นการวัดความสามารถในการจับกับเหล็กในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร ประกอบเชิงซ้อน Fe^{2+} /ferrozine ลดลง ซึ่งความสามารถในการจับกับเหล็กจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวอย่าง แสดงในรูปของค่า EC_{50} (ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่สามารถจับกับเหล็กได้ถึงร้อยละ 50) พบว่ามันเทศทั้ง 5 สายพันธุ์ มีค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 6.7 – 15.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยในมันเทศเนื้อสีม่วงพันธุ์ Haponita และพันธุ์ Dakol มีความ

สามารถในการจับกับเหล็กสูงสุดมีค่า EC_{50} เท่ากับ 6.7 และ 7.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) และในขณะที่พันธุ์ Emelda มีความสามารถในการจับกับเหล็กต่ำสุด มีค่า EC_{50} เท่ากับ 15.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

แป้งมันเทศ

การผลิตแป้งมันเทศในระดับอุตสาหกรรมมีวิธีการดังนี้ โดยนำมันเทศที่ได้ม เก็บไว้ในถังแล้วนำมาล้างทำความสะอาดในรงน้ำที่มีเกลือหยาบ นำมันเทศที่ได้ผ่านไปยัง Rotary washer ซึ่งมี Rotary drum ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 121.92 เซนติเมตร ความยาว 609.60 เซนติเมตร และมีน้ำสเปรย์ผ่าน เพื่อชะล้างดินและสิ่งสกปรกออก แล้วผ่าน Bucket elevator ไปยังเครื่อง Hammer mill เพื่อทำการบดครั้งแรก ได้แป้งมันเทศที่มีลักษณะหยาบและผ่านไปยัง Shaker screen เพื่อแยก แป้งหยาบออก นำไปบดด้วย Hammer mill อีกครั้งหนึ่ง ล้างด้วยน้ำผ่านตะแกรง แยก กาก นำมาล้างน้ำ บดและกรองโดยใช้ Filter drum และทำแห้งด้วย Rotary dryer ใช้สำหรับทำอาหารสัตว์ สำหรับน้ำแป้งนำมาผ่านตะแกรง แยก Fiber ขนาดใหญ่ แล้วบีบน้ำออก ล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง และเติมสารละลายด่างล้างแป้ง เมื่อแยกน้ำออกได้แป้งหมด อบแห้ง ร้อน และบรรจุถุง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

ประเทศจีนมีการผลิตแป้งมันเทศมากที่สุดของโลก โดยผลิตในตอนกลางของประเทศ ในปริมาณมากกว่า 1 ล้านตันแป้งต่อปี กรรมวิธีการผลิตร้อยละ 90 เป็นแบบดกตะกอน คือ การนำหัวมันเทศที่เก็บเกี่ยวมาทำความสะอาดและส่งตามแหล่งการผลิตเล็ก ๆ จากนั้นนำมาบดโดยใช้ Hammer mill พร้อมทั้งมีการหล่อน้ำระหว่างบด เมื่อน้ำบดผ่านตะแกรงจะปล่อยลงบ่อพัก นำน้ำแป้งจากบ่อพักสูบลบออกตะกอน ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้กันมาดั้งเดิมคือ การนำน้ำแป้งเปรี้ยว (น้ำแป้งที่ทิ้งไว้ให้เกิดการหมักธรรมชาติ มีปริมาณกรดแลคติกสูง) เติมน้ำไปจนกระทั่งน้ำแป้งมีพีเอช (pH) ประมาณ 3 - 4 ซึ่งสังเกตจากการตกตะกอนของแป้ง โดยสูบน้ำใสส่วนบนออกไปทิ้งหรือไปใช้ในการเกษตร ส่วนหนึ่งของน้ำใส่นำเก็บไว้เพื่อให้เกิดเป็นน้ำแป้งเปรี้ยวใสใช้ตะกอนแป้งต่อไป ส่วนช่วงหลังเก็บเกี่ยวประมาณเดือนตุลาคมถึงธันวาคม อากาศหนาวเย็น และความชื้นในอากาศมีน้อย จึงเป็นการทำแห้งแป้งโดยอุณหภูมิต่ำ เมื่อแป้งแห้งดีแล้วนำออกมาวางเรียงเก็บไว้ เพื่อใช้จำหน่ายให้โรงงานทำเส้นก๋วยเตี๋ยวต่อไป

ปัจจุบันถือว่าประเทศจีนเป็นผู้ผลิตแป้งมันเทศรายใหญ่ที่สุดของโลก ส่วนฟิลิปปินส์ก็มีการผลิตแป้งมันเทศในระดับอุตสาหกรรม สำหรับในประเทศไทยพันธุ์มันเทศที่มีเพาะปลูกกันอยู่ยังเ็นพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งน้อยและไม่มีการผลิตแป้งมันเทศในอุตสาหกรรม แต่มีการผลิตแป้งมันเทศในระดับงานวิจัย โดย จริญญา เดชกุญชร (2542) ทำการผลิตแป้งมันเทศตามขั้นตอนดังนี้ โดย

น้ำมันเทศมาล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดเศษดินและสิ่งสกปรกที่ติดมา และนำมาปอกเปลือกซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้มีดปอกเปลือก ใช้หลักการขัดสีให้เปลือกหลุด และสามารถใช้วิธีการปอกเปลือกโดยใช้สารละลายด่างที่ร้อน เป็นต้น นำเมहन้มน้ำมันชั้นเล็ก ๆ โดยใช้ Chipper หรือ Slicer และอาจแช่ด้วยสารละลายเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นมันเทศ หลังจากนั้นทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 50 – 60 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้นของชิ้นมันเทศ ให้มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยนำชิ้นมันเทศที่ผ่านการทำแห้งแล้ว มาทำให้เป็นผงโดยการบดละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 100 เมช จนได้แป้งมันเทศ

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตแป้งมันเทศในระดับงานวิจัย พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของแป้งมันเทศ โดยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นมันเทศหลังการปอกเปลือก หัน หรือตัดเป็นชิ้นเนื่องจากองค์ประกอบทางชีวเคมีหัวมันเทศ ซึ่งเป็นตัวส่งเสริมการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการผลิตแป้งมันเทศ โดยส่งผลต่อคุณภาพของแป้งมันเทศที่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องใช้กระบวนการเตรียมชิ้นต้นเพื่อช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีที่ส่งผลต่อคุณภาพแป้งมันเทศที่ได้ ซึ่งมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น วิธีการลวก วิธีการแช่ด้วยสารเคมี และวิธีการทำแห้ง เป็นต้น และยังมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติด้านอื่นของแป้งอีกด้วย

วิธีการเตรียมชิ้นต้นโดยการให้ความร้อนและการใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นหลังการปอกเปลือกชิ้นมันเทศ ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของมันเทศ สามารถทำได้โดย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

1. การให้ความร้อนในการลวกหรือต้มที่อุณหภูมิ 70 – 90 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส
2. การใช้สารเคมีในการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยการแช่ในสารละลายกรด เช่น กรดซิตริก และกรดอะซิติก เป็นต้น และการแช่ในสารละลายซัลไฟด์ เช่น โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ และโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเกิดได้ช้าลง
3. การทำแห้ง โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dehydration) เพื่อช่วยลดปฏิกิริยามอลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล

Yang and Gadi (2008) เปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนในการเตรียมแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงที่ทำจากมันเทศหัวสดและมันเทศที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ (Steam) เป็นเวลา 30 นาที และนำมาทำแห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน และทำแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ทำจากมันเทศที่ลวกด้วยไอน้ำและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีปริมาณเอนโทไซยานินทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ

0.971 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง (Fresh sample) และเป้งมันเทศสีม่วงที่ทำจากมันเทศหัวสดและทำแห้งด้วยลมร้อน มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดต่ำสุด เท่ากับ 0.328 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง จากการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ของเป้งมันเทศเนื้อสีม่วงที่วิเคราะห์โดย Radical-scavenging method ด้วยวิธี Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) พบว่า เป้งมันเทศที่ทำจากมันเทศที่ลวกด้วยไอน้ำ มีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเป้งมันเทศที่ทำจากมันเทศหัวสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และพบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีผลให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 11.80 – 12.70 ไมโครโมล Trolox ต่อกรัมตัวอย่าง (Dry sample) เป้งมันเทศที่ทำจากมันเทศหัวสดและทำแห้งด้วยลมร้อนให้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.12 ไมโครโมล Trolox ต่อกรัมตัวอย่าง และจากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenols) ของเป้งมันเทศเนื้อสีม่วง พบว่ามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.69 – 5.01 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) นอกจากนี้ พบว่า เป้งมันเทศเนื้อสีม่วงทั้งหมดมีค่า L^* ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 61.4 – 70.2 มีค่า a^* อยู่ในช่วง 11.23 – 25.52 โดยเป้งมันเทศที่ทำจากมันเทศหัวสดและทำแห้งด้วยลมร้อน มีค่า a^* ต่ำสุดเท่ากับ 11.23 ส่วนเป้งมันเทศที่ทำจากมันเทศผ่านการลวกด้วยไอน้ำและทำแห้งด้วยลมร้อน มีค่า a^* สูงสุด เท่ากับ 25.52 และเมื่อเปรียบเทียบเป้งมันเทศสีม่วงทั้งหมด พบว่าเป้งมันเทศที่ทำจากมันเทศหัวสดและทำแห้งด้วยลมร้อนให้ค่า b^* เป็นบวกเท่ากับ 6.67 ซึ่งแตกต่างจากเป้งมันเทศตัวอย่างอื่น ๆ ที่มีค่า b^* เป็นลบ

Ahmed, Akter, and Eun (2010) ศึกษาผลของการเตรียมเป้งมันเทศโดยแช่ชิ้นมันเทศลงในสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHSO_3) และศึกษาผลของการทำแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 55 60 และ 65 องศาเซลเซียส โดยการวัดค่าสีและวิเคราะห์ดัชนีสีน้ำตาล (Browning index) พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลให้ค่า L^* ลดลง แต่ให้ค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเป้งมันเทศที่เตรียมโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์กับเป้งมันเทศที่เตรียมโดยไม่แช่ในสารละลาย พบว่าเป้งมันเทศที่เตรียมโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่า a^* และ b^* สูงกว่าเป้งมันเทศที่ไม่แช่ในสารละลาย และส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) ซึ่งได้จากการคำนวณค่าสี (L^* , a^* และ b^*) มีค่าสูงกว่าด้วย และจากการวิเคราะห์ดัชนีสีน้ำตาล โดยการสกัดตัวอย่างเป้งมันเทศด้วยน้ำกลั่นและกรดไคลอโรอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 10 และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร พบว่า เป้งมันเทศที่เตรียมโดยแช่สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าดัชนีสีน้ำตาลต่ำกว่าเป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ และพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลให้ค่าดัชนีสีน้ำตาลลดลงอีกด้วย

Krishnan, Padmaja, Moorthy, Suja, and Sajeev (2010) ศึกษาการเตรียมแป้งมันเทศโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ กรดซิตริก และกรดอะซิติก และนำมาวิเคราะห์ดัชนีสีน้ำตาล โดยสกัดตัวอย่างแป้งมันเทศด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร จากผลวิจัยพบว่า แป้งมันเทศที่เตรียมโดยการแช่สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ กรดซิตริก และกรดอะซิติก เพื่อช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล มีผลให้ค่าดัชนีสีน้ำตาล (Browning index) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลาย มีค่าดัชนีสีน้ำตาลเท่ากับ 0.30 และยังพบอีกว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการเตรียมแป้งมันเทศมีผลให้ค่าดัชนีสีน้ำตาลของตัวอย่างแป้งมันเทศลดลง

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศ

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศมีความแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างในด้านของสายพันธุ์ แหล่งปลูก และฤดูกาลปลูก โดยองค์ประกอบที่สำคัญของแป้งมันเทศที่มีการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2-2 และคุณสมบัติของแป้งมันเทศโดยทั่วไป แสดงดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศโดยน้ำหนักแห้ง (Madamba, Bustrillos, & SanPedro, 1976; Collado, Mabesa, & Corke, 1997)

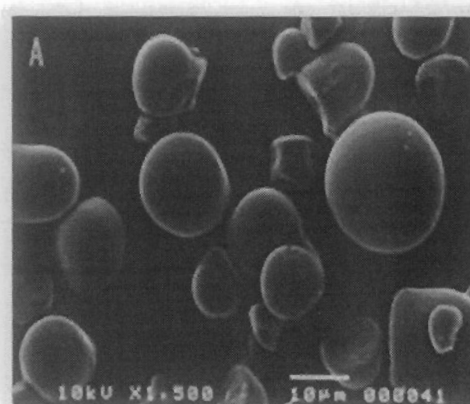
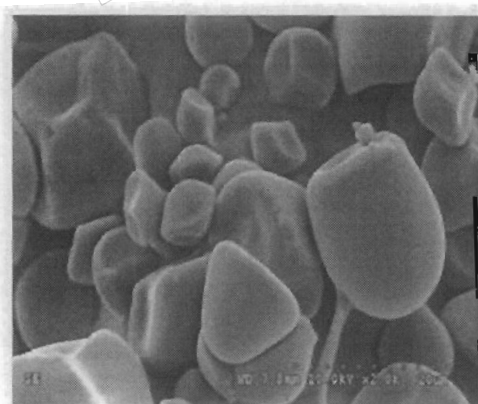
องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	5.01-9.74
คาร์โบไฮเดรต	92.00-98.29
โปรตีน	1.00-5.96
ไขมัน	0.06-1.90
เถ้า	1.28-2.83
เส้นใยหยาบ	2.30-19.30

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติของแป้งมันเทศ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

คุณสมบัติ	แป้งมันเทศ
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	9-15
ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	18-21
ขนาดอะไมโลส (Degree of polymerization)	4100
อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature, C°)	82.7
ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU)	380
ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU)	230
ความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity, RVU)	170
อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลาคีไนซ์ (Onset temperature, T ₀ , C°)	60-67
อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลาคีไนซ์ (Peak temperature, T ₀ , C°)	70-77
เอนทาลปี (Enthalpy, ΔH, J/g)	10-16

คุณสมบัติเชิงประการของแป้งมันเทศ

ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง พบว่าโดยทั่วไปเม็ดแป้งมันเทศมีขนาดเล็กกว่าข้าวสาลี มันฝรั่ง และเผือก แต่มีขนาดใกล้เคียงกับมันสำปะหลัง ซึ่งเม็ดแป้งมันเทศมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันตามสายพันธุ์ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2 – 150 ไมครอน และมีลักษณะเป็นรูปไข่ รูปวงกลม และรูปหลายเหลี่ยม มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 5 – 43 ไมครอน แสดงดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 ลักษณะรูปร่างเม็ดสตาซ์แป้งมันเทศ (Huang, Lai, Chen, Liu, & Wang, 2010)

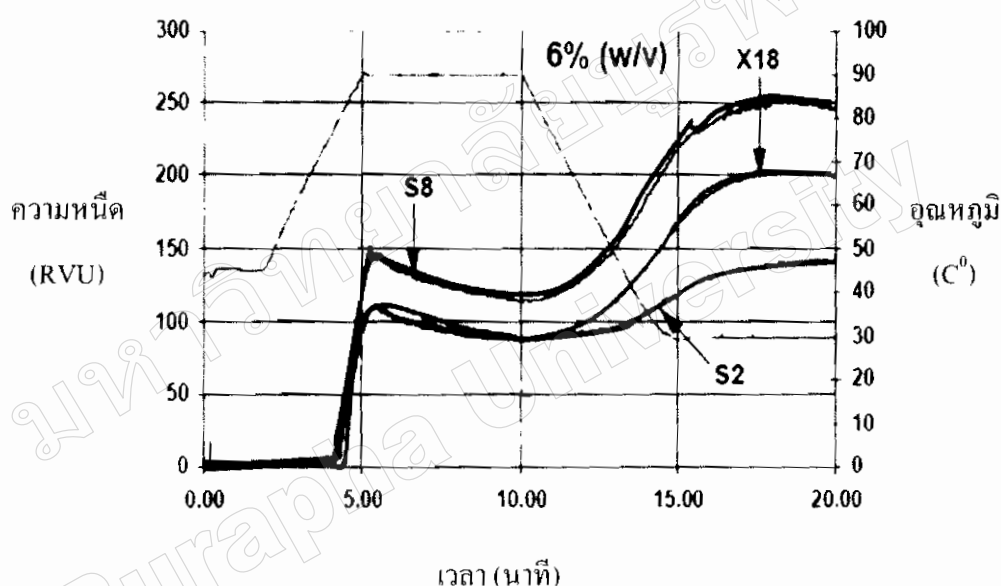
การพองตัวและการเกิดเจลโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เป็นจำนวนมากและยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และเมื่อแขวนลอยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลทีไนซ์เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่ถาการพองตัวมีขีดจำกัดเนื่องจากน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลทีไนซ์ไม่สามารถทำให้โมเลกุลเหล่านี้แยกตัวออกจากกันได้ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำแป้งให้สูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิเรียกว่า “Gelatinization temperature” แรงที่เกาะกันระหว่างโมเลกุลของแป้งจะอ่อนลงเม็ดแป้งสามารถดูดน้ำได้มากขึ้นเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลายโมเลกุลของน้ำจะเข้าจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ และเมื่อเกิดการพองตัวจนเสียคุณสมบัติของการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์หรือลักษณะที่เรียกว่า “Birefringence” ซึ่งส่งผลให้เม็ดแป้งละลายน้ำได้มากขึ้นและมีความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งมันเทศอยู่ในช่วง 59 – 81 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิในการเกิดเจลจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดแป้ง ถั้เม็ดแป้งมีขนาดเล็กมีแนวโน้มที่อุณหภูมิการเกิดเจลจะสูงขึ้น เนื่องจากเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กจะทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวของผนังเม็ดแป้งแข็งแรงกว่าเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่ ทำให้การเกิดเจลเป็นไปได้ยาก การพองตัวของเม็ดแป้งมันเทศส่วนมากจะมี 2 ชั้น คือ การพองตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 70 - 80 องศาเซลเซียส การพองตัวมีอัตราการเพิ่มลดลงอยู่ในช่วง 80 – 90 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นจนถึง 95 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าสตรัชมันเทศมีกำลังการพองตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เท่ากับ 16.38 กรัมต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่าง มีค่าสูงกว่าสตรัชมันพื้นบ้านและเผือก และทั้งนี้พบว่าสตรัชมันเทศมีอุณหภูมิเกิดเจลทีไนซ์เท่ากับ 81.05 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิการเกิดเจลทีไนซ์ต่ำกว่าสตรัชมันพื้นบ้านและเผือก (Huang et al., 2010) ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 กำลังการพองตัวและอุณหภูมิการเกิดเจล (Huang et al., 2010)

ตัวอย่าง	กำลังการพองตัว (กรัมต่อกรัมตัวอย่าง)				อุณหภูมิการเกิดเจล (C°)		
	65 (C°)	75 (C°)	85 (C°)	95 (C°)	เริ่มต้น	สูงสุด	สุดท้าย
มันเทศ	5.23	12.16	14.67	16.38	59.15	66.85	81.05
มันเทศพื้นบ้าน	1.69	2.25	6.76	7.32	72.97	80.63	91.17
เผือก	2.78	6.85	11.85	12.35	70.09	79.15	88.75

ควมหนืด โดยการพองตัวของเม็ดแป้งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดขึ้น และเมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิเจลทีไนซ์ทำให้เม็ดสตรัชม์พองตัวอย่างรวดเร็วมีความหนืดเพิ่มขึ้น การศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid

visco analyser, RVA) จากการศึกษารายงานของ Zhenghong (2003) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันเทศจากมันเทศจีน 3 สายพันธุ์ คือ XuShu18 (X18), SuShu2 (S2) และ SuShu8 (S8) ด้วยเครื่อง RVA พบว่า มันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 2-4 และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันเทศกับสตาร์ชชนิดอื่น ๆ พบว่า สตาร์ชมันเทศมีค่าความหนืดที่จุดสูงสุดเท่ากับ 132.8 RVU ค่าความหนืดสุดท้ายเท่ากับ 139.1 RVU และมีค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุดเท่ากับ 42.3 RVU ซึ่งมีค่าสูงกว่าแป้งสาลีแต่ต่ำกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งเผือก



ภาพที่ 2-4 กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Zhenghong, 2003)

การใช้แป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีในการผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ปัจจุบันนี้แนวโน้มด้านการตลาดของอุตสาหกรรมขนมอบมีการขยายตัวมากขึ้น ทำให้การบริโภคอาหารเปลี่ยนแปลงไป ผลิตภัณฑ์ขนมอบจึงมีบทบาทมากขึ้นและมีอัตราการเติบโตสูง ทั้งนี้วัตถุดิบหลักของผลิตภัณฑ์ขนมอบ คือ แป้งสาลี แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานการใช้แป้งมันเทศในผลิตภัณฑ์ขนมอบด้วย ได้แก่ ผลิตภัณฑ์โดนัทร้อยละ 20 (สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2530) เค้กกาแฟใช้แป้งมันเทศได้สูงสุดไม่เกินร้อยละ 75 บราวนี่ใช้แป้งมันเทศได้สูงถึงร้อยละ 80 (Montais & Ramirez, 1995) ลูกก็ร้อยละ 25 – 50 และขนมปังร้อยละ 15 – 65 (Martin, 2000;

Greene & Bovell-Benjamin, 2004) และขนมปังโฮลวีทร้อยละ 15 – 25 (Ific, 2011) เป็นต้น

Greene and Bovell-Benjamin (2004) ศึกษาคุณภาพของขนมปังที่ใช้แป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 50 55 60 และ 65 พบว่า ขนมปังแป้งมันเทศมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 31.3 – 35.1 มีค่าสูงกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 29.6 และพบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศมีผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยขนมปังที่ทำจากแป้งมันเทศในปริมาณร้อยละ 65 มีปริมาณค่าสูงสุด และพบว่าขนมปังที่มีการใช้แป้งมันเทศทดแทนปริมาณ 4 ระดับ (ร้อยละ 50 55 60 และ 65) มีปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 4.0 ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณไขมันที่ใช้ในส่วนผสมซึ่งใช้ในปริมาณเท่ากัน โดยมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 7.5 – 8.0 ซึ่งขนมปังที่ทำจากแป้งมันเทศทดแทนปริมาณร้อยละ 50 มีปริมาณโปรตีนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น ๆ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 17.6 – 20.5 จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของขนมปังโดยการหาค่าน้ำหนักที่สูญเสีย (Weight loss) ในระหว่างกระบวนการอบ พบว่าขนมปังแป้งมันเทศมีค่าน้ำหนักที่สูญเสียอยู่ในช่วงร้อยละ 6.5 – 7.7 ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ซึ่งพบว่าขนมปังที่ทำจากแป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 65 มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด ส่วนการตรวจวัดปริมาตรของก้อนขนมปังหลังการอบ พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศส่งผลให้ปริมาตรของขนมปังลดลงมีค่าอยู่ในช่วง 825 – 1405 มิลลิลิตร ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Texture analyzer โดยวัดค่า Hardness อยู่ในช่วง 1.4 – 2.4 นิวตัน ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) จากการวัดค่าสี พบว่า ขนมปังมีค่า L^* อยู่ในช่วง 51.2 – 54.2 ค่า a^* อยู่ในช่วง 5.2 – 5.8 และค่า b^* อยู่ในช่วง 37.9 – 42.1 ซึ่งมีผลให้ค่า L^* และ b^* เพิ่มขึ้นตามลำดับ จากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยการวัดความเข้มข้น แสดงผลในรูปของกราฟใยแมงมุม (Spider plot) พบว่า ขนมปังที่ทำจากแป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 50 55 60 และ 65 ส่งผลให้ค่าการเคี้ยว (Chewy) และค่าความหนาแน่น (Dense) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุการเก็บนานขึ้น และมีค่ามากกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าความสากลิ้น (Gritty) ของขนมปังที่มีอายุการเก็บ 0 และ 4 วัน มีค่าที่ใกล้เคียงกัน (3.9 – 4.5 คะแนน) และน้อยกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าคะแนนในด้านสีของขนมปังมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยตามปริมาณแป้งมันเทศที่เติมในสูตร ซึ่งมีค่ามากกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วนอย่างเห็นได้ชัด และมีขนาดของเซลล์ (Cell size) ที่แตกต่างกัน โดยมีค่าต่ำกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วนด้วย แต่มีคะแนนในด้านลักษณะความสม่ำเสมอของฟองอากาศ (Cell uniformity) ที่คล้ายกันและมีค่าต่ำด้วย (2.9 – 4.3 คะแนน) ยกเว้นขนมปังที่ใช้แป้งมันเทศทดแทนในปริมาณร้อยละ 50 ที่อายุการเก็บ 0 และ 4 วัน มีลักษณะความสม่ำเสมอของฟองอากาศแตกต่างจากขนมปังตัวอย่างอื่น ๆ และด้านกลิ่นรสของขนมปัง พบว่า

ขนมปังที่มีอายุการเก็บ 0 และ 4 วัน มีค่าคะแนนในด้านกลิ่นสดใหม่ (Fresh bread smell) อยู่ในช่วง 5.9 – 6.4 คะแนน และ 6.0 – 6.5 คะแนน ตามลำดับ โดยไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

Hathorn, Biswas, Gichuhi, and Bovell-Benjamin (2008) ศึกษาผลของการเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศจากร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 65 ในการทำขนมปัง พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศมีผลให้ค่าปริมาตรของขนมปัง (Loaf volume) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีผลให้ค่าปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ลดลง และมีความหนาแน่น (Density) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนการวิเคราะห์หัตถลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) พบว่า ขนมปังที่ได้มีค่าความแข็ง (Firmness) อยู่ในช่วง 0.041 – 0.043 กิโลนิวตัน ซึ่งขนมปังที่มีการใช้แป้งมันเทศทดแทนในปริมาณร้อยละ 50 และ 65 มีค่า L^* อยู่ในช่วง 58.54 – 61.42 ค่า a^* อยู่ในช่วง 7.43 – 8.96 และค่า b^* อยู่ในช่วง 20.18 – 29.93 และจากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ของขนมปัง พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศมีผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการรวมกลุ่มมากขึ้น

Wu, Sung, and Yang (2009) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของโดของขนมปังที่เติมแป้งเปียกมันเทศ (Sweet potato paste) ในปริมาณร้อยละ 5 10 20 และ 30 พบว่า การเติมแป้งเปียกมันเทศส่งผลให้โดมีการดูดซับน้ำ (Absorption) และระยะเวลาในการผสม (Mixing time) ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องฟาริโนกราฟ (Farinograph) ต่ำกว่าโดขนมปังสูตรควบคุมที่ทำจากแป้งสาลีล้วน แต่ส่งผลให้ค่า Mixing tolerance index สูงกว่าโดสูตรควบคุม ซึ่งพบว่าโดสูตรควบคุมมีค่า Absorption เท่ากับร้อยละ 63.5 ให้ค่า Mixing time เท่ากับ 22 นาที และค่า Mixing tolerance index เท่ากับ 2 BU และพบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งเปียกมันเทศในปริมาณร้อยละ 5 – 30 มีผลให้ค่า Absorption และค่า Mixing time ลดลง แต่ให้ค่า Mixing tolerance index เพิ่มขึ้น และในการเติมแป้งเปียกมันเทศต่างสายพันธุ์ส่งผลให้ค่าการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันด้วย ส่วนการวิเคราะห์ค่า Extensograph โดยทำการพักโดไว้เป็นเวลา 45 และ 90 นาที ก่อนนำมาวิเคราะห์ จากผลการวิเคราะห์พบว่าโดที่มีการเติมแป้งเปียกมันเทศให้ค่า Extensibility และ Resistance to extension แตกต่างจากโดที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และพบว่าสายพันธุ์ของมันเทศและปริมาณของแป้งเปียกมันเทศมีผลให้ค่าที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์หัตถลักษณะทางกายภาพของขนมปัง พบว่า ขนมปังที่ทำจากแป้งเปียกมันเทศในทุกสายพันธุ์ (TNU57, TNU62, TNU64 และ TNU66) และในทุกระดับของการเติมแป้งมันเทศมีค่าปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่การเติมแป้งเปียกมันเทศในปริมาณร้อยละ 10 มีผลให้ค่าปริมาตรจำเพาะสูงกว่าระดับอื่น ๆ

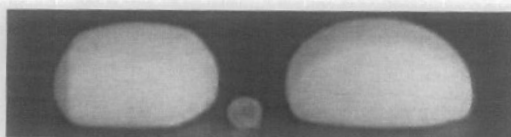
Ific (2011) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน เส้นใย ไขมัน ความชื้น และคาร์โบไฮเดรตของขนมปังพื้นเมืองในภูมิภาคของ Niger Delta ในประเทศ Southern Nigeria ที่

เรียกว่า “Madiga” ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขนมปังโฮลวีทที่ทำจากแป้งสาลีเป็นหลัก โดยจากการศึกษาผลของการใช้แป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลี พบว่า ขนมปังในทุกสูตรมีปริมาณโปรตีนที่ใกล้เคียงกันมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 8.44 – 7.57 โดยขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วนมีค่าปริมาณโปรตีนสูงสุด และพบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 0 15 20 และ 25 มีผลให้ปริมาณเส้นใยหยาบเพิ่มมากขึ้นเท่ากับร้อยละ 0.04 – 0.13 และมีปริมาณเถ้าเพิ่มมากขึ้นด้วย (ร้อยละ 2.60 – 3.00) การใช้แป้งมันเทศในการผลิตขนมปังส่งผลให้ปริมาณเส้นใยและแร่ธาตุเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 57.75 – 59.26 ซึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศมีผลให้พลังงานเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 743 – 1023 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม อย่างไรก็ตามพบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศ ส่งผลให้มีปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย รวมทั้งมีวิตามินเอ บี (B₆) และซีเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่วนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่มีการเติมแป้งมันเทศพบว่า มีคะแนนความชอบด้านสีต่ำกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วน แต่มีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับโดยรวมนั้นไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

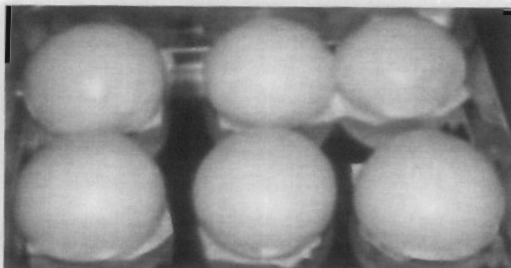
หมั่นโถว (Hou & Popper, 2007)

หมั่นโถว (Mantou) หรือขนมปังไอน้ำ (Steamed bread) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งสาลี ทำให้สุกโดยการนึ่งด้วยไอน้ำด้วยเครื่อง Steamer มีต้นตำรับในประเทศจีนระหว่างราชวงศ์ฮั่นเมื่อ 1,500 ปี ที่ผ่านมา ในหลายศตวรรษที่ผ่านมา พบว่า หมั่นโถวได้แผ่ขยายจากจีนไปจนถึงประเทศอื่นในเอเชีย พบว่าในทางตอนเหนือของจีนมีผู้บริโภคมั่นโถวถึงร้อยละ 60 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ขนมอบทั้งหมด และทางตอนใต้ของจีนมีผู้บริโภคหมั่นโถวประมาณร้อยละ 20 - 30 ในส่วนอื่น ๆ ของทวีปเอเชีย มีผู้บริโภคหมั่นโถวประมาณร้อยละ 5 - 15 และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในบางประเทศของเอเชีย เช่น ฟิลิปปินส์ เกาหลี และญี่ปุ่น เป็นต้น

หมั่นโถวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งสาลีชนิดที่มีโปรตีนต่ำหรือปานกลาง ขึ้นอยู่กับชนิดของหมั่นโถว ซึ่งมีกระบวนการเตรียมที่คล้ายกันกับขนมปังของชาวตะวันตก แต่มีขั้นตอนสุดท้ายที่ต่างกันคือ การนึ่งด้วยไอน้ำ โดยไม่ใช้วิธีการอบด้วยความร้อนในตู้อบ ทำให้เกิดความแตกต่างในด้านลักษณะปรากฏและรูปร่าง ซึ่งการนึ่งด้วยไอน้ำจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่ม มีความชื้นและมีเนื้อขนมปังที่สม่ำเสมอเรียบ มีสีขาวสว่างใส หมั่นโถวมีน้ำหนัก 30 – 120 กรัม มีลักษณะรูปร่าง 2 แบบ คือ แบบยาวคล้ายหมอน (Pillow) หรือแบบกลม (Round) แสดงดังภาพที่ 2-5 และเป็นที่นิยมในการบริโภคอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในประเทศกลุ่มเอเชีย



Pillow-shaped steamed bread



Round steamed bread

ภาพที่ 2-5 ลักษณะรูปร่างของหมั่นโถว (Hou & Popper, 2007)

ประเภทของหมั่นโถว

หมั่นโถวที่นิยมบริโภคในประเทศจีน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ แบบทางเหนือ (Northern-type) ทางใต้ (Southern-type) และ ไต้หวัน (Taiwan-type) มีความแตกต่างกันดังนี้ คือ

1. หมั่นโถวแบบทางเหนือเป็นอาหารหลักที่สำคัญสำหรับคนจีนในทางตอนเหนือ ที่นิยมรับประทานในทุกมื้อ โดยมีลักษณะรูปร่าง 2 แบบ คือ แบบยาวคล้ายหมอนหรือแบบกลม และมีน้ำหนักประมาณ 100 – 120 กรัม ซึ่งเตรียมจากแป้งสาลีชนิดแข็งที่มีปริมาณ โปรตีนร้อยละ 9.5 – 10.5 ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งมีความเหนียวในการเคี้ยวและมีลักษณะเกาะติดกันเป็นก้อน โดยมีลักษณะโครงสร้างเซลล์เนื้อในที่จัดเรียงตัวอย่างหนาแน่น

2. หมั่นโถวแบบทางใต้เป็นหมั่นโถวที่บริโภคกันอย่างแพร่หลายในทางใต้ของจีน มีลักษณะรูปร่างเป็นแบบยาวคล้ายหมอน มีน้ำหนักประมาณ 25 – 30 กรัม เตรียมได้จากแป้งสาลีชนิดอ่อนที่มีปริมาณ โปรตีนต่ำร้อยละ 7.5 – 9.0 ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มเมื่อกัด มีความยืดหยุ่น และมีลักษณะเกาะติดกัน โดยมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าและหวานกว่าแบบทางเหนือ

3. หมั่นโถวแบบไต้หวัน เป็นหมั่นโถวที่เกิดจากการผสมผสานของหมั่นโถวทั้ง 2 ชนิด คือแบบทางเหนือและทางใต้ โดยมีลักษณะรูปร่างแบบยาวคล้ายหมอน มีน้ำหนักประมาณ 100 – 120 กรัม ซึ่งเตรียมจากแป้งสาลีชนิดแข็งที่มีปริมาณ โปรตีนร้อยละ 11.0 – 12.0 มีปริมาณ โปรตีนสูงกว่าแบบอื่น ๆ ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียวเมื่อกัด มีความยืดหยุ่นและมีความเหนียว ส่งผลให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งน้อยกว่าหมั่นโถวทางเหนือและมีรสหวานน้อยกว่าหมั่นโถวในแบบทางใต้ด้วย โดยพบว่าหมั่นโถวแต่ละชนิดนั้นมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ส่วนผสมของหมั่นโถวแต่ละชนิด (Hou & Popper, 2007)

ส่วนผสม (%)	ทางเหนือ	ทางใต้	ใต้หวัน
แป้ง	100	100	100
น้ำ	46-50	40-44	44-48
ยีสต์	0.8-1.2	0.8-1.2	0.8-1.2
น้ำตาล	0	10-20	4-6
เกลือ	0-0.1	0	0
ซอทดกเนนึ่ง	0	2-5	4-6
ผงฟู	0	0-1	0-1

ส่วนผสมของหมั่นโถว

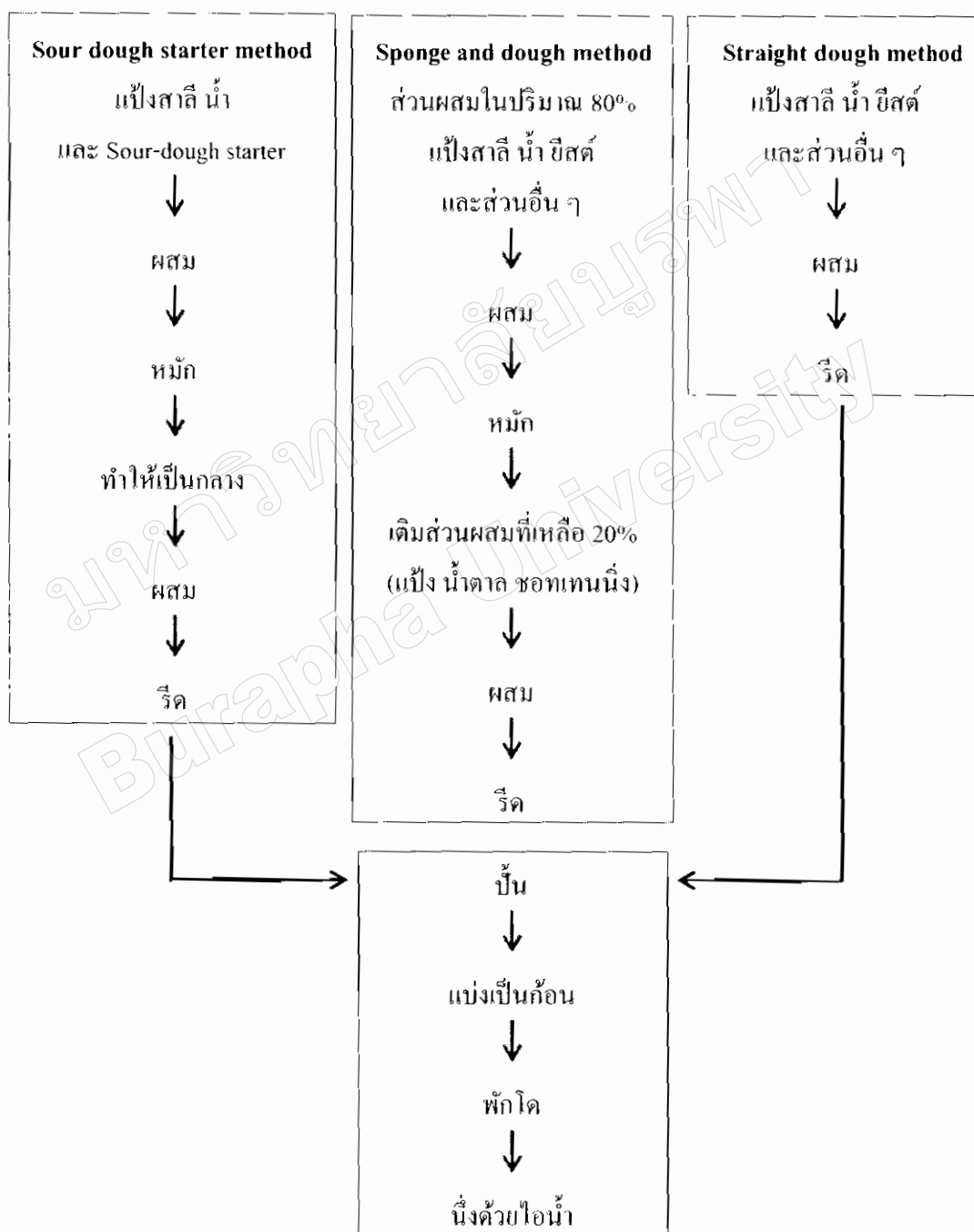
ส่วนผสมพื้นฐานที่เป็นองค์ประกอบของหมั่นโถวทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แป้งสาลี น้ำ และยีสต์ ส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ น้ำตาล ซอทดกเนนึ่ง ผงฟู เกลือ เกลืออัลคาไลน์ และอิมัลซิไฟเออร์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งปริมาณน้ำในส่วนผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งและกระบวนการผลิต ใช้ปริมาณน้ำที่ได้จากการดูดซับน้ำที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องฟาริโนกราฟ (Farinograph) โดยส่วนผสมแต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 หน้าที่ของส่วนผสมแต่ละชนิดของหมั่นโถว (Hou & Popper, 2007)

ส่วนผสม	หน้าที่
แป้ง	ทำให้โดมีความยืดหยุ่น
น้ำ	รวมตัวกับโปรตีนในแป้งทำให้เกิดโครงสร้างของกลูเตน
ยีสต์	ทำปฏิกิริยากับน้ำตาล ได้คาร์บอนไดออกไซด์ แอลกอฮอล์ และกลีเซอรอล
น้ำตาล	เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตกระบวนการหมัก และให้รสหวาน
ซอทดกเนนึ่ง	ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม
ผงฟู	ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม เกิดรอยแตกที่ผิวด้านบน
เกลือ/เกลืออัลคาไลน์	เกิดโครงสร้างกลูเตนที่แข็งแรง ยับยั้งการทำงานของยีสต์ ปรับปรุงรสชาติปรับพีเอชของโดให้เป็นกลาง เพิ่มกลีเซอรอล
อิมัลซิไฟเออร์	ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสภายใน ช่วยยืดอายุการเก็บ

กระบวนการผลิตหมั่นโถว

วิธีหลักของกระบวนการผลิตหมั่นโถวที่ใช้ในการผลิตมี 3 วิธีด้วยกัน โดยมีขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ขั้นตอนกระบวนการผลิตหมั่นโถว (Hou & Popper, 2007)

1. Sour dough starter method ทำโดยกรหมัก Starter ไว้ก่อน ซึ่งเป็นวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้กันในครัวเรือนหรือร้านเล็ก ๆ เนื่องจาก Sour dough สามารถเตรียมได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องใช้ยีสต์ ซึ่งทำได้โดยใช้ Starter ผสมกับน้ำก่อนการเติมแป้งเพื่อเตรียมโด และสำหรับการเตรียมโดทำได้โดยผสมแป้งกับ Sour dough starter (ปริมาณร้อยละ 10) และน้ำ โดยทำการผสมเป็นเวลานาน 5 – 10 นาที และหมักโดเป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 26 – 28 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 75 โดยใช้ Sour dough starter ที่ประกอบด้วยยีสต์ธรรมชาติและแบคทีเรียแลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus spp.*) ที่ทำหน้าที่หมักโดจนมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.7 – 4.0 หลังจากนั้นทำให้เป็นกลางด้วยเกลืออัลคาไลน์โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 40 เพื่อให้ Sour dough มีความเป็นกลางจนมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.4 – 6.7 เดิมในปริมาณร้อยละ 0.5 (น้ำหนักแป้ง)

ขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง (Neutralize) เป็นขั้นตอนสำคัญในการทำหมั่นโถวให้มีคุณภาพดี หากโดมีความเป็นด่างมากเกินไปจะส่งผลให้หมั่นโถวมีสีเหลืองหรือสีคล้ำ และมีกลิ่นอัลคาไลน์ที่รุนแรง และหากโดมีความเป็นกรดส่งผลให้หมั่นโถวมีกลิ่นและรสชาติเปรี้ยว และมีปริมาณเล็ก ลักษณะปรากฏไม่ดีและมีโครงสร้างแน่น ซึ่งการเติมเกลืออัลคาไลน์จะเป็นการเปลี่ยนกรดที่เกิดโดยแบคทีเรียแลคโตบาซิลลัสและเกิดจากยีสต์ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ทำให้โดมีความเป็นกลางโดยการผสมกับเกลืออัลคาไลน์ แล้วนำโดที่ผ่านกระบวนการ Neutralize ด้วยการผสมดังอีกครั้ง (Remix) ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในวิธีการผสมโดด้วยมือหรือผสมด้วยเครื่องผสม แต่สำหรับหมั่นโถวบางชนิดพบว่าขั้นตอนการผสมมีความจำเป็นอย่างมาก ถึงแม้ว่าจะเกิดกระบวนการ Neutralize ได้อย่างสมบูรณ์แล้วก็ตาม หลังจากนั้นนำโดที่ได้มาผ่านกระบวนการรีดโด ทำให้โดเกิดโครงสร้างกลูเตนและมีผิวเรียบ แล้วนำโดที่ได้มาม้วนให้เป็นรูปทรงกระบอกด้วยมือหรือเครื่องแล้วปั้น (Mould) ให้มีรูปร่างแบบหมอนหรือรูปทรงกลมตามต้องการ โดยการแบ่งเป็นก้อน (Divide) ที่มีน้ำหนักจำเพาะอยู่ในช่วง 100 – 130 กรัม แล้วพักก้อนโด (Proof) ไว้เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 32 – 36 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 – 80 และนำมานึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลานาน 15 นาที จนสุก

2. Sponge and dough method เป็นวิธีการเตรียมหมั่นโถวในแบบดั้งเดิม ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการผสม Sponge หลายขั้นด้วยกัน คือ การหมัก (Fermentation) การผสมโด (Dough mixing) การรีดโด (Sheeting) การปั้น (Moulding) การแบ่งโด (Dividing) และการให้ความร้อนโดยการนึ่งด้วยไอน้ำ (Steaming) ซึ่งในการเตรียม Sponge สามารถทำได้โดยผสมแป้งในปริมาณร้อยละ 80 กับน้ำ และยีสต์ โดยใช้ยีสต์สดหรือยีสต์แห้ง หลังจากนั้นหมักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส และที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 ทำการเติมแป้งและส่วนผสมอื่น ๆ ลงไปแล้วผสม

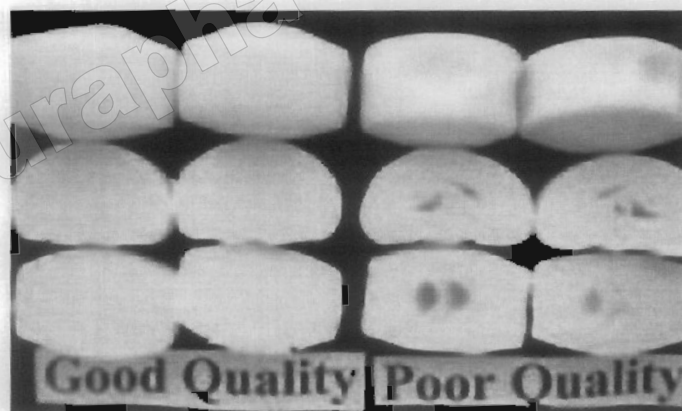
อีกครั้งจนเกิดโค หลังจากนั้นนำโคที่ได้มาผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถปรับเปลี่ยนระยะเวลาการหมักในแต่ละครั้งได้ และเป็นวิธีการกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดโครงสร้างเซลล์ที่ดีและปรับปรุงกลิ่นรสที่ดีด้วย แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ยังมีข้อเสียคือ ใช้เวลานานในระหว่างกระบวนการผลิต

3. Straight dough method เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมและเป็นวิธีเดียวที่ใช้ในการผลิตในทางการค้า เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและใช้เวลาในการผลิตสั้น สามารถทำได้โดยการผสมแป้งและส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันจนกลายเป็นโค ซึ่งโคที่ได้จากขั้นตอนนี้จะอยู่ในช่วงของกระบวนการผลิตในขั้นที่ 1 และ 2 หลังจากนั้นพักโคเป็นเวลานาน 40 นาที ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาสั้นกว่าทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมา แต่ในบางครั้งการผลิตด้วยวิธีนี้อาจจะหมักโคได้ไม่เหมาะสม โดยเกิดการหมักที่มากหรือน้อยจนเกินไป เกิดจากการควบคุมที่ไม่ดี และถึงอย่างไรก็ตาม พบว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะมีโครงสร้างหลักที่ไม่ดีไปกว่าการผลิตด้วยวิธี Sponge and dough method และหมั่นโถวที่ได้จะไม่มีลักษณะกลิ่นรสที่ได้จากวิธีแบบดั้งเดิม

ขั้นตอนสำคัญในการผลิตหมั่นโถวที่มีคุณภาพดีนั้น จะต้องควบคุมการพักโค ซึ่งระดับการพักโคจะมีผลต่อรูปร่าง สี เนื้อสัมผัส และกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยมีอุณหภูมิในการพักโคและความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการพักโค โดยใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 32 – 37 องศาเซลเซียส และที่ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงร้อยละ 70 – 80 ระยะเวลาเหมาะสมในการพักโคสามารถกำหนดได้โดยการสังเกตและสัมผัสการขึ้นฟูของโค ซึ่งลักษณะของโคหมั่นโถวที่ผ่านการหมักอย่างเหมาะสมนั้นจะมีลักษณะปรากฏที่สว่าง ใส และมีความยืดหยุ่นเมกเมื่อสัมผัสที่ผิวหนัง อย่างไรก็ตามการมองและการสัมผัสการขึ้นฟูของโค เพื่อใช้คัดเลือกระยะเวลาที่มีความเหมาะสมในการพักโคนั้นยังไม่มีประสิทธิภาพที่ดี จึงมีการใช้กระบวนการมาตรฐานในการควบคุมปริมาตรของโค เพื่อใช้ในการกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการพักโค โดยใช้ตัวอย่างโคน้ำหนักประมาณ 25 กรัม ใส่ลงในกระบอกตวงที่มีขนาด 45 มิลลิลิตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3 เซนติเมตร มีปริมาตรโคประมาณ 21 – 22 มิลลิลิตร สำหรับหมั่นโถวในแบบทางใต้ จะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 38 มิลลิลิตร หลังจากพักโค และสำหรับหมั่นโถวแบบทางเหนือและใต้หวัน มีปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 45 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นวิธีการที่ประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตและคุณภาพของหมั่นโถว

การประเมินคุณภาพของหมั่นโถว

การประเมินคุณภาพของหมั่นโถวประกอบด้วย 2 ลักษณะ คือ กระบวนการผลิต และ ผลิตภัณฑ์สุดท้าย พบว่า การประเมินกระบวนการผลิตนั้นจะทำการประเมินโดยการให้คะแนนในทุกขั้นตอน ได้แก่ การผสม (Mixing) การหมัก (Fermentation) การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) การรีดโด (Sheeting) การม้วนแผ่นโด (Rolling) การตัดแบ่ง (Dividing/Cutting) และการพักโด (Proofing) ส่วนคุณภาพของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวนั้น ประเมินค่าปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ผิวเปลือกนอก (External skin) ได้แก่ ลักษณะประภู (Appearance) และความขาวหรือความสว่าง (Whiteness, Brightness) เนื้อภายใน (Internal crumb) ได้แก่ โครงสร้าง (Structure) และความขาว (Whiteness) คุณภาพในการรับประทาน (Eating quality) ได้แก่ การเคี้ยว (Chewiness) และความเหนียว (Stickiness) และในด้านกลิ่นรส (Flavor) ได้แก่ กลิ่นธรรมชาติ (Natural odour) และกลิ่น (Odour) ในการประเมินคุณภาพนั้น พบว่า กระบวนการผลิตหมั่นโถวมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้ายของหมั่นโถว ซึ่งการผลิตด้วยมือจะมีความสะดวกและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่ดีของผลิตภัณฑ์ แต่ในการผลิตหมั่นโถวแบบอัตโนมัติต้องทำการประเมินลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเพื่อดูความสามารถในยอมรับ ในการประเมินคุณภาพของหมั่นโถวจะมีจุดวิกฤตหลายปัจจัยด้วยกันที่ส่งผลให้หมั่นโถวมีลักษณะแตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 ตัวอย่างคุณภาพของหมั่นโถว (Hou & Popper, 2007)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของหมั่นโถว

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของหมั่นโถวแบ่งเป็น 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ แป้ง (Flour source) ส่วนผสม (Ingredient source) และกระบวนการผลิต (Process source) แสดงดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของหมั่นโถว (Hou & Popper, 2007)

แป้ง	ส่วนผสม	กระบวนการผลิต
ปริมาณโปรตีน	น้ำตาล	การเติมน้ำ
ปริมาณเถ้า	ซอทดั้น	การผสม
คุณภาพของโปรตีน	ยีสต์	การหมัก
ขนาดอนุภาคของแป้ง	เกลือ/เกลืออัลคาไลน์	การรีดแผ่นโด
ปริมาณสารที่เสียหาย	ผงฟู	การพักโด
เอนไซม์	อิมัลซิไฟเออร์	การอบด้วยไอน้ำ
	สารออกซิไดซ์	

1. แป้ง พบว่าความแตกต่างในด้านองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเป็นสาเหตุหลักและตามด้วยขนาดอนุภาคของแป้ง ซึ่งสิ่งที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของแป้ง คือ ปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า และคุณภาพของโปรตีน ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยใช้เครื่อง Farinograph ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของแป้งที่ใช้สำหรับทำหมั่นโถวที่มีคุณภาพ โดยพบว่าปริมาณโปรตีนในแป้งจะมีผลต่อปริมาณของหมั่นโถวหากใช้แป้งที่มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 6 – 11 ส่งผลให้หมั่นโถวมีปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในแป้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของหมั่นโถว อย่างไรก็ตามหากใช้แป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูง (มากกว่าร้อยละ 12.5) มีแนวโน้มที่ส่งผลให้หมั่นโถวเกิดการหดตัว (มีรอยย่นที่ผิวหน้า) และทำให้มีสีคล้ำ แต่หากใช้แป้งที่มีปริมาณโปรตีนน้อยมีผลให้หมั่นโถวเกิดลักษณะที่ไม่ดีและมีเนื้อสัมผัสที่เหนียว ทั้งนี้ขนาดอนุภาคของแป้งอาจมีผลต่ออัตรา การดูดซับน้ำและแรงการสร้างโด

Sun, Yan, Jiang, Li, and MacRitchie (2010) พบว่า การใช้แป้งสาลีที่ผ่านการกำจัดไขมันในการทำหมั่นโถว ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสภายในของหมั่นโถวมีผลให้ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าการเกาะติด (Cohesiveness) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับหมั่นโถวที่ทำจาก แป้งสาลีที่ไม่กำจัดไขมัน ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของ Pomeranz, Huang, and Rubenthaler (1991) ศึกษา การใช้แป้งสาลีที่กำจัดไขมันในการทำผลิตภัณฑ์หมั่นโถวทำให้ทราบ ว่าเมื่อใช้แป้งสาลีที่กำจัดไขมันจะส่งผลให้ปริมาตร (Volume) และความนุ่ม (Softness) ของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

นอกจากแป้งสาลีแล้วยังมีงานวิจัยที่ใช้แป้งชนิดอื่นทดแทนแป้งสาลีในหมั่นโถว จากการ ศึกษาของ ศรีเวียง ทิพกานนท์, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, ธงชัย สุวรรณสิขณน์ และวิชัย หลุทัยธนเส็นต์

(2543) โดยทำการผลิตหมั่นโถวที่ใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลี พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวหอมมะลิมากขึ้น ส่งผลให้โดมีคุณสมบัติในการเกาะติดเพิ่มขึ้นด้วย มีผลให้ค่า Adhesiveness สูงขึ้น แลพทำให้ผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ได้มีค่า Hardness เพิ่มขึ้น ส่วนค่า Springiness ลดลง และส่งผลให้ค่าปริมาตรลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าลักษณะสีของหมั่นโถวที่ได้มีค่าความสว่าง (L^*) มากขึ้น ส่วนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนความชอบ พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบปานกลาง ส่วนคะแนนความชอบในด้านความชอบรวม ความนุ่ม และรสหวาน ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

Noor Aziah. Ho. Noor Shazliana. and Rajcev (2012) พบว่า คุณภาพของหมั่นโถวที่ใช้แป้งกล้วยดิบทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 30 และหมั่นโถวที่ใช้แป้งกล้วยดิบทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 ร่วมกับกลูเตนปริมาณร้อยละ 8 ให้ค่าปริมาตรจำเพาะอยู่ในช่วง 3.67 – 4.27 มีอัตราการแผ่ขยาย (Spread ratio) มีค่าอยู่ในช่วง 2.05 – 2.26 และมีผลให้ค่าความแตกต่างระหว่างความสูงของตัวอย่างก่อนและหลังการนึ่งด้วยไอน้ำ (Steamer spring) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนการวิเคราะห์ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่ามีค่า Hardness อยู่ในช่วง 2.31 – 3.06 ค่า Cohesiveness 0.37 – 0.50 ค่า Elasticity 0.43 – 0.88 ค่า Chewiness 0.55 – 1.00 และค่า Adhesiveness 0.03 – 0.08 หมั่นโถวที่ใช้แป้งกล้วยดิบทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 ให้ค่า Hardness และค่า Adhesiveness ที่ไม่แตกต่างจากตัวอย่างสูตรควบคุม แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างหมั่นโถวที่ใช้แป้งกล้วยดิบทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 30 และหมั่นโถวที่ทำจากแป้งกล้วยดิบทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 30 ร่วมกับกลูเตนปริมาณร้อยละ 8 มีค่า Cohesiveness ค่า Elasticity และค่า Chewiness ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

2. ส่วนผสม โดยเฉพาะปริมาณน้ำตาลซึ่งมีผลอย่างมากต่อการปรับปรุงปริมาตรและเนื้อสัมผัสของหมั่นโถว ซึ่งการเติมน้ำตาลในปริมาณมากจะส่งผลให้หมั่นโถวมีปริมาตรใหญ่ขึ้น และมีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้นด้วย ในการใช้ชอทดแทนนี้ไม่เพียงช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมปังแต่ช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ด้วย ส่วนในการทำขนมปังของชาวตะวันตกมีการใช้เอนไซม์ไฟเอร์ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสภายใน และส่งผลให้สตาซ์เกิดกระบวนการรีโทรเกรเดชันได้ช้าลงด้วย ซึ่งสารที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแป้งโดยเฉพาะสารออกซิไดซ์ (Oxidizing agents) และเอนไซม์ (Enzyme) มีความสำคัญในการช่วยปรับปรุงคุณภาพแป้งให้เป็นที่ต้องการ เอนไซม์ส่วนใหญ่ได้จากจุลินทรีย์ ได้แก่ α -Amylase, Hemicellulase, Lipases และ Oxidase ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในด้านเนื้อสัมผัส และส่งผลให้ปริมาตรมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยเอนไซม์เฮมิเซลลูโลสจะช่วยในการปรับปรุงความสว่างซึ่งมีผลในด้านลักษณะทางกายภาพ ทำให้เนื้อในมีความสว่างมากขึ้น ในขณะที่หมั่นโถวที่มีเนื้อหยาบซึ่งไม่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เฮมิเซลลูโลสทำให้เกิดจุดมืด “Shadow zone” ทำให้

เนื้อในของหมั่นโถวสว่างน้อยลง ส่วนเอนไซม์ Lipase ทำหน้าที่ปรับปรุงความสว่าง เกิดการสร้างกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่จับกับแป้ง (Flour lipoxigenase) และออกซิเจนได้ โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในขั้นตอนการรีดโคเ็นแผ่น ซึ่ง Hydroperoxides oxidize มีผลโดยตรงให้แป้งมีความสว่างมากขึ้น เนื่องจากเกิดการสะท้อนแสง โดยเอนไซม์ทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะช่วยปรับปรุงความนุ่มของเนื้อสัมผัส มีผลให้ปริมาตรมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีลักษณะฟองอากาศสม่ำเสมอ และพบว่าเอนไซม์ Amylase ที่ให้ความร้อนในสภาพเป็นกลาง สามารถช่วยลดอัตราความเก่า (Staling) ที่เกิดขึ้น

3. กระบวนการผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยที่เป็นจุดวิกฤตในการผลิตจำนวนมากและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ โดยพบว่า การเติมน้ำในระดับที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญที่สุด เนื่องจากมีผลกระทบหลักต่อขั้นตอนในการผลิต ในการผสมจะช่วยพัฒนาปรับปรุงโครงสร้างกู่เตน การหมัก Sponge มีผลต่อปริมาตรและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ ในกรณีของวิธี Sour dough ในกระบวนการทำให้เป็นกลางของ Sour dough ช่วยปรับปรุงรสชาติ ปริมาตร ลักษณะปรากฏ และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์สุดท้าย การรีดโคเ็นมีอิทธิพลอย่างมากต่อความเรียบเนียนของผิวและโครงสร้างเนื้อสัมผัส ส่วนระยะเวลาในการพักโดจะเป็นผลให้เกิดการพัฒนา กลิ่นรสและโครงสร้างเนื้อสัมผัส ดังนั้นมีผลต่อปริมาตรและการแผ่ขยายของขนมปัง การเกิดเจลสตาร์ชในการอบด้วยไอน้ำ และมีอิทธิพลต่อลักษณะปรากฏและคุณภาพในการรับประทาน

จากการศึกษาของ ศรีเวียง ทิพกานนท์, เพ็ญขวัญ ชุมปรีดา, วิชัย หฤทัยธนาสันต์ และ ชุลีพร เทียมสมบูรณ์ (2544) พบว่า การเพิ่มเวลาในการพักโดส่งผลให้หมั่นโถวที่ทำจากแป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีมีค่าปริมาตรเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มให้ความแน่นเนื้อลดลง การพักโดเป็นเวลา 45 และ 60 นาที มีผลโดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) และหากพักโดเป็นเวลามากกว่า 60 นาที ส่งผลให้โดที่ได้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน แต่หมั่นโถวที่ได้จะมีผิวไม่เรียบและมีโพรงอากาศขนาดใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Rubunthalcer and Huang (1990) พบว่า เมื่อใช้เวลาในการพักโดนานขึ้น มีผลให้หมั่นโถวมีปริมาตรและความนุ่มเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีเวลาที่เหมาะสมในการพักโดที่ 58 นาที ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านความนุ่มและความชอบรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ได้ พบว่า หมั่นโถวที่ใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 35 และใช้ชอทดแทนหนึ่งปริมาณร้อยละ 15 ให้ค่า Water activity เท่ากับ 0.928 และมีค่า L^* เท่ากับ 83.64 ค่า a^* (-0.84) และค่า b^* (10.08) ที่ใกล้เคียงกับหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน (ร้อยละ 100) และจากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่ามีคะแนนความชอบในด้านความชอบรวม ลักษณะสีขาว ความนุ่ม ในระดับปานกลาง

สารปรับปรุงคุณภาพที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง (Ludwig, 2009)

ในปัจจุบันนี้นิยมใช้สารปรับปรุงคุณภาพในการผลิตขนมปังเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยในการผลิตขนมปังจากแป้งสาลีที่มีคุณภาพดี นอกจากนี้ยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพโดและช่วยให้โดขึ้นฟู และช่วยในระหว่างขั้นตอนการผลิต เช่น ขั้นตอนการผสม การนวด การพักโด และการอบ เป็นต้น ซึ่งพบว่าสารปรับปรุงคุณภาพสามารถเตรียมได้ง่าย เพื่อใช้ปรับปรุงคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการผลิตที่มีผลมาจกความผันแปรของวัตถุดิบเริ่มต้น และช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย โดยให้คะแนนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสสูงและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

เอนไซม์ (Miguel, Martins-Meyer, Figuciredo, Lobo, & Dellamora-Ortiz, 2013)

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมโดยตรงถึงร้อยละ 80 ของตลาดโลก ซึ่งนิยมใช้อย่างกว้างในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมขนมปัง โดยเอนไซม์จะเป็นส่วนผสมสำคัญที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปังมากที่สุด เพื่อช่วยในการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตขนมปังและยังช่วยเพิ่มคุณภาพของขนมปัง โดยมีการใช้เอนไซม์ในการปรับปรุงโดควบคุมขั้นตอนกระบวนการผลิตขนมปัง ลดระยะเวลาในการผลิต ลดอัตราการผลิตความเก่าแก่ และมักนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนด้วยแป้งต่างชนิดกัน และแทนการเติมด้วยสารเคมี (Tramper & Poulsen, 2005) และเพื่อคัดแปลงพฤติกรรมกรไหลของโด การกักเก็บก๊าซ และความนุ่มของเนื้อขนมปัง ซึ่งใช้ในปริมาณที่ต่ำมาก สามารถแบ่งกลุ่มเอนไซม์ตามหน้าที่การทำงานออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ

1. ไฮโดรเลส (Hydrolases) เป็นกลุ่มของเอนไซม์ซึ่งมีโมเลกุลของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาการสลายพันธะโควาเลนต์ของสารประกอบ ได้แก่ อะไมเลส (Amylases) เซลลูเลส (Cellulase) เฮมิเซลลูเลส (Hemicellulases) โปรตีเอส (Proteases) และไลเปส (Lipases)

2. ออกซิโดรีดักเตส (Oxidoreductases) เป็นกลุ่มของ Oxidation-Reduction ได้แก่ ไลพอกซีจีเนส (I ipoxygenases) กลูโคสออกซิเดส (Glucose oxidases) และ แลคเคส (Laccase)

3. เอนไซม์อื่น ได้แก่ ทรานสกลูตามิเนส (Transglutaminase)

อย่างไรก็ตาม พบว่า ในอุตสาหกรรมนิยมใช้เอนไซม์ในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมอบหลายชนิดด้วยกัน โดยในการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับหน้าที่หลักของเอนไซม์แต่ละชนิดตามความจำเพาะของเอนไซม์ชนิดนั้น จากการรายงานของ Miguel et al. (2013) พบว่าเอนไซม์เหล่านี้สามารถช่วยเพิ่มปริมาตรของผลิตภัณฑ์ ลดระยะเวลาการหมัก ปรับปรุงคุณลักษณะของโดในด้านความเหนียว พฤติกรรมกรไหล และความนุ่ม และปรับปรุงคุณภาพของขนมปังในด้านเนื้อสัมผัส ลดความแน่นเนื้อ ลดอัตรา ความเก่าแก่ สร้างโครงข่ายกลูเตน ช่วยเพิ่มความเหนียวและความคงตัวของโด ลดระยะเวลาในการผสม เกิดลักษณะยืดหยุ่นของกลูเตนที่แข็งแรง เสริมการยืดขยายของโด

เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

แอลฟาอะไมเลส (Alpha-amylase) เป็นเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคไซด์ภายในสายพอลิเมอร์ของโมเลกุลสตาร์ช (Starch) และไกลโคเจน (Glycogen) โดยย่อยที่ตำแหน่งพันธะ α -(1,4)-D-glycosidic แบบสุ่ม ทำให้โมเลกุลของสตาร์ช และไกลโคเจนถูกไฮโดรไลซ์ได้น้ำตาล เช่น น้ำตาลมอลโทส (Maltose) และกลูโคส (Glucose) อย่างรวดเร็ว ซึ่งในอุตสาหกรรมขนมอบจะนิยมใช้เอนไซม์ α -Amylase มากที่สุด เนื่องจากสามารถทำให้อนุภาคของสตาร์ชถูกทำลายจนกลายเป็น Dextrins ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ โดยมี Amylose: Amylopectin เป็นสารตั้งต้น ซึ่งนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปังมากที่สุด ช่วยเพิ่มสารตั้งต้นในกระบวนการหมักส่งผลให้ปริมาณของขนมปังเพิ่มขึ้น ลดระยะเวลาในการหมัก ช่วยปรับปรุงความเหนียว และปรับปรุงพฤติกรรมการไหลของโดส่งผลให้ขนมปังนุ่มขึ้นช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมปัง และส่งผลให้เกิดน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยามেলลาร์ดช่วยในเพิ่มกลิ่นรสและสี และลดอัตราความแน่นเนื้อของขนมปังมีผลให้อัตราความเก่าแก่เกิดขึ้นได้ช้าลง



ภาพที่ 2-8 ปฏิกิริยาของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในสตาร์ช (BeMiller & Whistler, 1996)

Monfort, Blasco, Prieto, and Sanz (1996) ศึกษาผลของการเติมเอนไซม์เอนโดไซลานเนส (Endoxylanase) และเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -Amylase) ในปริมาณร้อยละ 0.0006 และ 0.001 โดยน้ำหนักแป้ง ในขนมปัง พบว่า ขนมปังที่เติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสมีปริมาณจำเพาะเพิ่มมากขึ้นและมีความแน่นเนื้อลดลงต่ำกว่าขนมปังที่ไม่มีการเติม

Kim, Mcaeda, and Morita (2006) ศึกษาผลของการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ใน ปริมาณ 300 และ 500 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม ที่มีผลต่อคุณลักษณะของโดและคุณภาพของ ขนมปังที่ทำจากแป้งขัดสี (Polished flours) ทดแทนแป้งสาลี จากผลวิจัยพบว่า การเติมเอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลส ลงในโดส่งผลให้โดมีค่า Water absorbtion ลดลง และมีค่า Mixing tolerance index เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟรินกราฟ และพบว่าเมื่อมีการเติมเอนไซม์ การเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีปริมาณจำเพาะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีขนาดเซลล์อากาศ (Gas cell size) ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) กับขนมปังที่ไม่มีการเติมเอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลส และทั้งนี้พบว่าขนมปังที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีความแน่นเนื้อ (Firmness) ลดลงต่ำกว่าขนมปังที่ไม่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

Sciarini, Ribotta, Leon, and Perecz (2012) ศึกษาผลของการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -Amylase) ในปริมาณร้อยละ 0.0006 และ 0.001 โดยน้ำหนักแป้ง ที่มีผลต่อคุณภาพ ของขนมปังปราศจากกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าว จากผลวิจัยพบว่า การเติมเอนไซม์ มีผลให้ปริมาณ จำเพาะของขนมปังเพิ่มขึ้นและสูงกว่าขนมปังที่ไม่มีเติมเอนไซม์ และมีความแน่นเนื้อ (Firmness) ลดลงต่ำกว่าขนมปังที่ไม่มีการเติมเอนไซม์ เมื่อพิจารณาถึงลักษณะ โครงสร้างเนื้อของขนมปัง พบว่า การเติมเอนไซม์ไม่ส่งผลให้มีจำนวนเซลล์อากาศ (Cell number) ขนาดเซลล์อากาศ (Cell size) และ อัตราส่วนของพื้นที่เซลล์อากาศ (Cell area) แตกต่างกับขนมปังที่ไม่มีการเติมเอนไซม์ ($p \geq 0.05$)

ไฮโดรคอลลอยด์ (Milani & Maleki, 2012)

ไฮโดรคอลลอยด์เป็นอีกหนึ่งกลุ่มที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร รูปแบบของไฮโดรคอลลอยด์ที่นำมาใช้ทั้งหมด ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ที่สกัด จากพืช สาหร่ายทะเล และเชื้อจุลินทรีย์ เช่น อนุพันธ์ของกัมจากยางพารา และการดัดแปรโพลีเมอร์ ทางชีวภาพ โดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีของเซลลูโลส การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในกระบวนการผลิตและ ผลิตภัณฑ์อาหารจะขึ้นอยู่กับหน้าที่ของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดหรืออาจใช้ร่วมกัน สำหรับใน อุตสาหกรรมขนมอบ พบว่าไฮโดรคอลลอยด์มีความสำคัญอย่างมากในการปรับปรุงคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์ขนมปังโดยใช้ในปริมาณต่ำมาก (น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนักแป้ง) มีหน้าที่ช่วยเพิ่ม ปริมาตรของขนมปังและการดูดซับน้ำ ช่วยลดความหนาแน่นและอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันของ สตาร์ช (Collar et al., 1999) ซึ่งไฮโดรคอลลอยด์มีต่อการเกิดความนุ่ม การเกิดเจล การแยกส่วน และกระบวนการเกิดรีโทรเกรเดชัน แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหลของโดและ อัตราความแก่แก่ของขนมปัง ซึ่งแบ่งกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ตามแหล่งที่มาได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

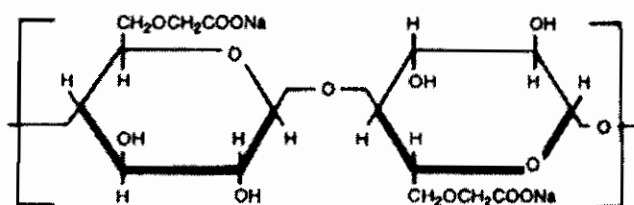
1. ไฮโดรคอลลอยด์จากพืช ได้แก่ กัมจากยางต้นพืชม (Tree gum exudates) กัมจาก เมล็ด (Seed) และกัมจากอนุพันธ์ของเซลลูโลส (Cellulose derivatives)

2. ไฮโดรคอลลอยด์จากสาหร่ายทะเล เช่น คาร์จีแนน (Carrageenan)
3. ไฮโดรคอลลอยด์จากเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แซนแทนกัม (Xanthan gum)
4. ไฮโดรคอลลอยด์จากสัตว์ เช่น ไคโตซาน (Chitosan)

อย่างไรก็ตาม Bloksma (1971) กล่าวว่าพฤติกรรมการไหลหรือคุณสมบัติพฤติกรรมการไหลของโคแป้งสาลี มีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบ ดังนั้นการใช้สารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ เป็นที่นิยมอย่างมากในการใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบ เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์มีผลในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหลของโคส่งผลต่อคุณสมบัติในเชิงคุณภาพของขนมปัง โดยส่งผลให้เกิดความอ่อนตัวในโครงสร้างสามารถจับกับน้ำได้ดี และรักษาความนุ่มของเนื้อผลิตภัณฑ์ไว้ (Armero & Collar 1996; Guarda et al., 2004) และยังช่วยลดอัตราการเกิดความเก่าแก่ที่เกิดขึ้นจากการรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ของโมเลกุลสตาร์ชอีกด้วยโดยส่งผลให้กระบวนการรีโทรเกรเดชันเกิดได้ช้าลง (Kotoki & Deka, 2010) สารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ แซนแทนกัม (Xanthan gum) คาร์จีแนน (Carrageenan) โซเดียมอัลจีเนต (Sodium alginate) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl methylcellulose) โดยใช้เติมในระดับที่ต่ำมาก (ต่ำกว่าร้อยละ 1)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี (Carboxymethyl cellulose, CMC) หรือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethylcellulose) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) คือ พอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ที่เป็นการโบไฮเดรต ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (Modified natural hydrocolloids) เกิดจากการดัดแปรคุณสมบัติของเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซีเมทิล หน้าที่ในอาหาร เป็นสารให้ความหนืด (Thickening agent) สารให้ความคงตัว (Stabilizing agent) และอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) มีโครงสร้างโมเลกุลดังภาพ



ภาพที่ 2-9 โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (นิธิยา รัตนปานนท์ และพิมพ์เพ็ญพรเฉลิมพงศ์, 2552)

Sciarini et al. (2012) ศึกษาผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แซนแทนกัม (Xanthan gum) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) คาราจีแนน (Carrageenan) และอัลจิเนต (Alginate) ในปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแป้ง ที่มีผลต่อคุณภาพของขนมปังปราศจากกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าว จอกผลวิจัยพบว่า การเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีผลให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังเพิ่มมากขึ้นและสูงกว่าขนมปังที่ไม่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ และทำให้ขนมปังมีความแน่นเนื้อ (Firmness) ลดลงและต่ำกว่าขนมปังที่ไม่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ และช่วยลดอัตราการเกิดความเก่าเก็บได้อีกด้วย เมื่อพิจารณาถึงลักษณะ โครงสร้างเนื้อของขนมปังพบว่า การเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสส่งผลให้มีจำนวนเซลล์อากาศ (Cell number) เพิ่มขึ้น มีขนาดเซลล์อากาศ (Cell size) และอัตราส่วนของพื้นที่เซลล์อากาศ (Cell area) ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้ขนมปังที่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีความสม่ำเสมอของเซลล์อากาศมากกว่าขนมปังที่ไม่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์

Maleki and Milani (2013) ศึกษาผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ 4 ชนิด ได้แก่ กัวร์กัม (Guar gum) แซนแทนกัม (Xanthan gum) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl methylcellulose) ในปริมาณร้อยละ 0.1 0.5 และ 1 โดยน้ำหนักแป้ง ในขนมปัง Brabari (Iranian bread) ซึ่งทำมาจากแป้งสาลีที่มีโปรตีนในปริมาณร้อยละ 11.29 ที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหลของโดและคุณลักษณะทางกายภาพของขนมปัง จอกผลวิจัยพบว่า การเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสส่งผลให้โดมีค่า Water absorbtion ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องฟารีโนกราฟเพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 56.7 – 63.05 และสูงกว่าโดที่ไม่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ (ร้อยละ 55.95) และพบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีผลให้โดมีค่า Water absorbtion และมีความนุ่ม (Degree of softening) ที่แสดงในหน่วย BU เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้พบว่าขนมปังที่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีปริมาตรจำเพาะอยู่ในช่วง 2.327 – 2.707 ลบ.ซม. ต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าขนมปังที่ไม่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ (1.560 ลบ.ซม. ต่อกรัม) และจากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า ขนมปังที่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีคะแนนความชอบรวมมากกว่าขนมปังที่ไม่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์

Mohammadi, Sadeghnia, Azizi, Neyestani, and Mortazavian (2013) ศึกษาผลของการเติมแซนแทนกัม (Xanthan gum) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) ในปริมาณ 5 10 และ 15 กรัมต่อกิโลกรัม เพื่อปรับปรุงคุณภาพของโดและขนมปังปราศจากกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าว จอกผลวิจัยพบว่า การเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีผลให้ขนมปังมีความแน่นเนื้อ (Firmness) ลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 6.07 – 6.81 และมีค่าต่ำกว่าขนมปังที่ไม่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ร้อยละ 26.25) และมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นด้วยอยู่ในช่วงร้อยละ 70.40 – 73.80 ซึ่งมี

ค่าสูงกว่าขนมปังที่ไม่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ร้อยละ 62.5) และส่งผลให้มีปริมาณความชื้น และค่าความสว่าง (I.*) สูงกว่าขนมปังที่ไม่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วย และทั้งนี้พบว่า การเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีผลให้เกิดเซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่ทำให้เกิดลักษณะของโพรงอากาศภายในเนื้อขนมปัง

Sim, NoorAziah, and Cheng (2013) ศึกษาการเติมสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (Non-starch polysaccharides) ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Carboxymethylcellulose, Locust bean gum และ Psyllium husk powder ปริมาณร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักแป้ง ลงในโด และหมั่นโถวมีผลให้ค่าการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของโดลดลง ซึ่งมีผลในการขึ้นฟู และความเสถียรของโดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างโดที่ไม่มีการเติมโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชให้อัตราการแผ่ขยาย (Sprad ratio) มีค่าอยู่ในช่วง 1.561–1.689 ส่วนปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) มีค่าอยู่ในช่วง 3.974–4.206 มิลลิลิตรต่อกรัม ทั้งนี้พบว่าการเติม Psyllium husk powder ในปริมาณร้อยละ 0.2 ส่งผลให้หมั่นโถวมีค่าปริมาตรจำเพาะสูงสุด (4.206 มิลลิลิตรต่อกรัม) และสูงกว่าหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมโพลีแซคคาไรด์ (4.136 มิลลิลิตรต่อกรัม) และมีอัตราการแผ่ขยายไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่พบว่าการเติมปริมาณร้อยละ 0.8 มีแนวโน้มให้ค่าอัตราการแผ่ขยาย และค่าปริมาตรจำเพาะลดลง การเติม Locust bean gum ปริมาณร้อยละ 0.8 ส่งผลให้หมั่นโถวมีปริมาตรจำเพาะสูงเท่ากับ 3.848 มิลลิลิตรต่อกรัม