บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

ตอนที่ 1 ผลของกระบวนการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนและไอน้ำที่มีต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งมันเทศสีม่วง

1.1 ผลของเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนที่มีต่อคุณสมบัติของแป้งมันเทศสีม่วง

จากผลวิเคราะห์กิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสของชิ้นมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แล้วนำแป้งมันเทศสีม่วงที่ได้จากการเตรียมมาวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสมบัติทางกายภาพ พร้อมทั้งนำมาเตรียมโดและหมั่นโถว โดยใช้แป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง แล้วนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของโดและหมั่นโถว และประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

จากการวิเคราะห์กิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสของชิ้นมันเทศสีม่วง และปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่า มันเทศที่ไม่ผ่านการลวก (0 นาที) มีกิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสส่วนที่เหลือสูงสุด ส่วนมันเทศที่ลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 2 – 8 นาที มีกิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสส่วนที่เหลือลดลงต่ำกว่าร้อยละ 10 และเมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนมีผลให้กิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสส่วนที่เหลือลดลง เป็นผลจากการลวกด้วยน้ำร้อนที่ทำให้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสถูกยับยั้งลง ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสส่วนที่เหลือในมันเทศลดลง (Manohan, & Chen Wai, 2012) ในขณะที่การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนนั้นทำให้แป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณฟีนอลิกและแอนโทไซยานินสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากการลวกเป็นการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งมีสารประกอบกลุ่มฟีนอลเป็นสารตั้งต้น มีผลให้สารประกอบฟีนอลิกไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนมีฟีนอลิกสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก ส่วนปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากการลวกนั้นทำให้กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสลดลง ส่งผลให้สารสีแอนโทไซยานินคงอยู่ (Shi, Bassa, Gabriel, & Francis, 1992) เป็นผลให้แป้งมันเทศสีม่วงที่

ไม่ผ่านการลวกปริมาณแอนโทไซยานินต่ำ ซึ่งจากการศึกษาของ Tokusoglu and Yildirim (2012) พบว่า การให้ความร้อนโดยวิธีการต้มทำให้มันเทศมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่ามันเทศที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนส่งผลให้แป้งมันเทศมีปริมาณฟีนอลิกและแอนโทไซยานินลดลง เป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดที่สามารถละลายได้ไปกับน้ำที่ใช้ลวก และคุณสมบัติของแอนโทไซยานินที่เป็นสารธรรมชาติที่ละลายน้ำได้ (Fossen et al., 1998; Dyrby et al., 2001) ทำให้สารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานินสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ลวกมีผลให้ปริมาณฟีนอลิกและแอนโทไซยานินลดลง ส่วนค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระซึ่งวัดความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH แสดงในรูปของค่า EC_{50} เป็นค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่มีผลต่อการลดจำนวนของอนุมูลอิสระลงครึ่งหนึ่งจากจำนวนอนุมูลอิสระเริ่มต้น หากมีค่า EC_{50} ต่ำแสดงถึงตัวอย่างที่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ได้สูง พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 2 – 8 นาที มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH สูงกว่า (มีค่า EC_{50} ต่ำกว่า) แป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกและปริมาณแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารต้านอนุมูล DPPH ในมันเทศเนื้อสีม่วง (Oki et al., 2002) จากการศึกษาของ Tokusoglu and Yildirim (2012) พบว่า แป้งมันเทศที่ให้ความร้อนโดยวิธีการต้มมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่แสดงในรูปของค่าการยับยั้งเท่ากับร้อยละ 89.67 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ให้ความร้อน (ร้อยละ 78.76) เมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนมีผลให้แป้งมันเทศสีม่วงมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ลดลง (มีค่า EC_{50} เพิ่มขึ้น) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งมันเทศสีม่วง

ค่าสี (L* a* และ b*) ของแป้งมันเทศสีม่วง

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แสดงดังภาพที่ 4-1 และตารางที่ 4-2 พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกน้ำร้อนเป็นเวลา 2 – 8 นาที มีสีม่วง ซึ่งมีค่า L* อยู่ในช่วง 60.15 – 61.72 ค่า a* 17.92 – 20.48 ค่า b* (-6.67) – (-8.62) ค่า h^o อยู่ในช่วง 334.83 – 341.96 องศา และค่า C* อยู่ในช่วง 19.40 – 21.54 เนื่องจากการลวกด้วยน้ำร้อนช่วยยับยั้งกิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดส จึงทำให้ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Enzymatic browning) เกิดได้น้อยลง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) ได้แป้งมันเทศที่มีสีม่วง ในขณะที่แป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวก (0 นาที) ยังคงมีกิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสอยู่ ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาลเมื่อถูกออกซิไดซ์กับออกซิเจนในอากาศเกิดสีน้ำตาลแดง และพบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนส่งผลให้แป้งมันเทศมีค่า L* เพิ่มขึ้น ค่า a* ค่า b* ค่า h^o และค่า C* ลดลง สอดคล้องกับปริมาณแอนโทไซยานินที่ลดลงเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น

ลักษณะและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชแป้งมันเทศสีม่วง

จากลักษณะและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แสดงดังภาพที่ 4-2 พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก (0 นาที) เม็ดสตาร์ชมีลักษณะรูปร่างเป็นรูปไข่ รูปวงกลม และรูปหลายเหลี่ยม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 – 25 ไมโครเมตร ทั้งนี้พบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนส่งผลให้เม็ดสตาร์ชของแป้งมันเทศสีม่วงมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยที่เวลา 2 นาที ลักษณะเม็ดสตาร์ชของแป้งมันเทศสีม่วงมีขนาดใหญ่ขึ้นจนมีขนาดประมาณ 50 – 75 ไมโครเมตร ส่วนแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมโดยการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลานานตั้งแต่ 4 6 และ 8 นาที มีผลให้เม็ดสตาร์ชมีขนาดใหญ่มากขึ้นและแตกออกจนมีขนาดมากกว่า 100 ไมโครเมตร เป็นผลมาจากความร้อนที่ใช้ในการเตรียมขั้นต้นที่ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์ เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่และแตกออกซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yadav, Guha, Tharanathan, and Ramteke (2006) พบว่า เม็ดสตาร์ชมันเทศมีรูปร่างกลมและมีขนาดประมาณ 4 – 26 ไมโครเมตร เมื่อให้ความร้อนโดยการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dried) ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชมีขนาดใหญ่ขึ้นอยู่ในช่วง 70 – 220 ไมโครเมตร และทำแห้งด้วยลมร้อน (Hot air dried) ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชมีขนาดในช่วง 40 – 130 ไมโครเมตร และพบการรวมเป็นกลุ่มก้อนของเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กเป็นจำนวนมากที่รวมกลุ่มกัน

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายน้ำแป้งมันเทศสีม่วง

จากผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แสดงดังภาพที่ 4-3 และตารางที่ 4-3 พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 2 – 8 นาที มีค่าความหนืดเริ่มต้นสูงกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวก (0 นาที) เป็นผลมาจากการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดเจลาทิไนซ์ ดูดซับน้ำและเกิดการพองตัว (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ทำให้แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนสามารถละลายและกระจายตัวได้ในน้ำที่อุณหภูมิห้องและให้ความหนืดได้โดยทันที เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสูงสุด พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 2 และ 4 นาที มีความหนืดสูงสุดต่ำกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากการลวกด้วยน้ำร้อนส่งผลให้แป้งมันเทศเกิดเจลาทิไนเซชัน และเมื่อนำมาให้ความร้อนอีกครั้งอาจทำให้เม็ดสตาร์ชไม่สามารถพองตัวได้มากเท่ากับแป้งที่ไม่ผ่านการเกิดเจลาทิไนซ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yadav et al. (2006) ศึกษาการเตรียมแป้งมันเทศโดยนำชิ้นมันเทศมาทำให้สุกด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 5 นาที และแช่ในสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นเวลา 20 นาที และทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดสูงสุดที่วัดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) ต่ำ

กว่าแป้งมันเทศที่ไม่ให้ความร้อน แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 6 และ 8 นาที ส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงมีความหนืดสูงสุดเพิ่มมากขึ้น และสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากสตาร์ชมันเทศที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 6 และ 8 นาที เกิดเจลาทิไนซ์ที่สูง จึงส่งผลให้องค์ประกอบภายในเม็ดสตาร์ชกระจายตัวออกมาได้มาก และประกอบกับแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมได้มีองค์ประกอบของมิวซิเลจ (Mucilage) (Jiang & Ramsden, 1999) ซึ่งสามารถจับกับน้ำได้และส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างมิวซิเลจกับอะไมโลสที่กระจายตัวออกมาระหว่างการเกิดเจลาทิไนซ์ทำให้เกิดการครอสลิงโครงสร้างของแป้งเปียก (Starch pastes) ทำให้เกิดความหนืดสูงขึ้น (Huang et al., 2010) ส่วนค่าความหนืดลดลง (Breakdown) พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 2 – 8 นาที มีค่าความหนืดลดลงต่ำกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก เป็นผลมาจากการเกิดเจลาทิไนซ์ที่ทำให้มีความหนืดในช่วงต้นสูง ถึงแม้ว่ามีการให้ความร้อนในระหว่างการวิเคราะห์ก็ยังคงรักษาความหนืดไว้ได้ค่อนข้างคงที่โดยไม่เปลี่ยนแปลง จึงส่งผลให้มีความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดกับความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส น้อยกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวก ทำให้แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนมีค่าความหนืดลดลงต่ำกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก ส่วนค่าความหนืดการคืนตัว (Setback) พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 6 และ 8 นาที มีความหนืดการคืนตัวเพิ่มขึ้นและสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องมา จากการเกิดเจลาทิไนซ์ในระหว่างขั้นตอนการเตรียมขั้นต้นที่ส่งผลให้อะไมโลสที่อยู่ในเม็ดสตาร์ช กระจายตัวออกมามาก และเมื่อนำมาให้ความร้อนและทำให้เย็นลงส่งผลให้เกิดรีโทรเกรเดชัน โดยโมเลกุลของอะไมโลสเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแหสามมิติ ทำให้เกิดโครงสร้างที่สามารถอุ้มน้ำได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ส่งผลให้มีความหนืดการคืนตัวสูงขึ้นเมื่อให้ความร้อนอีกครั้ง โดยแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 2 นาที มีค่าความหนืดการคืนตัวต่ำสุด เป็นผลมาจากการเกิดเจลาทิไนซ์ที่ไม่มากพอจึงส่งผลให้อะไมโลสกระจายตัวออกมาน้อย ทำให้มีค่าความหนืดการคืนตัวลดต่ำลง และสำหรับค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 6 และ 8 นาที มีค่าความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากกระบวนการเกิดเจลาทิไนเซชันมีผลให้อะไมโลสกระจายตัวออก มาได้มากขึ้น เมื่อให้ความร้อนและทำให้เย็นตัวลง ทำให้องค์ประกอบภายในเม็ดสตาร์ชที่กระจายตัวออกมาเกิดการจัดเรียงตัวใหม่มากขึ้น และเกิดอันตรกิริยาระหว่างมิวซิเลจกับสตาร์ชที่ทำให้เกิดเจลที่แข็งแรงขึ้นและมีความหนืดสูงขึ้นด้วย (Huang et al., 2010) และพบอีกว่าองค์ประกอบของไฮโดรคอลลอยด์ที่มีสามารถเกิดอันตรกิริยากับอะไมโลสที่กระจายออกมา ทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น (Sasaki, Yasui, & Matsuki, 2000; Liu, Eskin, & Cui, 2003) โดยแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวก

ด้วยน้ำร้อนที่เวลา 2 นาที มีค่าความหนืดสุดท้ายต่ำสุด เนื่องจากการลวกที่ใช้เวลาในการให้ความร้อนเพียง 2 นาที ส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงเกิดเจลาทิไนซ์เพียงเล็กน้อย ทำให้ส่วนของอะไมโลสกระจายตัวออกมาได้น้อยด้วย จึงมีค่าความหนืดสุดท้ายต่ำด้วย และทั้งนี้พบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงมีความหนืดเริ่มต้น ความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง ความหนืดการคืนตัว และความหนืดสุดท้ายเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การละลาย การดูดซับน้ำ และกำลังการพองตัว ของแป้งมันเทศสีม่วง

จากผลการวิเคราะห์ค่าการละลาย การดูดซับน้ำ และกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แสดงดังภาพที่ 4-4 และตารางที่ 4-4 4-5 และ 4-6 พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการวิเคราะห์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการละลายของแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนในทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก (0 นาที) ที่มีค่าการละลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 2 - 8 นาที มีค่าการละลายสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกในทุกอุณหภูมิที่วิเคราะห์ เนื่องจากการลวกทำให้แป้งมันเทศเกิดเจลาทิไนซ์ส่งผลให้อะไมโลสที่เป็นองค์ประกอบภายในเม็ดสตาร์ชละลายกระจายตัวออกมาได้มากกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวก ทั้งนี้พบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนทำให้แป้งมันเทศสีม่วงมีค่าการละลายลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการลวกเป็นเวลานานทำให้เกิดการเจลาทิไนซ์ที่มากส่งผลให้อะไมโลสกระจายตัวออกมามาก และสามารถเกิดอันตรกิริยากับมิวซิเลจ (Liu et al., 2006: Huang et al., 2010) ได้มากด้วย ดังนั้นเมื่อนำมาให้ความร้อนอีกครั้งจึงส่งผลให้องค์ประกอบภายในเม็ดสตาร์ชที่เหลืออยู่ละลายออกมาได้น้อยลง และเมื่อพิจารณาค่าการดูดซับน้ำและกำลังการพองตัว พบว่าที่อุณหภูมิ 30 – 65 องศาเซลเซียส แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 2 – 8 นาที มีค่าการดูดซับน้ำและกำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวก เป็นผลจากการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนที่ส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงมีคุณสมบัติการดูดซับน้ำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ของแป้งมันเทศ (75 – 80 องศาเซลเซียส) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546) แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการวิเคราะห์เป็น 75 – 95 องศาเซลเซียส แป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกมีค่าการดูดซับน้ำและกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนทำให้มีค่าการดูดซับน้ำและกำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อน ซึ่งมีค่าการดูดซับน้ำและกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการวิเคราะห์ เนื่องจากเมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้งของแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกจนถึงอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งมันเทศ (75 – 80 องศาเซลเซียส) เม็ดสตาร์ชสามารถดูดซับน้ำได้เร็วมากขึ้น โมเลกุลของสตาร์ชถูกทำลายและเกิดการพองตัวได้มากขึ้นด้วย (กล้าณรงค์ ศรีรอต

และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ในขณะที่แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 2 – 8 นาที ผ่านการให้ความร้อนจนเกิดเจลาทิไนซ์ทำให้เม็ดสตาร์ชแตกออกจึงไม่สามารถดูดซับน้ำและพองตัวได้เพิ่มมากขึ้นถึงแม้จะมีการเพิ่มอุณหภูมิ

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการแผ่ขยายของโด

จากผลการวัดความสามารถในการแผ่ขยายของโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา0 2 4 6 และ 8 นาที ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และเปรียบเทียบกับโดที่ทำจากแป้งสาลีล้วน แสดงดังภาพที่ 4-5 และตารางที่ 4-7 พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมักส่งผลให้โดมีความสามารถในการแผ่ขยายเพิ่มขึ้น เนื่องจากตลอดระยะเวลาในการหมัก ยีสต์ทำหน้าที่ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลให้โดมีปริมาตรเพิ่มขึ้น (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2552) โดยพบว่าโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 0 – 8 นาที มีปริมาตรโดที่เวลา 120 นาที และมีอัตราการแผ่ขยายของโดต่ำกว่าโดที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณกลูเตนในส่วนผสมที่ทำให้โดเกิดการขยายตัวได้ต่ำลง เนื่องจากกลูเตนมีหน้าที่ทำให้โดหลังจากผสมแป้งกับน้ำ และสามารถกักเก็บก๊าซที่เกิดจากการหมักได้ จึงทำให้โดมีปริมาตร (สุนทร สหัสโพธิ์, 2533) สอดคล้องกับงานวิจัย Wu, Sung, and Yang (2009) พบว่าโดที่มีการเติมแป้งเปียกมันเทศ (Sweet potato paste) มีปริมาตรต่ำกว่าโดที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และจากผลวิจัยพบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนส่งผลให้โดมีความสามารถในการแผ่ขยายเพิ่มมากขึ้นด้วย เป็นผลจากการเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้งมันเทศสีม่วงที่ส่งผลให้สตาร์ชดูดซับน้ำและพองตัวได้มากขึ้น ดังนั้นเมื่อผสมเป็นโดจึงสามารถอุ้มน้ำและขยายตัวได้ดี และจากการศึกษาของ Defloor, Degeest, Schellekens, Martens, and Delcour (1991) พบว่า ขนมปังที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการเติมสตาร์ชที่ผ่านการเจลาทิไนเซชันแบบเอ็กซ์ทรูชันมีปริมาตรสูงกว่าขนมปังที่ไม่มีการเติมสตาร์ชที่ผ่านการเจลาทิไนเซชันแบบเอ็กซ์ทรูชัน จึงทำให้ทราบว่าการใช้แป้งที่ผ่านกระบวนการเจลาทิไนเซชันมีผลให้ปริมาตรเพิ่มมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของหมั่นโถว

ค่าสี (L* a* และ b*) ของหมั่นโถว

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง เปรียบเทียบกับหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน แสดงดังภาพที่ 4-6 และตารางที่ 4-8 พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีค่า L*และค่า b* น้อยกว่า แต่มีค่า a* ค่า h° และค่า C* มากกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เนื่องจากแป้งมันเทศสีม่วงมีแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วง (Giusti & Wrolstad, 2003) ดังนั้นเมื่อนำแป้งมันเทศสีม่วงมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว จึง

ทำให้หมั่นโถวที่ได้มีที่แตกต่างกัน โดยหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวกมีสีน้ำตาล มีค่า L* 44.32 ค่า a* 12.44 ค่า b* 8.07 ค่า h° 33.02 องศา และค่า C* 14.82 ส่วนหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 2 – 8 นาที มีสีม่วง และมีค่า L* อยู่ในช่วง 43.06 – 45.32 ค่า a* อยู่ในช่วง 16.02 – 18.22 ค่า b* อยู่ในช่วง (-0.88) – (-6.87) ค่า h° อยู่ในช่วง 339.25 – 356.95 องศา และค่า C* อยู่ในช่วง 16.04 – 19.47 และทั้งนี้พบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนมีผลให้หมั่นโถวมีค่า L* ค่า a* และค่า C* เพิ่มขึ้น ส่วนค่า b* และค่า h° ลดลง สอดคล้องกับค่าสีของแป้งมันเทศสีม่วงที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเพิ่มเวลาในการลวกนานขึ้น

ปริมาตรจำเพาะ ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่น ของหมั่นโถว

จากผลการวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะ ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังตารางที่ 4-9 พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 0 – 8 นาที มีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เนื่องจากการใช้แป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีเป็นการลดปริมาณกลูเตน และแป้งมันเทศสีม่วงมีองค์ประกอบของเส้นใยที่ส่งผลให้การเกิดโครงสร้างกลูเตนลดลงด้วยทำให้มีปริมาตรลดลงด้วย (Chen et al., 1988) สอดคล้องกับจากการศึกษาของ Wu et al. (2009) พบว่า ขนมปังที่มีการเติมแป้งเปียกมันเทศ (Sweet potato paste) มีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และจากผลวิจัยพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนจนถึง 2 นาที ส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของหมั่นโถวเพิ่มขึ้น และหลังจากนั้นปริมาตรจำเพาะของหมั่นโถวลดลง เมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนเป็น 4 6 และ 8 นาที เนื่องจากการลวกที่นานขึ้นมีผลให้แป้งมันเทศสีม่วงเกิดเจลาทิไนซ์สูง ทำให้มีปริมาณน้ำภายในส่วนผสมมาก จึงส่งผลให้อัตราส่วนของแป้งภายในส่วนผสมซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของหมั่นโถวมีปริมาณลดลง ทำให้หมั่นโถวมีปริมาตรจำเพาะลดต่ำลงด้วย ส่วนด้านความแน่นเนื้อ พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 2 – 8 นาที ทดแทนแป้งสาลี มีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เป็นผลมาจากการเติมแป้งมันเทศสีม่วงที่ส่งผลให้ปริมาณกลูเตนลดลงและทำให้โครงสร้างที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรงต่ำ อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยพบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกมีความแน่นเนื้อสูงกว่าหมั่นโถวที่จากแป้งสาลีล้วน เนื่องจากแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวกมีความสามารถในการดูดซับน้ำและพองตัวได้ต่ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ จึงส่งผลให้มีปริมาณน้ำในส่วนผสมต่ำด้วย ทำให้หมั่นโถวมีโครงสร้างที่แข็งแน่นขึ้น และทั้งนี้พบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกให้นานขึ้นส่งผลให้หมั่นโถวมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) และด้านความยืดหยุ่น พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 0 – 8 นาที มีค่าความยืดหยุ่นสูงกว่า

หมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เนื่องจากหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณกลูเตนลดลง ทำให้โครงสร้างของหมั่นโถวมีความแข็งแรงต่ำจึงส่งผลให้มีค่าแรงต้านทานต่อการเสียสภาพน้อย ทำให้มีค่าแรงที่ต้องการในการคืนตัวน้อยด้วย และเมื่อคำนวณค่าความยืดหยุ่นส่งผลให้หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีความยืดหยุ่นสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และพบว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 2 – 8 นาที มีความยืดหยุ่นสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกมีโครงสร้างที่แน่นและแข็งจึงทำให้มีความยืดหยุ่นต่ำลงด้วย และทั้งนี้พบว่า การเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนส่งผลให้หมั่นโถวมีปริมาตรจำเพาะลดลงและมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของหมั่นโถว ($p \geq 0.05$) เนื่องจากการเพิ่มเวลาในการลวกมีผลให้แป้งมันเทศสีม่วงเกิดเจลาทิไนเซชันได้มาก ทำให้แป้งมันเทศสีม่วงดูดซับน้ำและพองตัวได้มาก มีปริมาณน้ำภายในส่วนผสมมากขึ้นด้วยมีผลให้ปริมาตรจำเพาะลดลง และมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหมั่นโถว

จากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมโดยการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที ทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังตารางที่ 4-10 พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 6 นาที มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีสูงสุดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีซึ่งมีสีม่วง เป็นลักษณะของหมั่นโถวแบบใหม่ที่ผู้ทดสอบให้ความสนใจไม่น้อยกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ในขณะที่หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 6 และ 8 นาที มีความชอบในด้านกลิ่นและรสชาติสูงสุดโดยไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เป็นผลจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลานาน ทำให้หมั่นโถวที่ได้มีกลิ่นหอมและมีรสหวานของมันเทศอยู่ ทำให้ผู้ทดสอบชอบกลิ่นและรสชาติของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ผ่านการลวกมากกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และยังพบว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 และ 6 นาที มีความชอบในด้านเนื้อสัมผัสและความชอบรวมสูงสุดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เนื่องจากหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 และ 6 นาที มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่น และมีความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ มากกว่าหมั่นโถวสูตรอื่น ๆ จึงทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบรวมของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 และ 6 นาที สูงสุดด้วย และทั้งนี้พบว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกมีคะแนนความชอบในทุกด้านต่ำสุด เนื่องจากหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกมีสีน้ำตาลและมีขนาดเล็ก โดยไม่มีกลิ่นหอมของมันเทศสุกทำให้ผู้ทดสอบมีความชอบลดลง

ผลการคัดเลือกเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งมันเทศสีม่วง

จากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 และ 6 นาที มีคะแนนความชอบรวมสูงสุดโดยไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันเทศ พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 นาที มีปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 6 นาที เป็นผลมาจากวิธีการให้ความร้อนโดยการลวกด้วยน้ำร้อนซึ่งเป็นวิธีการให้ความร้อนแบบโดยตรงส่งผลให้องค์ประกอบของฟีนอลิกบางชนิดและแอนโทไซยานินที่สามารถละลายน้ำได้สูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ลวกเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่า เวลาที่เหมาะสมในลวกด้วยน้ำร้อนของแป้งมันเทศสีม่วง คือ ที่เวลา 4 นาที

1.2 ผลของเวลาในการลวกด้วยไอน้ำที่มีต่อคุณสมบัติของแป้งมันเทศสีม่วง

จากผลวิเคราะห์กิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสของชิ้นมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แล้วนำแป้งมันเทศสีม่วงที่ได้จากการเตรียมมาวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสมบัติทางกายภาพ พร้อมทั้งนำมาเตรียมโดและหมั่นโถวโดยใช้แป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง แล้วนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของโดและหมั่นโถว และประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

จากการวิเคราะห์กิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสของชิ้นมันเทศสีม่วง และปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แสดงดังตารางที่ 4-11 พบว่า มันเทศที่ไม่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำมีกิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสส่วนที่เหลือสูงสุด และเมื่อลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 นาที มีกิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสส่วนที่เหลือลดลงเท่ากับร้อยละ 83.26 และเมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 4 – 8 นาที มีผลให้กิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสส่วนที่เหลือลดลงต่ำกว่าร้อยละ 10 จากผลการทดลองในข้อ 1.1 พบว่าการลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 2 นาที มีผลให้ค่ากิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสส่วนที่เหลือลดลงต่ำกว่าร้อยละ 10 แต่พบว่าการลวกด้วยไอน้ำนั้นต้องใช้เวลานานตั้งแต่ 4 นาที จึงจะมีค่ากิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสส่วนที่เหลือลดลงต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยจากการศึกษาของ Ioannou and Ghoul (2013) พบว่า การเตรียมขั้นต้นเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้โดยวิธีการลวกด้วยไอน้ำนั้นจำเป็นต้องใช้เวลาในการ

ให้ความร้อนมากกว่าวิธีการลวกด้วยน้ำร้อนประมาณร้อยละ 20 – 40 และขณะที่การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 4 – 8 นาที มีผลให้แป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณฟีนอลิก และปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก และแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 นาที และพบว่าเมื่อการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกและปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องจากการลวกเป็นเวลานานนอกจากจะเป็นการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส แล้วยังอาจทำให้เกิดการสลายพันธะไกลโคไซด์ที่ยึดสารประกอบฟีนอลิกกับโมเลกุลอื่น ทำให้สารประกอบ ฟีนอลิกถูกปลดปล่อยออกมามีผลให้ฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้น (Dincer et al., 2011) สำหรับในแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกและแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 นาที พบว่ามีปริมาณฟีนอลิกและแอนโทไซยานินต่ำ อาจเกิดจากการให้ความร้อนที่ไม่เพียงพอจึงทำให้กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสยังคงอยู่ ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำให้ปริมาณฟีนอลิกที่เป็นสารตั้งต้นลดน้อยลง (Dincer et al., 2011) จากการศึกษาของ Yang and Gadi (2008) พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมโดยการนึ่งด้วยไอน้ำ และทำแห้งด้วยลมร้อนมีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ให้ความร้อน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Steed and Truong (2008) พบว่า มันเทศสีม่วงสไลด์ที่ให้ความร้อนโดยการนึ่งด้วยไอน้ำมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 83.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง มีค่าสูงกว่ามันเทศสีม่วงสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (68.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง) ส่วนกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระพบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 4 – 8 นาที มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH สูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก และแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tokusoglu and Yildirim (2012) พบว่า มันเทศที่ให้ความร้อนโดยวิธีการต้มและการนึ่งด้วยไอน้ำมีค่า EC_{50} ต่ำ ซึ่งมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ให้ความร้อน และพบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกและแอนโทไซยานินที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการลวก ซึ่งจากการศึกษาของ Huang et al. (2006) พบว่า มันเทศที่ให้ความร้อนด้วยวิธีการนึ่งด้วยไอน้ำมีปริมาณฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งมันเทศสีม่วง

ค่าสี (L* a* และ b*) ของแป้งมันเทศสีม่วง

จากการวิเคราะห์ค่าสีของแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แสดงดังภาพที่ 4-7 และตารางที่ 4-12 ซึ่งพบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ และแป้งมันเทศที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 นาที มีสีน้ำตาลซึ่งมีค่า L* อยู่ในช่วง 41.76 – 44.14 ค่า a* อยู่ในช่วง 12.07 – 12.24 ค่า b* อยู่ในช่วง 8.07 – 9.47 ค่า h° อยู่ในช่วง 33.33 – 38.10 องศา และค่า C* อยู่ในช่วง 14.67 – 15.35 เป็นผลมาจากการให้ความร้อนที่ไม่เพียงพอจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) ส่วนแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 4 6 และ 8 นาที มีสีม่วง โดยมีค่า L* อยู่ในช่วง 42.99 – 45.51 ค่า a* อยู่ในช่วง 16.92 – 17.87 ค่า b* อยู่ในช่วง (-2.46) – (-4.79) ค่า h° อยู่ในช่วง 345.19 – 351.70 องศา และค่า C* อยู่ในช่วง 14.67 – 18.48 เนื่องมาจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสถูกยับยั้ง ทำให้ปฏิกิริยาสีน้ำตาลเกิดได้น้อยลง ทำให้แป้งมันเทศที่ได้มีสีม่วงตามสีของแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสีรงควัตถุของมันเทศเนื้อสีม่วง (Giusti & Wrolstad, 2003) และเมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำมีผลให้แป้งมันเทศสีม่วงมีค่า L* และค่า b* ลดลง ส่วนค่า a* ค่า h° และค่า C* เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับปริมาณแอนโทไซยานินที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการลวก

ลักษณะและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชแป้งมันเทศสีม่วง

จากลักษณะและรูปร่างของเม็ดแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แสดงดังภาพที่ 4-8 พบว่า ลักษณะเม็ดสตาร์ชของแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ มีลักษณะเป็นรูปไข่ รูปวงกลม และรูปหลายเหลี่ยม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 – 25 ไมโครเมตร และพบว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 นาที มีลักษณะเม็ดสตาร์ชที่ใกล้เคียงกับแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก และเมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำมีผลให้เม็ดสตาร์ชพองตัวขนาดใหญ่ขึ้น โดยแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 4 นาที เม็ดสตาร์ชมีขนาดใหญ่ประมาณ 100 ไมโครเมตร ส่วนแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 6 และ 8 นาที เม็ดสตาร์ชมีขนาดใหญ่ขึ้นและแตกออกจนมีขนาดมากกว่า 100 ไมโครเมตร เป็นผลมาจากการให้ความร้อนโดยการลวกด้วยไอน้ำที่ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์ เปลี่ยนแปลงรูปร่าง ดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวจนแตกออก

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายน้ำแป้งมันเทศสีม่วง

จากผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แสดงดังภาพที่ 4-9 และตารางที่ 4-13 พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 – 8 นาที มีค่าความหนืดเริ่มต้นสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ (0 นาที) เป็นผลจากการลวกด้วยไอน้ำที่ส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงเกิดเจลาทิไนซ์ ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชดูดซับน้ำและเกิดการพองตัว (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงที่ได้เกิดความหนืดได้โดยทันทีที่อุณหภูมิห้อง เมื่อพิจารณาความหนืดสูงสุด พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 4 และ 6 นาที มีค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากการเตรียมโดยการให้ความร้อนส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงเกิดการเจลาทิไนซ์ เมื่อนำมาให้ความร้อนอีกครั้งอาจทำให้เม็ดสตาร์ชไม่สามารถพองตัวได้ดี เป็นผลให้มีความหนืดต่ำกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yadav et al. (2006) พบว่า แป้งมันเทศที่เตรียมโดยนำชิ้นมันเทศนึ่งด้วยไอน้ำให้สุกเป็นเวลา 5 นาที และแช่ในสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นเวลา 20 นาที ทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส มีความหนืดสูงสุดต่ำกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ให้ความร้อน ส่วนแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 8 นาที พบว่ามีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากสตาร์ชมันเทศที่ลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลานานเกิดเจลาทิไนซ์ที่สูง ส่งผลให้อะไมโลสที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ชกระจายออกมาได้มาก และเนื่องจากแป้งมันเทศมีมิวซิเลจและไฮโดรคอลลอยด์เป็นองค์ประกอบซึ่งมีความสามารถจับกับน้ำได้ เป็นผลให้เกิดอันตรกิริยากับอะไมโลสที่กระจายตัวออกมา จึงส่งผลให้ให้เกิดการครอสลิงโครงสร้างที่มีผลต่อความหนืด (Liu et al., 2006; Huang et al., 2010) ทำให้มีค่าความหนืดสูงขึ้น ส่วนความหนืดลดลง (Breakdown) พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 – 8 นาที มีความหนืดลดลงต่ำกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก แสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาร์ชของแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำมีความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส น้อยกว่าเม็ดสตาร์ชของแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก เป็นผลมาจากการลวกด้วยไอน้ำที่ส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงมีความหนืดในช่วงต้นสูง และสามารถรักษาความหนืดได้ค่อนข้างคงที่โดยไม่เปลี่ยนแปลงแม้มีการให้ความร้อนในระหว่างการวิเคราะห์ ทำให้ค่าความหนืดลดลงของแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำต่ำกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก ส่วนความหนืดการคืนตัว (Setback) พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 4 6 และ 8 นาที มีความหนืดการคืนตัวสูงกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากการเกิดเจลาทิไนซ์ที่ส่งผลให้อะไมโลสกระจายตัวออกมาได้มาก ดังนั้นเมื่อนำมาให้ความร้อนและทำให้เย็นลงจึงเกิดรีโทรเกรเดชันซึ่งมีผลให้ค่าความหนืดการคืนตัวสูงขึ้น และพบว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำ

ที่เวลา 2 นาที มีค่าความหนืดการคืนตัวต่ำสุด อาจเป็นผลจากการเกิดเจลาทิไนเซชันในระหว่างการลวกด้วยไอน้ำที่ไม่มากพอส่งผลให้อะไมโลสกระจายตัวออกมาได้น้อย จึงทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันได้น้อยด้วยจึงมีค่าความหนืดการคืนตัวต่ำ และสำหรับความหนืดสุดท้าย พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 4 6 และ 8 นาที มีค่าความหนืดสุดท้ายสูงกว่าแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากการลวกด้วยไอน้ำทำให้อะไมโลสที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ชกระจายตัวออกมาได้มาก เมื่อนำมาให้ความร้อนและทำให้เย็นตัวลง ทำให้อะไมโลสที่กระจายตัวออกมาเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้มากขึ้นและเกิดเจลที่มีความหนืดสูง และนอกจากนั้นยังเกิดจากการครอสลิงหลังจากเกิดเจลของอะไมโลสที่กระจายตัวออกมากับมิวซีเลจ (Liu et al., 2006; Huang et al., 2010) และแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 นาที ซึ่งมีค่าความหนืดสุดท้ายต่ำสุด อาจเนื่องมาจากการให้ความร้อนที่ไม่นานพอส่งผลให้โมโลกุลของอะไมโลสกระจายตัวออกมาได้น้อยจึงเกิดรีโทรเกรเดชันได้น้อย ลงเป็นผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายต่ำลงด้วย และทั้งนี้พบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำทำให้แป้งมันเทศสีม่วงมีความหนืดเริ่มต้น ความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง ความหนืดการคืนตัว และความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เป็นผลจากการให้ความร้อนเป็นเวลา นานที่ทำให้แป้งมันเทศสีม่วงเกิดเจลาทิไนซ์มากขึ้น ทำให้เม็ดสตาร์ชดูดซับน้ำและพองตัวได้มากได้แป้งเปียกที่มีความหนืดสูงขึ้น สามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากด้วย นอกจากนั้นยังเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างอะไมโลสกับมิวซิเลจและอันตรกิริยาระหว่างอะไมโลสกับไฮโดรคอลลอยด์ที่ส่งผลให้แป้งเปียกมีความหนืดสูงขึ้น (Liu et al., 2006; Huang et al., 2010)

การละลาย การดูดซับน้ำ และกำลังการพองตัว ของแป้งมันเทศสีม่วง

จากผลการวิเคราะห์ค่าการละลาย การดูดซับน้ำ และกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้น โดยการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที แสดงดังภาพที่ 4-10 และตารางที่ 4-14 4-15 และ 4-16 พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการวิเคราะห์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการละลายของแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้น โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการวิเคราะห์ทำให้แป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก (0 นาที) และแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 นาที มีค่าการละลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกมีค่าการละลายต่ำสุด เนื่องจากอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ของแป้งมันเทศอยู่ในช่วง 75 – 80 องศาเซลเซียส (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในการวิเคราะห์จนถึงช่วงเจลาทิไนซ์ส่งผลให้สตาร์ชของแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกและแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 นาที ละลายและกระจายตัวออกมาได้มาก และเมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 4 6 และ 8 นาที ทำให้ค่าการละลายของแป้งมันเทศสีม่วงลดลง โดยแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 6 และ 8 นาที มีค่าการละลายไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) เนื่องจากการเกิดเจลาทิไนเซชันที่สูงส่งผลให้

อะไมโลสกระจายตัวออกมาได้มาก ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนอีกครั้งส่งผลให้อะไมโลสที่เหลืออยู่ภายในเม็ดสตาร์ชละลายได้น้อยลงด้วย และเมื่อพิจารณาค่าการดูดซับน้ำและกำลังการพองตัว พบว่า ที่อุณหภูมิในช่วง 30 – 65 องศาเซลเซียส แป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวกและแป้งมันเทศที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 นาที มีค่าการดูดซับน้ำและกำลังการพองตัวต่ำกว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 4 6 และ 8 นาที เนื่องจากการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลาตั้งแต่ 4 นาที เป็นต้นไป ส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงเกิดเจลลาทิไนซ์ ทำให้เม็ดแป้งสามารถดูดซับน้ำและพองตัวได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ของแป้งมันเทศ (75 – 80 องศาเซลเซียส) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการวิเคราะห์อยู่ในช่วง 75 – 95 องศาเซลเซียส พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก และแป้งมันเทศที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 นาที มีค่าการดูดซับน้ำและกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนทำให้มีค่าการดูดซับน้ำและกำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 4 6 และ 8 นาที ซึ่งมีค่าการดูดซับน้ำและกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการวิเคราะห์ เนื่องจากเมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้งของแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกและแป้งมันเทศที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 นาที จนถึงอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ของแป้งมันเทศ (75 – 80 องศาเซลเซียส) ทำให้เม็ดสตาร์ชดูดซับน้ำได้เร็วขึ้นและเกิดการพองตัวได้มากขึ้นด้วย (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ในขณะที่แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 – 8 นาที ผ่านการให้ความร้อนจนเกิดเจลาทิไนซ์ซึ่งทำให้เม็ดสตาร์ชแตกออก ไม่สามารถดูดซับน้ำและพองตัวได้เพิ่มขึ้นถึงแม้จะมีการเพิ่มอุณหภูมิ

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการแผ่ขยายของโด

จากผลการวัดความสามารถในการแผ่ขยายของโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที ทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังภาพที่ 4-11 และตารางที่ 4-17 พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาการหมักส่งผลให้โดมีความสามารถในการแผ่ขยายเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระหว่างการหมักยีสต์ทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเก็บไว้ในโด ทำให้โดมีปริมาตรเพิ่มขึ้น (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2552) โดยพบว่าโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 0 – 4 นาที มีปริมาตรโดที่เวลา 120 นาที และมีอัตราการแผ่ขยายของโดต่ำกว่าโดที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ซึ่งเป็นผลจากการใช้แป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีทำให้ปริมาณกลูเตนในส่วนผสมลดลงส่งผลให้โดมีการขยายตัวได้ต่ำลงด้วย (สุนทร สหัสโพธิ์, 2533) แต่อย่างไรก็ตามโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 6 และ 8 นาที มีค่าปริมาตรโดที่เวลา 120 นาที และมีอัตราการแผ่ขยายของโดไม่แตกต่างกับโดที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เนื่องจากการลวกที่เวลา 6 และ 8 นาที สตาร์ชของแป้งมันเทศ

สีม่วงเกิดเจลาทิไนเซชันได้มาก จึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำและพองตัวได้มากขึ้น ดังนั้น เมื่อผสมเป็นโดจึงสามารถอุ้มน้ำและขยายตัวได้ดี จึงทำให้โดสามารถกักเก็บก๊าซในระหว่างการหมักและขึ้นฟูได้ดีด้วย และพบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำส่งผลให้โดมีความสามารถในการแผ่ขยายเพิ่มมากขึ้นด้วย

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของหมั่นโถว

ค่าสี (L* a* และ b*) ของหมั่นโถว

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังภาพที่ 4-12 และตารางที่ 4-18 พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 0 – 8 นาที มีค่า L* และค่า b* น้อยกว่า แต่มีค่า a* และค่า C* มากกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เป็นผลมาจากการใช้แป้งมันเทศสีม่วง โดยพบว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวก และหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 นาที มีสีน้ำตาลซึ่งมีค่า L* อยู่ในช่วง 41.76 – 44.14 ค่า a* อยู่ในช่วง 12.07 – 12.24 ค่า b* อยู่ในช่วง 8.07 – 9.47 ค่า h° อยู่ในช่วง 33.33 – 38.10 องศา และค่า C* อยู่ในช่วง 14.67 – 15.35 ส่วนหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 4 6 และ 8 นาที มีสีม่วงซึ่งมีค่า L* อยู่ในช่วง 42.99 – 45.51 ค่า a* อยู่ในช่วง 16.92 – 17.87 ค่า b* อยู่ในช่วง (-2.46) – (-4.79) ค่า h° อยู่ในช่วง 345.19 – 351.70 องศา และค่า C* อยู่ในช่วง 14.67 - 18.48 สอดคล้องกับสีของแป้งมันเทศสีม่วง และพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำมีผลให้ค่า L* ค่า a* และค่า C* เพิ่มขึ้น ส่วนค่า b* ลดลง เนื่องจากมีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้หมั่นโถวมีค่าสีที่แตกต่างกัน

ปริมาตรจำเพาะ ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่น ของหมั่นโถว

จากผลการวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะ ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่น ของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังตารางที่ 4-19 พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 0 – 8 นาที มีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เนื่องจากการลดลงของปริมาณกลูเตนที่ส่งผลให้มีปริมาตรจำเพาะลดลงด้วย ประกอบกับแป้งมันเทศสีม่วงมีเส้นใยเป็นองค์ประกอบขัดขวางการเกิดโครงข่ายกลูเตน จึงทำให้มีปริมาตรน้อยลง (Chen et al., 1988) โดยพบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 0 2 และ 4 นาที ส่งผลให้หมั่นโถวมีปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากการเกิดการเจลาทิไนซ์ของแป้งมันเทศสีม่วงที่ส่งผลให้โดมีความยืดหยุ่นกักเก็บก๊าซได้ดีขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 6 และ 8 นาที ส่งผลให้หมั่นโถวมีปริมาตรจำเพาะลดลงโดยไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เนื่องจากในสูตรที่ใช้

แป้งมันเทศที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 6 และ 8 นาที ใช้ปริมาณน้ำในสูตรมากกว่าสูตรอื่น ๆ เพราะแป้งมันเทศที่ผ่านการลวกเป็นเวลานานทำให้เกิดเจลลาทิไนซ์ได้มากและดูดซับน้ำได้มาก ซึ่งทำให้ต้องใช้น้ำในส่วนผสมมากกว่าสูตรอื่น การมีอัตราส่วนของน้ำมากมีผลให้มีอัตราส่วนของแป้งภายในส่วนผสมปริมาณลดลง ส่งผลให้หมั่นโถวที่ได้มีปริมาตรจำเพาะลดต่ำลง ส่วนด้านความแน่นเนื้อพบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงเป็นเวลา 0 8 นาที มีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีความแข็งแรงต่ำทำให้มีแรงต้านการเสียสภาพน้อยด้วย ยกเว้นหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกมีความแน่นเนื้อสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เป็นผลมาจากคุณสมบัติของแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่ผ่านการลวกที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำและพองตัวได้ต่ำทำให้ใช้น้ำในส่วนผสมน้อย เป็นผลให้หมั่นโถวมีความแน่นเนื้อสูงขึ้น และด้านความยืดหยุ่น พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่เวลา 0 – 8 นาที มีความยืดหยุ่นสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เนื่องจากหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณกลูเตนลดลง ทำให้โครงสร้างของหมั่นโถวมีความแข็งแรงต่ำ ทำให้มีค่าแรงที่ใช้ในการคืนตัวหลังผ่านการกดต่ำด้วย เมื่อคำนวณค่าความยืดหยุ่นส่งผลให้หมั่นโถวแป้งมันเทศสีม่วงมีความยืดหยุ่นสูงกว่าหมั่นโถวจากแป้งสาลีล้วน และพบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำมีผลให้หมั่นโถวค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น โดยการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 4 6 และ 8 นาที ทำให้มีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้สรุปได้ว่า การเพิ่มเวลาในการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 4 6 และ 8 นาที ส่งผลให้หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาตรจำเพาะและมีค่าความแน่นเนื้อลดลง แต่ไม่มีผลต่อความยืดหยุ่นของหมั่นโถว ซึ่งการที่หมั่นโถวมีความแน่นเนื้อน้อยลงเนื่องจากการเกิดเจลาทิไนซ์ทำให้แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงสามารถดูดซับน้ำและพองตัวได้มากขึ้น จึงส่งผลให้มีปริมาณน้ำในส่วนผสมมากขึ้น ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงน้อยลง และมีแรงต้านต่อการเสียสภาพน้อยด้วย

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหมั่นโถว

จากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที ทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังตารางที่ 4-20 พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏสูงสุด รองลงมาคือ หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 6 และ 8 นาที มีคะแนนความชอบโดยไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เนื่องจากหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำมีขนาดเล็กกว่า ทำให้ผู้ทดสอบชอบลักษณะปรากฏของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนมากที่สุด อย่างไรก็ตามหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนและหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 6 และ 8 นาที มีคะแนนความชอบด้านสีสูงสุดไม่แตกต่าง

กัน ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบชอบหมั่นโถวแบบใหม่ซึ่งมีสีม่วงไม่แตกต่างจากหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนซึ่งมีสีขาวครีม ในขณะที่หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 6 และ 8 นาที มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงสุดไม่แตกต่างกันด้วย ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบชอบกลิ่นหอมของมันเทศที่เกิดจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำ และชอบมากกว่ากลิ่นของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ส่วนในด้านรสชาติ พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนและหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 4 6 และ 8 นาที มีคะแนนความชอบสูงสุดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แสดงให้ เห็นว่าผู้ทดสอบชอบรสชาติของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำ เนื่องจากมีกลิ่นหอมและมีรสหวานของมันเทศ และชอบไม่แตกต่างกับรสชาติของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนในสูตรดั้งเดิม หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 6 และ 8 นาที มีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบรวมสูงสุดโดยไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เนื่องจากหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลานานมีความแน่นเนื้อต่ำและมีความยืดหยุ่นสูง อาจส่งผลให้ผู้ทดสอบเกิดความชอบมากกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนซึ่งมีเนื้อสัมผัสที่แน่นและมีความยืดหยุ่นต่ำ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองการประเมินทางประสาทสัมผัส แสดงให้เห็นว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 2 นาที มีคะแนนความชอบทุกด้านต่ำสุด เนื่องจากหมั่นโถวที่ได้มีขนาดเล็กและมีสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นแปลกปลอมโดยไม่มีกลิ่นหอมและรสหวานของมันเทศทำให้ผู้ทดสอบมีความชอบลดลง

ผลการคัดเลือกเวลาในการลวกด้วยไอน้ำที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งมันเทศสีม่วง

จากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 6 และ 8 นาที มีความชอบรวมสูงสุดโดยไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) และเมื่อพิจารณาด้านสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันเทศ พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 8 นาที มีปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 6 นาที ดังนั้นสรุปได้ว่า เวลาที่เหมาะสมในลวกด้วยไอน้ำของแป้งมันเทศสีม่วง คือ ที่เวลา 8 นาที

1.3 ผลการคัดเลือกวิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมแป้งมันเทศสีม่วง

จากผลการการเปรียบเทียบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนและไอน้ำ พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 8 นาที มีปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นด้วยการลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งการใช้วิธีการให้ความร้อนที่แตกต่างกันโดยวิธีการลวกด้วยไอน้ำนั้นขึ้นตัวอย่างไม่

สัมผัสกับน้ำที่ใช้ลวกโดยตรง มีผลให้คุณค่าทางโภชนาการยังคงอยู่และเกิดการสูญเสียในปริมาณน้อย ส่งผลให้แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนไอน้ำมีปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อน ดังนั้นสรุปได้ว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 8 นาที มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ศึกษาในตอนที่ 2 ต่อไป

ตอนที่ 2 ผลการหาปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงที่เหมาะสมในการผลิตหมั่นโถว

เตรียมโดและหมั่นโถวโดยใช้แป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือร้อยละ 0 15 30 45 และ 60 โดยน้ำหนักแป้ง โดยใช้แป้งมันเทศสีม่วงที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 8 นาที ได้จากการคัดเลือกในตอนที่ 1 แล้ววิเคราะห์ความสามารถในการแผ่ขยายของโด และนำหมั่นโถวมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการแผ่ขยายของโด

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการแผ่ขยายของโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 0 15 30 45 และ 60 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังภาพที่ 4-13 และตารางที่ 4-22 พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมักส่งผลให้โดมีความสามารถในการแผ่ขยายเพิ่มขึ้น เป็นผลจากการหมักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพีเอชทำให้กลูเตนอ่อนตัวลง โดเกิดการขยายตัวและกักเก็บก๊าซจนมีปริมาตรเพิ่มขึ้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2546) โดยพบว่าโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลี มีปริมาตรโดที่เวลา 120 นาที และมีอัตราการแผ่ขยายของโดต่ำกว่าโดที่ไม่มีการเติมแป้งมันเทศสีม่วงซึ่งทำจากแป้งสาลีล้วน (0%) เนื่องจากการลดลงของปริมาณกลูเตนมีผลให้ปริมาตรโดลดลงด้วย ยกเว้นโดทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 15 มีปริมาตรโดที่เวลา 120 นาที และมีอัตราการแผ่ขยายของโดสูงสุดและสูงกว่าโดที่ทำมาจากแป้งสาลีล้วน ทั้งนี้การใช้แป้งมันเทศทดแทนในปริมาณน้อย ซึ่งปริมาณกลูเตนที่มีอยู่สามารถเกิดเป็นโครงสร้างเก็บอากาศได้ ประกอบการผสมแป้งมันเทศสีม่วงที่มีปริมาณน้ำตาลสูง (Salunkhe & Kadam, 1998) ส่งผลให้ยีสต์สามารถทำงานได้ดีจึงผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาได้มาก ทำให้โดมีปริมาตรเพิ่มขึ้น และพบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงมีผลให้ปริมาตรโดที่เวลา 120 นาที และอัตราการแผ่ขยายของโดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงส่งผลให้ปริมาณกลูเตนในส่วนผสมลดลง ดังนั้นเมื่อมีปริมาณกลูเตนลดลงจะส่งผลให้โดมีการขยายตัวได้ต่ำลงด้วย (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2546)

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของหมั่นโถว

ค่าสี (L* a* และ b*) ของหมั่นโถว

จากการวิเคราะห์ค่าสีของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 0 15 30 45 และ 60 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังภาพที่ 4-14 ตารางที่ 4-23 พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 15 - 60 โดยน้ำหนักแป้ง มีสีม่วงถึงม่วงอ่อน มีค่า L * อยู่ในช่วง 26.21 – 55.93 ค่า a* อยู่ในช่วง 15.05 – 18.45 ค่า b* อยู่ในช่วง (-1.58) – (-6.74) ค่า h^{o} อยู่ในช่วง 339.16 – 354.06 องศา และค่า C* อยู่ในช่วง 15.14 – 19.42 ซึ่งมีค่า L* และค่า b* น้อยกว่า แต่มีค่า a* ค่า h^{o} และค่า C* มากกว่าหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมแป้งมันเทศสีม่วงซึ่งทำจากแป้งสาลีล้วน เป็นผลมาจากการใช้แป้งมันเทศสีม่วงที่ส่งผลให้หมั่นโถวที่ได้มีสีม่วงถึงม่วงแดง เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารที่มีสีแดง ม่วง หรือสีน้ำเงิน (Giusti & Wrolstad, 2003) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในแป้งมันเทศสีม่วง ทั้งนี้แป้งมันเทศสีม่วงที่ใช้มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 1.65 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแป้ง และเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงส่งผลให้หมั่นโถวมีค่า L* ค่า b* และค่า h^{o} ลดลง ส่วนค่า a* และค่า C* เพิ่มมากขึ้น เป็นผลมาจากปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงที่เพิ่มขึ้น

ปริมาตรจำเพาะ ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่น ของหมั่นโถว

จากผลการวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะ ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่น ของของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 0 15 30 45 และ 60 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังตารางที่ 4-24 พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 15 - 60 โดยน้ำหนักแป้ง มีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมแป้งมันเทศสีม่วงซึ่งทำจากแป้งสาลีล้วน (0%) และพบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงมีผลให้ปริมาตรจำเพาะต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการใช้แป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีทำให้กลูเตนในส่วนผสมลดลงมีผลให้ปริมาตรจำเพาะลดลงด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Greene and Bovell-Benjamin (2004) พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 50 – 65 โดยน้ำหนักแป้ง ทำให้ขนมปังมีปริมาตรลดลง และจากการศึกษาของ Wu et al. (2009) พบว่า ขนมปังที่มีการเติมแป้งเปียกมันเทศ (Sweet potato paste) ปริมาณร้อยละ 5 – 30 โดยน้ำหนักแป้ง มีปริมาตรต่ำกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วน อย่างไรก็ตามเป็นที่สังเกตได้ว่า โดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 15 มีปริมาตรโดมากกว่าโดที่ทำจากแป้งสาลีล้วน แต่เมื่อนำมานึ่งเป็นหมั่นโถวทำให้หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงปริมาณร้อยละ 15 มีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการมีปริมาณกลูเตนลดลงทำให้โดไม่สามารถทนต่อแรงดันไอน้ำและการขยายตัวของก๊าซในระหว่างการนึ่งได้ จึงทำให้ปริมาตรของ

หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 15 ต่ำกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ส่วนด้านความแน่นเนื้อ พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 15 และ 30 มีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณกลูเตนในส่วนผสม ทำให้โครงสร้างของหมั่นโถวมีความแข็งแรงน้อยลงและสามารถยุบตัวได้ง่าย จึงต้านทานแรงกดได้น้อยซึ่งให้ค่าความแน่นเนื้อต่ำลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 45 และ 60 ส่งผลให้หมั่นโถวมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในส่วนผสมมีปริมาณมาก ทำให้หมั่นโถวมีปริมาตรจำเพาะต่ำและเกิดการขยายตัวได้น้อย มีโครงสร้างภายในแข็งและแน่น ส่งผลให้หมั่นโถวมีความแน่นเนื้อสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hathorn et al. (2008) พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศจากปริมาณร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 65 โดยน้ำหนักแป้ง ทำให้ขนมปังมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และจากการศึกษาของ Wu et al. (2009) พบว่า ขนมปังที่มีการเติมแป้งเปียกมันเทศปริมาณร้อยละ 5 – 30 โดยน้ำหนักแป้ง มีความแน่นเนื้อเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในด้านความยืดหยุ่น พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงปริมาณร้อยละ 15 – 60 มีความยืดหยุ่นสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เนื่องจากหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณกลูเตนลดลง ส่งผลให้โครงสร้างของหมั่นโถวมีความแข็งแรงน้อยจึงมีแรงต้านต่อการเสียสภาพได้น้อยลงด้วย ดังนั้นเมื่อคำนวณค่าความยืดหยุ่นจากค่าร้อยละของอัตราส่วนระหว่างค่าแรงที่เวลา 60 วินาที กับค่าแรงสูงสุดส่งผลให้หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีความยืดหยุ่นสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงจากปริมาณร้อยละ 15 30 และ 45 มีผลให้หมั่นโถวมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงจนถึงร้อยละ 60 ทำให้หมั่นโถวมีความยืดหยุ่นลดลง อาจเนื่องจากปริมาณแป้งมันเทศที่ใช้ในส่วนผสมมีปริมาณมาก จนทำให้โครงสร้างของหมั่นโถวแน่นและแข็งส่งผลให้หมั่นโถวมีความยืดหยุ่นลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hathorn et al. (2008) พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงจากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 65 โดยน้ำหนักแป้ง ทำให้ขนมปังมีความยืดหยุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และจากการศึกษาของ Greene and Bovell-Benjamin (2004) พบว่า ขนมปังที่ใช้แป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 50 55 60 และ 65 โดยน้ำหนักแป้ง มีความยืดหยุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การกระจายตัวของเซลล์อากาศในเนื้อหมั่นโถว

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของเซลล์อากาศของเนื้อหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 0 15 30 45 และ 60 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังภาพที่ 4-15 และ 4-16 และตารางที่ 4-25 แสดงให้เห็นว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลี

ในปริมาณร้อยละ 15 – 60 โดยน้ำหนักแป้ง มีเซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่แทรกอยู่ในเนื้อหมั่นโถว ทำให้ความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของเซลล์อากาศในเนื้อหมั่นโถวลดลง ส่วนหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมแป้งมันเทศสีม่วงซึ่งทำจากแป้งสาลีล้วน (0%) พบว่ามีการกระจายตัวของเซลล์อากาศภายในเนื้อหมั่นโถวอย่างสม่ำเสมอ โดยพบว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 15 - 60 มีจำนวนเซลล์อากาศต่อพื้นที่ (Cell density) สูงกว่าหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมแป้งมันเทศสีม่วง อาจเนื่องมาจากแป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าแป้งสาลีที่ส่งผลให้ยีสต์สามารถผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากและแทรกตัวเป็นเซลล์อากาศภายในเนื้อหมั่นโถว เป็นผลให้มีจำนวนเซลล์อากาศต่อพื้นที่มากด้วย และเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 30 มีผลให้จำนวนเซลล์อากาศต่อพื้นที่ลดลง เนื่องจากการลดลงของปริมาณกลูเตน ทำให้โครงสร้างที่ได้มีความแข็งแรงลดลง เซลล์อากาศเกิดการรวมตัวเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้มีจำนวนเซลล์อากาศต่อพื้นที่ลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 45 และ 60 มีผลให้จำนวนเซลล์อากาศต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการใช้แป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณมากส่งผลให้มีโครงสร้างแข็งและแน่น เซลล์อากาศจึงไม่สามารถเกิดการรวมตัวเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ได้ ทำให้มีจำนวนเซลล์อากาศต่อพื้นที่มากด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sapirstein, Roller, and Bushuk (1994) พบว่า เนื้อขนมปังที่มีจำนวนของเซลล์ต่อพื้นที่มาก (มีค่า Cell density มาก) ประกอบด้วยเซลล์ที่มีขนาดเฉลี่ยขนาดเล็ก และเมื่อพิจารณาค่าพื้นที่เฉลี่ยของเซลล์อากาศ (Mean cell area) พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนักแป้ง มีพื้นที่เฉลี่ยของเซลล์อากาศเพิ่มมากขึ้นและมากกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และส่งผลให้มีอัตราส่วนของพื้นที่เซลล์อากาศต่อพื้นที่เนื้อหมั่นโถว (Cell-total area ratio) เพิ่มมากขึ้นด้วย อาจเกิดจากการรวมกันของเซลล์อากาศในระหว่างกระบวนการหมักและการให้ความร้อน (Scanlon & Zghal, 2001) เนื่องจากในสูตรที่มีการใช้แป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลี ทำให้โครงสร้างของโดมีความแข็งแรงลดลงตามปริมาณกลูเตนที่ลดลง เมื่อนำมาให้ความร้อนโครงสร้างไม่สามารถทนต่อแรงดันไอน้ำได้ ทำให้เกิดการรวมกันของเซลล์อากาศจึงส่งผลให้พื้นที่เฉลี่ยของเซลล์อากาศ และอัตราส่วนของพื้นที่เซลล์อากาศต่อพื้นที่เนื้อหมั่นโถวเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 45 และ 60 มีผลให้พื้นที่เฉลี่ยของเซลล์อากาศลดลงต่ำสุดและมีอัตราส่วนของพื้นที่เซลล์อากาศต่อพื้นที่เนื้อหมั่นโถวลดลงด้วย เป็นผลมาจากการใช้แป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณมากส่งผลให้โดมีโครงสร้างที่แน่น ทำให้เซลล์อากาศที่เกิดขึ้นไม่สามารถขยายขนาดได้ มีผลให้ค่าพื้นที่เฉลี่ยของเซลล์อากาศต่ำลง และมีอัตราส่วนของพื้นที่เซลล์อากาศต่อพื้นที่เนื้อของหมั่นโถวลดลงด้วย จากการศึกษาของ Underwoog (1970) พบว่า ขนมปังที่มีอัตราส่วนพื้นที่ของเซลล์อากาศต่อพื้นที่เนื้อขนมปังต่ำมีผลให้ขนมปังมีปริมาตรน้อย และมีลักษณะ

เนื้อแน่น ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของปริมาตรโด แต่หากมีอัตราส่วนพื้นที่ของเซลล์อากาศต่อพื้นที่เนื้อขนมปังมากเกินไป แสดงให้เห็นว่าเซลล์อากาศเกิดขึ้นได้มาก จนทำให้โครงสร้างเกิดโพรงและสามารถยุบตัวได้ง่าย

ผลการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของหมั่นโถว

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 0 15 30 45 และ 60 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังตารางที่ 4-26 พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 15 – 60 โดยน้ำหนักแป้ง มีปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงกว่าหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมแป้งมันเทศสีม่วงซึ่งทำจากแป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ใช้มีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับ 5.32 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแป้ง และมีแอนโทไซยานินเท่ากับ 1.65 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแป้ง ในขณะที่แป้งสาลีมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.16 – 1.55 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแป้ง (Yu, Nanguet, & Beta, 2013) จากผลวิจัยพบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงส่งผลให้หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงในส่วนผสม

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหมั่นโถว

จากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 0 15 30 45 และ 60 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังตารางที่ 4-27 พบว่า หมั่นโถวที่ไม่มีการเติมแป้งมันเทศสีม่วงซึ่งทำจากแป้งสาลีล้วน (0%) มีคะแนนความชอบในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมต่ำสุด โดยหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงปริมาณร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนักแป้ง มีคะแนนความชอบในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงสุดโดยไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบชอบหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีมากกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เป็นผลมาจากการเติมแป้งมันเทศสีม่วงที่ส่งผลให้หมั่นโถวที่ได้มีสีม่วงซึ่งเป็นลักษณะของหมั่นโถวแบบใหม่ที่น่าสนใจ มีกลิ่นหอมและรสหวานของมันเทศรวมทั้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่น เป็นที่พอใจของผู้ทดสอบ และทั้งนี้พบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงทำให้คะแนนความชอบในทุกด้านของหมั่นโถวมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงส่งผลให้หมั่นโถวมีปริมาตรจำเพาะลดลง และได้ได้หมั่นโถวที่มีสีม่วงเข้มมากขึ้น รวมทั้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นและไม่ยืดหยุ่น เป็นผลให้ผู้ทดสอบมีความชอบลดลง

ผลการคัดเลือกปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงที่เหมาะสม

จากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนักแป้ง มีคะแนนความชอบรวมสูงสุดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาเสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของหมั่นโถว พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง มีปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนักแป้ง ดังนั้นสรุปได้ว่า แป้งมันเทศสีม่วงปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการนำมาศึกษาในตอนที่ 3 ต่อไป

ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของโดและหมั่นโถว

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของโดและหมั่นโถวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 4-17 และ 4-18 แสดงให้เห็นว่า โดที่ทำจากแป้งสาลีล้วนมีโครงข่ายกลูเตนปกคลุมเม็ดสตาร์ชของข้าวสาลีทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ส่วนโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง พบว่า มีส่วนเส้นใยซึ่งอาจเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในแป้งมันเทศสีม่วงแทรกอยู่ระหว่างโครงข่ายกลูเตน ทำให้โครงข่ายกลูเตนมีความสมบูรณ์น้อยลง เป็นผลให้โดกักเก็บก๊าซได้น้อย และมีปริมาตรน้อยกว่าโดที่ไม่มีการเติมแป้งมันเทศสีม่วงซึ่งทำจากแป้งสาลีล้วน ทั้งนี้กรมส่งเสริมการเกษตร (2542) รายงานว่าในเนื้อมันเทศมีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 1 กรัมต่อ 100 กรัม เป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส และพบอีกว่าโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง นอกจากจะมีโครงข่ายกลูเตนแล้วยังมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางเชื่อมอยู่ระหว่างเส้นใย ซึ่งแผ่นฟิล์มบางที่เกิดขึ้นนั้นน่าจะเกิดจากส่วนของแป้งมันเทศสีม่วงที่เกิดเจลาทิไนซ์บางส่วน เนื่องจากการให้ความร้อนในระหว่างการเตรียมขั้นต้นของแป้งมันเทศ และเมื่อนำหมั่นโถวมาตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค แสดงดังภาพที่ 4-18 พบว่า เมื่อให้ความร้อนแก่ตัวอย่างหมั่นโถวส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดเจลาทิไนซ์ พองตัวและสูญเสียสภาพ (Hathorn et al., 2008) มีผลให้สตาร์ชเกิดการสูญเสียรูปร่างโดยมีรูปร่างแบนลงและสูญเสียลักษณะของโครงข่ายโปรตีน ทำให้เม็ดสตาร์ชบางส่วนสูญเสียโครงร่างไป แสดงให้เห็นว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนมีเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก และเมื่อให้ความร้อนส่งผลให้สตาร์ชที่เสียสภาพเกาะกันอย่างหลวม ๆ และมีกลูเตนแทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ชทำให้มองเห็นช่องว่างระหว่างเม็ดสตาร์ช ในขณะที่หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง พบเม็ดสตาร์ชที่เสียสภาพเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากมีกลูเตนในปริมาณน้อยลง มีการจัดเรียงกันอย่างแน่นหนาของเม็ดสตาร์ชที่เสียสภาพมากกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และจากการศึกษาของ Hathorn et al. (2008) พบว่า การเพิ่มแป้งมันเทศในปริมาณร้อยละ 50 – 65

ในขนมปังมีผลให้เม็ดสตาร์ชของแป้งมันเทศเกิดการรวมกลุ่มมากขึ้น เม็ดสตาร์ชเชื่อมติดกันเป็นโครงสร้างมากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณกลูเตนลดลงแต่มีส่วนของสตาร์ชเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของหมั่นโถว พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 มีความแน่นเนื้อต่ำกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างทางจุลภาคซึ่งเห็นเม็ดสตาร์ชเรียงชิดกันแสดงถึงการมีโครงข่ายกลูเตนที่ลดลง โดยการมีโครงข่ายกลูเตนที่ลดลงนั้นส่งให้หมั่นโถวมีความแน่นเนื้อลดลงด้วย

ตอนที่ 3 ผลของปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ที่มีต่อคุณภาพของหมั่นโถว

เตรียมโดและหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งได้จากการคัดเลือกในตอนที่ 2 และเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase) ในปริมาณที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0 300 500 700 และ 900 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม นำมาวิเคราะห์ความสามารถในการแผ่ขยายของโด และนำหมั่นโถวมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการแผ่ขยายของโด

จากผลการวิเคราะห์ความสามารถในการแผ่ขยายของโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 0 300 500 700 และ 900 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม แสดงดังภาพที่ 4-19 และตารางที่ 4-28 พบว่า เมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาในการหมักส่งผลให้โดมีความสามารถในการแผ่ขยายเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกระบวนการหมักที่เกิดขึ้น เกิดจากการทำงานของยีสต์ทำให้โดเกิดการขยายตัวกักเก็บก๊าซภายในโครงสร้าง จึงส่งผลให้โดขึ้นฟู (Marc, Bart, Joost, Hans, & Dijkhuizen, 2002) โดยพบว่าโดที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 300 – 900 ยูนิต มีปริมาตรโดที่เวลา 120 นาที และมีอัตราการแผ่ขยายของโดต่ำกว่าโดที่ไม่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (0 U) เนื่องจากการเกิดโครงสร้างของโดเกิดได้จากการผสมของแป้งและน้ำ แต่จะต้องมีปริมาณน้ำที่เหมาะสมด้วย โดจึงจะสามารถขึ้นฟูได้อย่างเต็มที่ (Haraszi et al., 2008; Manu et al., 2008; Wesley et al., 1998; Ait et al., 2008) ซึ่งพบว่าโดที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีปริมาณน้ำที่ได้จากค่าการดูดซับน้ำวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟาริโนกราฟต่ำโดยมีค่าร้อยละ 50 – 53 โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งค่าการดูดซับน้ำที่ได้เกิดจากการเติมน้ำในระหว่างการผสมจนทำให้โด มีค่าความหนืดเท่ากับ 500 BU แต่พบว่าการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ลงในส่วนผสมแป้งทำให้สตาร์ชถูกย่อยสลายกลายเป็นสตาร์ชที่เสียหาย ซึ่งเม็ดสตาร์ชเหล่านั้นสามารถดูดซับน้ำและเกิดความหนืดได้โดยทันทีและให้ความหนืดที่สูงด้วย (Marc et al., 2002) ดังนั้นเมื่อเติมน้ำในระหว่างการผสมเพียงเล็กน้อยก็ทำให้โดมีความหนืดเท่ากับ 500 BU โดย

ทันที ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้อาจจะน้อยเกินไป ทำให้โดแข็งและแน่น ไม่สามารถขยายตัวเพิ่มปริมาตรได้ จึงทำให้โดมีปริมาตรต่ำกว่าโดที่ไม่มีการเติมเอนไซม์ซึ่งใช้ปริมาณน้ำมากกว่า (ร้อยละ 80 โดยน้ำหนักแป้ง) ทั้งนี้จากผลวิจัยพบว่า เมื่อเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 300 ยูนิต ส่งผลให้ปริมาตรโดที่เวลา 120 นาที และอัตราการแผ่ขยายของโด มีค่าสูงกว่าโดที่เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ปริมาณ 500 700 และ 900 ยูนิต ซึ่งมีปริมาตรโดที่เวลา 120 นาที และอัตราการ แผ่ขยายของโดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เนื่องจากการเพิ่มเอนไซม์ในปริมาณมากทำให้เกิดเด็กซ์ทรินเพิ่มมากขึ้น โดยเด็กซ์ทรินสามารถดูดซับน้ำได้มากด้วย แต่การเตรียมโดที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ปริมาณ 500 – 900 ยูนิต ใช้น้ำในสูตรน้อยกว่าโดที่เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ปริมาณ 300 ยูนิต ส่งผลให้โดแข็งและแน่นไม่สามารถขยายตัวเพิ่มปริมาตรได้

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของหมั่นโถว

ค่าสี (L* a* และ b*) ของหมั่นโถว

จากการวิเคราะห์ค่าสีของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 0 300 500 700 และ 900 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม แสดงดังภาพที่ 4-20 และตารางที่ 4-29 พบว่า หมั่นโถวในทุกตัวอย่างมีสีม่วงแดง โดยมีค่า L* อยู่ในช่วง 40.77 – 44.53 ค่า a* อยู่ในช่วง 17.68 – 18.21 ค่า b* อยู่ในช่วง (-4.94) – (-2.21) ค่า h° อยู่ในช่วง 344.82 – 352.87 องศา เป็นผลมาจากการใช้แป้งมันเทศสีม่วงซึ่งมีแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ (Giusti & Wrolstad. 2003) โดยพบว่าหมั่นโถวที่เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 300 – 900 ยูนิต มีค่า L* ค่า b* และค่า h° มากกว่า แต่มีค่า a* และมีค่า C* น้อยกว่าหมั่นโถวที่ไม่เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (0 U) แสดงให้เห็นว่าหมั่นโถวที่เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีความสว่างมากกว่าหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมเอนไซม์ อาจเนื่องมาจากหมั่นโถวที่มีการเติมเอนไซม์มีการขยายตัวมากกว่าจึงส่งผลให้หมั่นโถวมีความสว่างเพิ่มขึ้นและทำให้มีค่าสีแดงและสีน้ำเงินลดลงด้วย อย่างไรก็ตามทั้งนี้พบว่า การเพิ่มปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ทำให้ค่าสีที่วัดได้ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

ปริมาตรจำเพาะ ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของหมั่นโถว

จากการวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะ ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสในปริมาณ 0 300 500 700 และ 900 ยูนิต ต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม แสดงดังตารางที่ 4-30 พบว่า หมั่นโถวที่เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสในปริมาณ 300 900 ยูนิต มีการขยายขนาดในทางด้านบน (แกน y) มากขึ้นทำให้เกิดรูปทรงที่ดีและมีปริมาตรจำเพาะสูงกว่าหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (0 U) ซึ่งมีปริมาตรจำเพาะต่ำสุดและมีการขยายขนาดด้านข้าง (แกน x)

มากกว่าในแนวสูง (แกน y) เนื่องจากเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีหน้าที่หลักในการย่อยสลาย (Hydrolysis) จะทำหน้าที่ย่อยสตาร์ชจนกลายเป็นเด็กซ์ทริน (Dextrin) ที่มีขนาดเล็ก โดยเด็กซ์ทรินเป็นสารตั้งต้นในการหมักของยีสต์ ทำให้ยีสต์ผลิตก๊าซได้มากขึ้น นอกจากนั้นเด็กซ์ทรินสามารถทำให้เกิดความหนืดได้โดยทันทีและให้ความหนืดสูงด้วย ส่งผลให้หมั่นโถวมีโครงสร้างที่แข็งแรงและทนต่อแรงดันไอน้ำได้สามารถขึ้นฟูและมีปริมาตรจำเพาะเพิ่มมากขึ้น (Marc et al., 2002; Patel, Ng, Hawkins, Pitts, & Chakrabarti-Bell, 2012) Kim et al. (2006) พบว่า ขนมปังที่มีการเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีปริมาตรจำเพาะมากกว่าขนมปังที่ไม่มีเติมเอนไซม์ ซึ่งช่วยปรับปรุงปริมาตรและความแน่นเนื้อของขนมปัง สอดคล้องกับการศึกษาของ Sciarini et al. (2012) พบว่า ขนมปังปราศจากกลูเตนที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีปริมาตรจำเพาะมากกว่าขนมปังปราศจากกลูเตนที่ไม่เติมเอนไซม์ จากผลวิจัยพบว่าการเพิ่มปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จาก 300 ยูนิต เป็น 500 700 และ 900 ยูนิต มีผลให้ค่าปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้น โดยหมั่นโถวที่เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสปริมาณ 500 700 และ 900 ยูนิต มีปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณน้ำในส่วนผสม ส่งผลให้หมั่นโถวมีปริมาตรลดลง ส่วนด้านความแน่นเนื้อ พบว่า หมั่นโถวที่เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 300 – 900 ยูนิต มีความแน่นเนื้อสูงกว่าหมั่นโถวที่ไม่เติมเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ทำหน้าที่ย่อยสตาร์ชให้กลายเป็นเด็กซ์ทรินที่มีขนาดเล็กและมีมวลโมเลกุลต่ำ (Marc et al., 2002) จึงส่งผลให้เม็ดสตาร์ชมีขนาดเล็กลงและเชื่อมติดกัน แทรกตัวอยู่ระหว่างโครงข่ายกลูเตน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น (Kim et al., 2006) ประกอบกับการมีปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อยด้วย จึงทำให้มีโครงสร้างที่แน่นมากขึ้น ดังนั้นเมื่อนำหมั่นโถวมาวัดค่าความแน่นเนื้อโดยการใช้แรงกดด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสจึงทำให้หมั่นโถวที่ได้มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้พบว่าหมั่นโถวที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 300 – 900 ยูนิต มีความยืดหยุ่นต่ำกว่าหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมเอนไซม์ ซึ่งมีค่าความยืดหยุ่นสูงสุด เนื่องจากหมั่นโถวที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีโครงสร้างที่แน่นและแข็งแรง (มีความแน่นเนื้อมาก) และเมื่อนำหมั่นโถวมาวัดค่าความยืดหยุ่นโดยการใช้แรงกดด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ส่งผลให้มีความยืดหยุ่นน้อยด้วย

การกระจายตัวของเซลล์อากาศในเนื้อหมั่นโถว

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะของเซลล์อากาศของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ปริมาณ 0 300 500 700 และ 900 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม แสดงดังภาพที่ 4-21 และ 4-22 และตารางที่ 4-31 แสดงให้เห็นว่าหมั่นโถวในทุกตัวอย่างมีการกระจายตัวของเซลล์อากาศไม่สม่ำเสมอโดยมีเซลล์อากาศขนาดใหญ่แทรกอยู่ โดยพบว่าหมั่นโถวที่เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีเซลล์อากาศ

ผลการคัดเลือกปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ที่เหมาะสมในการผลิตหมั่นโถว

จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า หมั่นโถวที่ไม่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (0 U) และหมั่นโถวที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 300 และ 500 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม มีคะนนความชอบรวมสูงสุดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลทางด้านกายภาพ พบว่า หมั่นโถวที่เติมเอนไซม์ในปริมาณ 500 ยูนิต มีปริมาตรจำเพาะสูงกว่าหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมเอนไซม์ และที่เติมเอนไซม์ในปริมาณ 300 ยูนิต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังนั้นจึงคัดเลือกเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 500 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม เพื่อนำมาใช้ศึกษาในตอนที่ 5 ต่อไป

ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของโดและหมั่นโถว

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของโดและหมั่นโถวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 4-23 และ 4-24 แสดงให้เห็นว่า โดที่เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 500 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม พบการเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าเม็ดสตาร์ชโดยผิวหน้าของเม็ดสตาร์ชบางส่วนหายไปและมีลักษณะขรุขระและเกิดรูเล็ก ๆ (Shariffa et al., 2009) ซึ่งแสดงถึงการไฮโดรไลซ์ (Hydrolysis) สตาร์ชด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ที่ผิวหน้า นอกจากนั้นพบว่า การเกาะติดกันของเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กเป็นจำนวนมากแตกต่างจากโดที่ไม่เติมเอนไซม์อย่างชัดเจน และพบว่าลักษณะโครงข่ายกลูเตนและเผ่นฟิล์มบาง ๆ ที่เชื่อมต่อกันหายไป เนื่องจากการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ลงในโด ทำให้เกิดการย่อยสตาร์ชที่อยู่ในแป้งให้สูญเสียสภาพจนกลายเป็นเด็กซ์ทริน (Dextrin) ที่มีขนาดเล็กและมีมวลโมเลกุลต่ำ (Marc et al., 2002) จากลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของหมั่นโถว ดังภาพที่ 4-24 แสดงให้เห็นว่าเมื่อให้ความร้อนส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเจลลาทิไนซ์ เม็ดสตาร์ชพองตัวและแตกออก ทำให้สูญเสียรูปร่างโดยมีรูปร่างแบนลง และเม็ดสตาร์ชบางส่วนก็สูญเสียโครงร่างไป (Hathorn et al., 2008) โดยพบว่าหมั่นโถวที่เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 500 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม มีลักษณะของเม็ดสตาร์ชที่เชื่อมกันแน่นกว่าหมั่นโถวที่ไม่เติมเอนไซม์ เป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ที่ส่งผลให้สตาร์ชถูกย่อยสลายจนมีขนาดเล็กลง (Marc et al., 2002) เกิดการเกาะติดกันของเม็ดสตาร์ชมากขึ้น ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนส่งผลให้สตาร์ชเหล่านั้นเกิดโครงสร้างที่มีลักษณะเชื่อมกันอย่างหนาแน่น ทำให้หมั่นโถวที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 500 ยูนิต มีความแน่นเนื้อสูง

ตอนที่ 4 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีต่อคุณภาพของหมั่นโถว

จากการเตรียมโดและหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งได้จากการคัดเลือกในตอนที่ 2 และเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose, CMC) ในปริมาณที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง แล้ววิเคราะห์ความสามารถในการแผ่ขยายของโด นำหมั่นโถวมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการแผ่ขยายของโด

จากผลการวิเคราะห์ความสามารถในการแผ่ขยายของโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงผลดังภาพที่ 4-25 และตารางที่ 4-33 พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมักส่งผลให้โดมีความสามารถในการแผ่ขยายเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากร้อยละ 0 เป็น 0.2 และ 0.4 โดยน้ำหนักแป้ง มีผลให้ปริมาตรโดที่เวลา 120 นาที และอัตราการแผ่ขยายของโดลดต่ำลง เนื่องจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มาก (Dow Wolff Cellulosics GmbH Food & Nutrition, n.d.) จึงเหลือน้ำในส่วนผสมที่ใช้ในการเกิดโครงสร้างของกลูเตนน้อยลง เป็นผลให้โดมีความสามารถในการกักเก็บก๊าซในระหว่างการหมักได้น้อยด้วย และเมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นร้อยละ 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง มีผลให้ปริมาตรโดที่เวลา 120 นาที และอัตราการแผ่ขยายของโดสูงสุดโดยไม่แตกต่างกับโดที่ไม่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (0%) อาจเนื่องจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และจับกับน้ำได้ดีทำให้โมเลกุลภายในสามารถเคลื่อนไหวได้ง่าย (Grover, 1982) ซึ่งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะแทรกตัวอยู่ภายในโครงสร้างของโด ทำให้โดมีความยืดหยุ่นและสามารถกักเก็บก๊าซได้ดีส่งผลให้โดมีปริมาตรเพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของหมั่นโถว

ค่าสี (L* a* และ b*) ของหมั่นโถว

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0 0.2 0.40.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังภาพที่ 4-26 และตารางที่ 4-33 พบว่า หมั่นโถวทั้งหมดมีสีม่วงโดยมีค่า L* อยู่ในช่วง 40.71 – 41.15 ค่า b* อยู่ในช่วง (-4.61) – (-4.85) และค่า h° อยู่ในช่วง 345.04 – 344.55 องศา โดยมีค่า L* ค่า b* และค่า h° ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่พบว่าหมั่นโถวที่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0.2 - 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง มีค่า a* และค่า C* ต่ำกว่าหมั่นโถวที่ไม่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (0%) เป็นผลมาจากปริมาณน้ำในสูตรที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 80 – 83) ทำให้

หมั่นโถวมีสีจางลง จึงทำให้ค่าสีแดงและค่าความเข้มสีลดลงด้วย โดยพบว่าหมั่นโถวที่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0.4 – 0.8 มีค่า a* และค่า C* ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

ปริมาตรจำเพาะ ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของหมั่นโถว

จากการวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะ ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังตารางที่ 4-34 พบว่า หมั่นโถวที่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0.2 – 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง มีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (0%) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lazaridou et al. (2007) พบว่า การเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนักแป้ง ส่งผลให้มีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าขนมปังปราศจากกลูเตนที่ไม่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส อาจเป็นผลมาจากการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ส่งผลให้โครงสร้างไม่สามารถทนต่อแรงดันไอน้ำได้ และโครงสร้างที่ได้เกิดการยุบตัวภายหลังการให้ความร้อน ทำให้หมั่นโถวที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าหมั่นโถวที่ไม่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ทั้งนี้จากผลวิจัยพบว่า การเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0.6 และ 0.8 มีผลให้หมั่นโถวมีปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ซึ่งสูงกว่าหมั่นโถวที่มีการเติม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0.2 และ 0.4 ตามลำดับ เนื่องจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีส่วนที่ชอบน้ำซึ่งทำให้เกิดไมโครเจล (Micro-gles) ที่ยืดหยุ่นล้อมรอบฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างได้ ทำให้หมั่นโถวมีปริมาตรเพิ่มขึ้น (Grover, 1982) แต่อย่างไรการใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจึงจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ดังเช่นการศึกษาของ Maleki and Milani (2013) พบว่า ขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีและเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแป้ง มีปริมาตรจำเพาะสูงสุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสถึงร้อยละ 1 ทำให้ปริมาตรจำเพาะลดต่ำลง ส่วนในด้านความแน่นเนื้อ พบว่า หมั่นโถวทุกตัวอย่างมีค่าความแน่นเนื้อใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากหมั่นโถวที่ได้มีปริมาณน้ำในส่วนผสมที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 80 – 83 โดยน้ำหนักแป้ง อาจเป็นผลมาจากการเกิดโครงสร้างของหมั่นโถวที่เกิดจากส่วนของแป้งเป็นหลักซึ่งหมั่นโถวในทุกสูตรทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และในด้านความยืดหยุ่น พบว่า หมั่นโถวที่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0.2 และ 0.4 มีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) กับหมั่นโถวที่ไม่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และพบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0.6 และ 0.8 มีผลให้หมั่นโถวมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้พบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีผลให้ความยืดหยุ่นของหมั่นโถว

เพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่แทรกตัวอยู่ระหว่างโครงข่ายสตาร์ชกับกลูเตน และเมื่อให้ความร้อนทำให้เกิดเจลที่อ่อนตัวแทรกอยู่ภายในโครงข่าย ส่งผลให้หมั่นโถวมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น (Fidam et al., 1995) และจากงานวิจัยของ Lazaridou et al. (2007) พบว่า การเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักแป้ง มีผลให้ขนมปังปราศจากกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวและแป้งข้าวโพดมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

การกระจายตัวของเซลล์อากาศในเนื้อหมั่นโถว

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของเซลล์อากาศในเนื้อหมั่นโถวจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังภาพที่ 4-27 และ 4-28 และตารางที่ 4-35 พบว่า หมั่นโถวทั้งหมดมีการกระจายตัวของเซลล์อากาศภายในเนื้อหมั่นโถวไม่สม่ำเสมอโดยมีเซลล์อากาศขนาดใหญ่แทรกอยู่ภายในเนื้อหมั่นโถว ซึ่งพบว่าหมั่นโถวที่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0.2 – 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง มีจำนวนเซลล์อากาศต่อพื้นที่ (Cell density) ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) และมีค่าสูงกว่าหมั่นโถวที่ไม่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (0%) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sciarini et al. (2012) พบว่า ขนมปังปราศจากกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวและเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแป้ง มีจำนวนเซลล์อากาศต่อพื้นที่สูงกว่าขนมปังปราศจากกลูเตนที่ไม่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เนื่องมาจากการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทำให้เกิดไมโครเจล (Micro-gles) ที่ยืดหยุ่นช่วยป้องกันการรวมตัวกันของฟองอากาศ (Grover, 1982) ส่งผลให้หมั่นโถวที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มีจำนวนเซลล์อากาศต่อพื้นที่มากกว่าหมั่นโถวที่ไม่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และพบว่าหมั่นโถวทั้งหมดมีค่าพื้นที่เฉลี่ยของเซลล์อากาศอยู่ในช่วง 0.37 – 0.42 ตร.มม. และมีอัตราส่วนของพื้นที่เซลล์อากาศต่อพื้นที่เนื้อของหมั่นโถวไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

ผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหมั่นโถว

จากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังตารางที่ 4-36 พบว่า หมั่นโถวทุกตัวอย่างมีคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมที่ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เนื่องจากคุณลักษณะของหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทั้งที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณที่แตกต่างกันและไม่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีสี กลิ่น และรสชาติ ที่ไม่แตกต่างกัน รวมทั้งมีค่าความแน่นเนื้อและความยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบที่ไม่แตกต่างกันด้วย

ผลการคัดเลือกปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมในการผลิตหมั่นโถว

จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า หมั่นโถวทั้งหมดมีคะแนนความชอบรวมที่ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาผลทางกายภาพของหมั่นโถว พบว่า หมั่นโถวที่ไม่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีปริมาตรจำเพาะสูงสุด รองลงมาคือ หมั่นโถวที่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งมีปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) ดังนั้นจึงคัดเลือกคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนักแป้ง เพื่อเป็นตัวแทนของสูตรที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในส่วนผสม เนื่องจากใช้ปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่น้อยกว่า 0.8 แต่ให้คุณลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน มาใช้ศึกษาในตอนที่ 5 ต่อไป

ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของโดและหมั่นโถว

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของโดและหมั่นโถวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 4-29 และ 4-30 แสดงให้เห็นว่า การเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสส่งผลโดยตรงต่อโครงข่ายสตาร์ชกับโปรตีนกลูเตน เนื่องจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแทรกตัวอยู่ระหว่างโครงข่ายสตาร์ชกับกลูเตน ทำให้โครงข่ายกลูเตนขาดความต่อเนื่องส่งผลให้โครงข่ายกลูเตนลดลงเกิดช่องขนาดใหญ่ภายในโครงสร้าง โดยมีเม็ดสตาร์ชแทรกตัวอยู่ภายในช่องว่าง (Correa, Anon, Perez, & Ferrero, 2010) ต่างจากโดที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสซึ่งยังคงเห็นลักษณะโครงข่ายกลูเตนและแผ่นฟิล์มบาง ๆ ที่เชื่อมต่อกันและปกคลุมเม็ดสตาร์ชอยู่ จากผลการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของหมั่นโถวแสดงให้เห็นว่า เมื่อให้ความร้อนส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดเจลาทิไนเซชันและสูญเสียรูปร่างโดยมีรูปร่างแบนลง (Hathorn et al., 2008) และส่งผลให้ลักษณะโครงข่ายกลูเตนที่ปกคลุมเม็ดสตาร์ชสูญเสียโครงร่างไป (Aranyi & Hawrylewicz, 1969) จะเห็นได้ว่าหมั่นโถวที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีโครงสร้างที่เชื่อมต่อเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ อาจเกิดจากโปรตีนกลูเตนที่เสียสภาพและเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกันกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ชที่เสียสภาพนั้น (Aravind, Sissons, & Fellows, 2013) จึงทำให้โครงสร้างมีลักษณะเรียบ เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสของหมั่นโถวทั้งสองตัวอย่างที่วัดได้มีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างหลักของหมั่นโถวนั้นเกิดจากแป้งที่เป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณน้อยไม่ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน

ตอนที่ 5 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของหมั่นโถว

จากการนำหมั่นโถวที่ได้จากการคัดเลือก ได้แก่ หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง (PF30) ซึ่งได้จากการคัดเลือกในตอนที่ 2 หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และมีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ปริมาณ 500 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม (PF30 + ENZ) ซึ่งได้จากการคัดเลือกในตอนที่ 3 และหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนักแป้ง (PF30 + CMC) ที่ได้จากการคัดเลือกในตอนที่ 4 แล้วนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ เปรียบเทียบกับหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน (PF0) สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้ คือ

องค์ประกอบทางเคมีของหมั่นโถว

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหมั่นโถว แสดงดังตารางที่ 4-38 พบว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน (PF0) มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทุกตัวอย่าง (PF30, PF30 + ENZ และ PF30 + CMC) เนื่องจากหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณน้ำในสูตรมากกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และจากผลการวิจัยพบว่า หมั่นโถวสูตร PF30 + ENZ มีปริมาณความชื้นสูงสุด อาจเป็นผลมาจากเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ทำให้เกิดการย่อยสตาร์ชจนกลายเป็นเด็กซ์ทริน (Dextrin) ซึ่งสามารถดูดซับน้ำได้ดี (Marc et al., 2002) ส่งผลให้หมั่นโถวมีความชื้นสูง จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน พบว่าหมั่นโถวสูตร PF 0 มีปริมาณโปรตีนสูงสุด เนื่องจากแป้งสาลีมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 7 - 9 (Hou & Popper, 2007) ในขณะที่แป้งมันเทศมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ1 – 6 (Madamba et al., 1976; Collado et al., 1997) ส่งผลให้หมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลี ทั้งนี้จากผลวิจัยพบว่า หมั่นโถวสูตร PF30 + ENZ มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสูตร PF30 และสูตร PF30 + CMC ซึ่งมีปริมาณโปรตีนที่ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) อาจเป็นผลจากการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ที่ย่อยสตาร์ชทำให้มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น ต่อมายีสต์จึงเปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สลายออกไป (Marc et al., 2002) ทำให้ส่วนของคาร์โบไฮเดรตลดลงจึงมีอัตราส่วนของโปรตีนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้พบว่าหมั่นโถวสูตร PF30 + ENZ มีปริมาณไขมันสูงสุด โดยหมั่นโถวสูตร PF0 สูตร PF30 และสูตร PF30 + CMC มีปริมาณไขมันต่ำสุดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) อาจเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ที่ส่งผลให้ส่วนของคาร์โบไฮเดรตลดลงตามที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้อัตราส่วนของไขมันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เมื่อคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่า หมั่นโถวสูตร PF 30 และสูตร PF30 + CMC มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) รองลงมาคือ หมั่นโถวสูตร PF0 และหมั่นโถวสูตร

PF30 + ENZ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำสุด เนื่องจากเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จะไฮโดรไลซ์แป้งให้กลายเป็นน้ำตาล โดยยีสต์จะนำน้ำตาลให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงส่งผลให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลง ทั้งนี้พบว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในทุกตัวอย่าง (PF30, PF30 + ENZ และ PF30 + CMC) มีปริมาณเถ้าสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน โดยหมั่นโถวสูตร PF30 + ENZ มีปริมาณเถ้าสูงสุด เนื่องจากในมันเทศมีองค์ประกอบของแร่ธาตุหลายชนิด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542) โดยจากการรายงานของ Madamba et al. (1976) และ Collado et al. (1997) พบว่า แป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 2 – 3 ส่วนแป้งสาลีมีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.5 (Rheman & Ahmed, 2003) จึงทำให้หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณเถ้าสูงกว่า จากการศึกษาของ Greene and Bovell-Benjamin (2004) พบว่า ขนมปังที่ทำจากแป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีมีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นและสูงกว่าขนมปังจากแป้งสาลีล้วน และจากการศึกษาของ Ifie (2011) พบว่า ขนมปังโฮลวีทที่ทำจากแป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีมีปริมาณเถ้าสูงกว่าขนมปังโฮลวีทที่ทำจากแป้งสาลีล้วน จากผลวิจัยพบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีทุกตัวอย่าง (PF30, PF30 + ENZ และ PF30 + CMC) มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เนื่องจากแป้งมันเทศมีปริมาณของเส้นใยหยาบ (Crudefiber) อยู่ในช่วงร้อยละ 2.30 – 19.30 (Collado et al., 1997) แป้งสาลีมีปริมาณเส้นใยหยาบร้อยละ 0.54 (Rheman & Ahmed, 2003) โดยหมั่นโถวสูตร PF30 + ENZ มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงสุด เป็นผลมาจากการไฮโดรไลซ์สตาร์ชที่ส่งผลให้หมั่นโถวมีองค์ประกอบอื่น ๆ รวมทั้งมีเส้นใยอาหารเพิ่มมากขึ้นด้วย

ดังนั้นจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหมั่นโถว ทำให้ทราบว่าการใช้แป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในการผลิตหมั่นโถว มีผลให้หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณเถ้าและเส้นใยสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Greene and Bovell-Benjamin (2004) และ Ifie (2011) พบว่า การใช้แป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปังส่งผลให้ขนมปังมีปริมาณเส้นใยและแร่ธาตุเพิ่มมากขึ้น

ผลวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของหมั่นโถว

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของหมั่นโถว แสดงดังตารางที่ 4-39 พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในทุกตัวอย่าง (PF30, PF30 + ENZ และ PF30 + CMC) มีปริมาณฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH สูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน (PF0) เนื่องจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ใช้มีปริมาณฟีนอลิกสูงถึง 5.32 ต่อกรัมน้ำหนักแป้ง มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 1.65 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแป้ง และมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH สูง (มีค่า EC_{50} เท่ากับ 1.60 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) จึงส่งผลให้หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วง

มีปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH สูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ทั้งนี้พบว่าหมั่นโถวสูตร PF30 + ENZ มีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าหมั่นโถวสูตร PF30 และสูตร PF30 + CMC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเป็นผลจากการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ที่ทำหน้าย่อยสตาร์ชให้มีขนาดเล็กจึงส่งผลให้โมเลกุลของฟีนอลิกกระจายตัวออกมา ทำให้มีปริมาณฟีนอลิกมากขึ้น (Guzar, 2012) อย่างไรก็ตามพบว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในทุกสูตรมีปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH สอดคล้องกับปริมาณแอนโทไซยานินในหมั่นโถว

ดังนั้นจากการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของหมั่นโถว ทำให้ทราบว่า การใช้แป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในการผลิตหมั่นโถว มีผลให้หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สรุปผลการวิจัย

1. การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนและไอน้ำเป็นเวลา 0 2 4 6 และ 8 นาที พบว่าการเพิ่มเวลาในการลวกมีผลให้กิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดสในชิ้นมันเทศลดลง และส่งผลให้แป้งมันเทศมีค่าความหนืด ค่าการละลาย ค่าการดูดซับน้ำ และกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้น การเพิ่มเวลาในการลวกด้วยน้ำร้อนทำให้ค่า L* เพิ่มขึ้น ส่วนค่า a* ค่า b* ค่า h^{o} ค่า C* และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระลดลง แต่สำหรับการลวกด้วยไอน้ำมีผลให้ค่า L* และค่า b* ลดลง ส่วนค่า a* ค่า h^{o} ค่า C* และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งโดที่เตรียมจากแป้งมันเทศที่ลวกด้วยน้ำร้อนและไอน้ำทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง มีความสามารถในการแผ่ขยายต่ำกว่าโดที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และมีผลให้หมั่นโถวมีปริมาตรจำเพาะและความแน่นเนื้อต่ำกว่า แต่มีค่าความยืดหยุ่นสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วน โดยหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 นาที และลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 8 นาที มีคะแนนความชอบรวมสูงสุด ($p>0.05$) จากการเปรียบเทียบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระพบว่า แป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 8 นาที มีปริมาณฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยน้ำร้อนที่เวลา 4 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จึงได้คัดเลือกแป้งมันเทศสีม่วงที่ลวกด้วยไอน้ำที่เวลา 8 นาที มาใช้ในการศึกษาต่อไป

2. การเติมแป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 0 15 30 45 และ 60 โดยน้ำหนักแป้ง พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงมีผลให้ความสามารถในการแผ่ขยายของโด

ค่า L* ค่า b* ค่า h° และปริมาตรจำเพาะลดลง ส่วนค่า a* ค่า C* ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และมีปริมาณฟีนอลลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โดยหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 15 และ 30 มีอัตราส่วนของพื้นที่เซลล์อากาศต่อพื้นที่เนื้อเพิ่มมากขึ้น และมีความชอบรวมสูงสุดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยคัดเลือกหมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 30 เนื่องจากมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด

3. การเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ปริมาณ 0 300 500 700 และ 900 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม พบว่า การเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณ 300 – 900 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม มีผลให้ความสามารถในการแผ่ขยายของโดต่ำกว่าโดที่ไม่มีการเติมเอนไซม์ และส่งผลให้มีปริมาตรจำเพาะ ความแน่นเนื้อ และอัตราส่วนของพื้นที่เซลล์อากาศต่อพื้นที่สูงกว่า แต่มีค่าความยืดหยุ่นน้อยกว่าหมั่นโถวที่ไม่เติมเอนไซม์ การเพิ่มปริมาณเอนไซม์มีผลให้ความสามารถในการแผ่ขยายของโดลดต่ำลง และมีปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่าสี ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และอัตราส่วนของพื้นที่เซลล์อากาศต่อพื้นที่เนื้อ โดยหมั่นโถวที่ได้ทั้งหมดมีคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) หมั่นโถวที่เติมเอนไซม์ในปริมาณร้อยละ 300 และ 500 ยูนิต มีความชอบรวมสูงสุดไม่แตกต่างกับหมั่นโถวที่ไม่เติมเอนไซม์ ($p \geq 0.05$) โดยคัดเลือกหมั่นโถวที่เติมเอนไซม์ในปริมาณ 500 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม เนื่องจากมีปริมาตรจำเพาะสูงกว่าหมั่นโถวที่เติมเอนไซม์ปริมาณ 300 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม

4. การเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง ส่งผลให้โดมีความสามารถในการแผ่ขยายต่ำกว่าโดที่ไม่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (0%) หมั่นโถวทั้งหมดมีค่า L* ค่า b* และมีค่า h° ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) และมีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าหมั่นโถวที่ไม่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยมีค่าความแน่นเนื้อและความยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกัน และมีอัตราส่วนของพื้นที่เซลล์อากาศต่อพื้นที่ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) การเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีผลให้ความสามารถในการแผ่ขยายของโด ปริมาตรจำเพาะและความยืดหยุ่นของหมั่นโถวมีค่าเพิ่มขึ้น แต่มีค่า a* และค่า C* ลดลง โดยหมั่นโถวทุกตัวอย่างมีความชอบทุกด้านไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยคัดเลือกหมั่นโถวที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนักแป้ง เนื่องจากมีปริมาตรจำเพาะสูงกว่าหมั่นโถวที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสตัวอย่างอื่น

5. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของหมั่นโถว พบว่า หมั่นโถวที่ทำจากแป้งมันเทศสีม่วงในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้ง และที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในปริมาณร้อยละ 500 ยูนิตต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม และที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในปริมาณร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนักแป้ง มีปริมาณเถ้าและเส้นใยอาหารและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าหมั่นโถวที่ทำจากแป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)