บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของข้าว

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของข้าว ได้แก่ปริมาณอะไมโลสและปริมาณโปรตีน เพื่อที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ว่า คุณสมบัติใดของเมล็ดข้าวเกี่ยวข้องกับคุณภาพของข้าวพอง ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า

1. **ปริมาณอะไมโลส** ข้าวพันธุ์ กข 6 เหนียวสันป่าตองและ กข 10 มีปริมาณอะไมโลสคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้งได้ 2.60, 2.73 และ 2.80 ตามลำดับ ข้าวทั้ง 3 พันธุ์นี้เป็นข้าวเหนียว ส่วนข้าวเจ้าพันธุ์ขาวมะลิ 105 มีอะไมโลสร้อยละ 18.85 จัดว่าเป็นข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ข้าวนางมลเอส-4 และ กข 11 มีอะไมโลส 28.20 และ 29.05 ตามลำดับ ซึ่งเป็นข้าวที่มีอะไมโลสสูงตามวิธีการแบ่งของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (7)

2. **ปริมาณโปรตีน** ข้าว กข 11 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งได้ประมาณ 9.16 ข้าวเหนียวสันป่าตองมีปริมาณโปรตีนต่ำสุดประมาณร้อยละ 5.70 ข้าว กข 6 กข 10 ขาวมะลิ 105 และนางมลเอส-4 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 5.83, 6.43, 6.66 และ 7.50 ตามลำดับ

ความแตกต่างในองค์ประกอบของข้าวขึ้นอยู่กับ พันธุ์ สภาพแวดล้อมของสถานที่เพาะปลูกข้าว โดยในข้าวแต่ละพันธุ์อาจมีปริมาณอะไมโลสและปริมาณโปรตีนแตกต่างกันถึง 6 % (22) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของข้าวทั้ง 6 พันธุ์ มีองค์ประกอบในปริมาณที่ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ที่เคยมีผู้รายงานไว้ โดยข้าวพันธุ์ กข 6 เหนียวสันป่าตองและ กข 10 มีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วง 2.50-2.65 2.70-2.80 และ 2.70-2.75 ตามลำดับ ส่วนปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 4.90-5.60 5.50-6.70 และ 6.00-7.20 ตามลำดับ สำหรับข้าวพันธุ์ขาวมะลิ 105 นางมลเอส-4 และ กข 11 มีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วง 17.30-17.50 26.20-27.60 และ 28.14-28.95 ตามลำดับ ส่วนปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 5.97-7.01 6.50-7.20 และ 9.24-10.00 ตามลำดับ (15,17,22)

การศึกษาผลของสภาวะในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพการพองตัวของข้าว

1. คัดเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพอง

1.1 เนื่องจากความชื้นของข้าวน่าจะมีผลต่อการพองตัวเป็นอย่างมาก จึงได้กำหนดเป็นตัวแปรในการศึกษา โดยในขั้นแรกได้ทำ drying curve ของข้าวทั้ง 6 พันธุ์ แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการทำแห้ง ซึ่งพบว่าเป็นแบบ power ตามสมการ $y = a_o x^{a_1}$ โดย a_o และ a_1 ของข้าวแต่ละพันธุ์จะมีค่าแตกต่างกันไป จากความสัมพันธ์ที่ได้ทำให้สามารถคาดคะเนเวลาในการปรับความชื้นของข้าวให้อยู่ในช่วง 14.0 ± 0.5 % (wet basis) ได้ โดยข้าวเหนียวจะใช้เวลาใกล้เคียงกันคือประมาณ 4 ชั่วโมง 30 นาที และข้าวเจ้าทั้ง 3 พันธุ์ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง 20 นาที การที่ข้าวเจ้าใช้เวลาในการลดความชื้นน้อยกว่าข้าวเหนียว อาจมีสาเหตุมาจากเหตุที่ในข้าวเจ้ามีปริมาณโปรตีนที่ค่อนข้างสูงกว่าข้าวเหนียวมาก ซึ่งมีส่วนทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดช้าลง (17) ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเจ้าจึงต่ำกว่าข้าวเหนียว ดังนั้นจึงใช้เวลาน้อยกว่าข้าวเหนียวในการลดความชื้นให้ได้ระดับเดียวกัน

1.2 คัดเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพอง

1.2.1 คุณภาพการพองตัวของข้าวพอง

1. % yield

จากการพิจารณา % yield ของข้าวพองที่ได้จากข้าวทั้ง 6 พันธุ์ พบว่า % yield จะลดลงแบบเส้นตรงเมื่อข้าวมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 8 อาจมีสาเหตุมาจาก ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะต้องการน้ำในการเกิด gelatinization มากกว่าข้าวอะไมโลสต่ำ (6) ความชื้นที่กำหนดในการทดลองอาจไม่เพียงพอในการเกิด gelatinization ทำให้ข้าวพองได้ไม่ดี % yield ที่ได้จึงต่ำ

ส่วนปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์ทางลบกับ % yield แบบลอการิทึมดังรูปที่ 9 ทั้งนี้อาจเนื่องจากโปรตีนจะขัดขวางการดูดน้ำของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำได้น้อยลง (17) ซึ่งอาจไม่เพียงพอในการเกิด gelatinization ข้าวจึงพองได้ไม่ดี

2. อัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าว

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าวกับปริมาณอะไมโลส พบว่าอัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอะไมโลสแบบพาราโบลา ดังรูปที่ 10 เนื่องจากแป้งซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในข้าวประกอบด้วยส่วนประกอบใหญ่ 2 ส่วน คือ อะไมโลสและอะไมโลเปคติน ดังนั้นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ก็จะมีปริมาณอะไมโลเปคตินต่ำจึงขยายพองตัวได้น้อย เนื่องจากอะไมโลเปคตินมีความสามารถในการขยายพองตัวมากกว่าอะไมโลส (5) นอกจากนี้ความชื้นที่ใช้ในการทดลอง

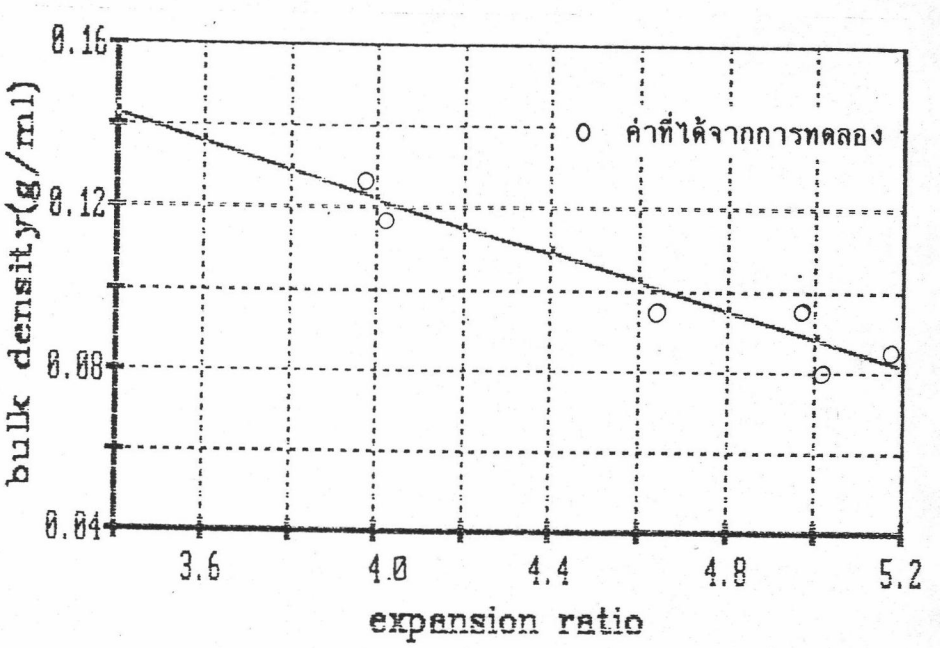
อาจไม่เพียงพอต่อการเกิด gelatinization (6) ทำให้ข้าวมีความสามารถในการขยายพองตัวลดลง เมื่อปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น เช่นเดียวกับผลงานที่มีผู้รายงานไว้(25-28) แต่ Chinnaswamy (29) พบ ว่าอัตราส่วนการพองตัวของข้าวจะ เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น โดยข้าวพองมีอัตราส่วนการพองตัวของ เมล็ดข้าวสูงสุด เมื่อข้าวมีปริมาณอะไมโลส 27 % ความชื้นอยู่ในช่วง 10.5-11.0 % อุณหภูมิในการ puff 250°C

3. ปริมาตรการพองตัว

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรการพองตัวของข้าวกับปริมาณอะไมโลสพบว่า ปริมาตรการพองตัวจะลดลงแบบ เส้นตรง เมื่อปริมาณอะไมโลส เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 11 เนื่องจาก เมื่อปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น ข้าวจะมี % yield และอัตราส่วนการพองตัวลดลงดังตารางที่ 4-5 และรูปที่ 8,10 ดังนั้นปริมาตรการพองตัวที่ได้ก็จะลดลงด้วย

4. Bulk density

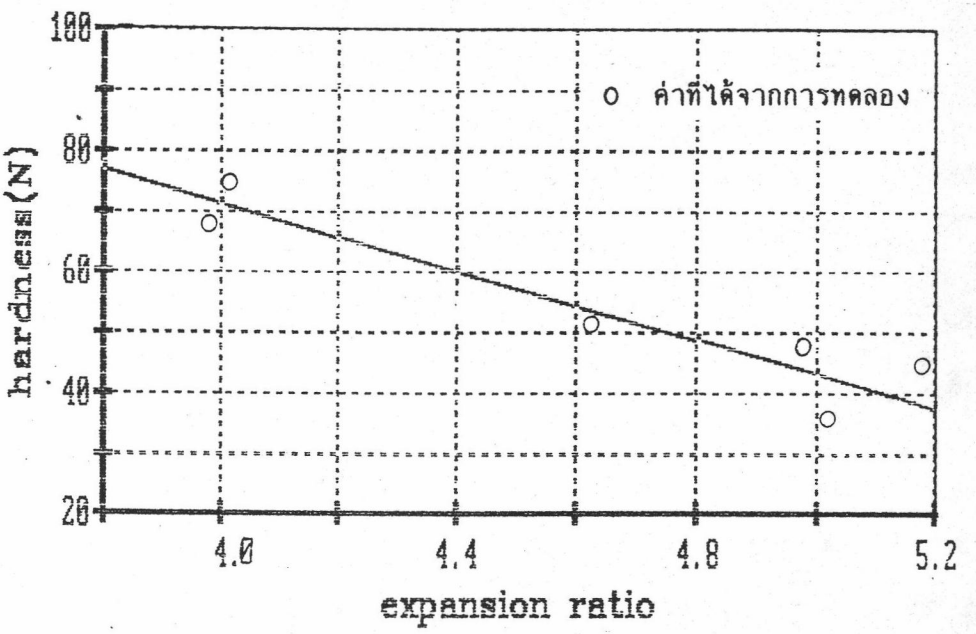
เมื่อพิจารณา bulk density ของข้าวพองที่ได้พบว่า bulk density เพิ่มขึ้นแบบ เป็น เส้นตรงกับปริมาณอะไมโลสที่ เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 12 เนื่องจากค่า bulk density หาได้จากน้ำหนักหารด้วยปริมาตร เมื่อปริมาณอะไมโลสสูงขึ้นอัตราส่วนการพองตัวจะลดต่ำลงดังตารางที่ 5 และรูปที่ 10 ดังนั้น bulk density ของข้าวอะไมโลสสูงจึงสูงตามไปด้วย โดย bulk density มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนการพองตัวของ เมล็ดข้าวแบบ เส้นตรง ตามสมการ $y = 0.26 - 0.034x$ ($R^2=0.92$) ดังรูปที่ 43



รูปที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่าง bulk density กับอัตราส่วนการพองตัวของ เมล็ดข้าว

5. ความแข็ง

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของข้าวพองกับปริมาณอะไมโลสของข้าว พบว่าความแข็งของข้าวพองมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอะไมโลสแบบพาราโบลาดังรูปที่ 13 อันเป็นผลเนื่องมาจากเมื่อปริมาณอะไมโลสสูงขึ้นข้าวจะพองตัวได้น้อยลงดังผลในตารางที่ 5 และรูปที่ 10 ข้าวพองจึงมีความแข็งเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของข้าวพองและอัตราส่วนการพองตัวของข้าว ตามสมการ $y=183.39-28.02x$ ($R^2=0.81$) ดังรูปที่ 44



รูปที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของข้าวพองกับอัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าว

1.2.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

1. สี

จากการพิจารณาสีของข้าวพอง พบว่า ข้าวพองมีสีผิวเป็นสีเหลืองออกน้ำตาล ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่ผิวของข้าวเป็นชั้นอะลูโรนซึ่งมีโปรตีนอยู่มาก (6) เมื่อได้รับความร้อนเกิดการไหม้ก่อนที่ข้าวจะพองตัวได้หมด นอกจากนี้ยังอาจเกิด browning reaction จากโปรตีนและน้ำตาลที่มีอยู่ในข้าว

ส่วนสีของเนื้อข้าวนั้น พบว่าข้าวทุกพันธุ์มีเนื้อข้าวเป็นสีขาว เนื่องจากในเมล็ดข้าวมีองค์ประกอบหลักเป็นแป้ง ส่วนโปรตีนซึ่งเป็นเหตุทำให้ข้าวมีสีคล้ำนั้นจะมี

มากที่ชั้นอะลูโรน เท่านั้น

2. ลักษณะการพอง

เมื่อพิจารณาลักษณะการพองของข้าวพองที่ได้(ตารางที่ 10) พบว่า ข้าวพองที่ได้จากข้าวเหนียวและข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ มีลักษณะที่ดีสามารถพองได้เต็มที่ เนื่องจากในข้าวเหนียวและข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำมีอะไมโลเปคตินอยู่มาก จึงสามารถพองตัวได้ดี (12) ในขณะที่ข้าวเจ้าอะไมโลสสูงจะมีอะไมโลเปคตินอยู่น้อยกว่า ความสามารถในการพองตัวจึงน้อยกว่า ทำให้ข้าวพองที่ได้มีลักษณะการพองแบบพองไม่เต็มที่ นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากข้าวมีปริมาณโปรตีนสูงมักมีชั้นอะลูโรนที่หนา (6) จึงเป็นอุปสรรคต่อการพองตัวของข้าว

3. กลิ่น

จากการประเมินผลทางด้านกลิ่นของข้าวพอง(ตารางที่ 11) พบว่าข้าวทุกพันธุ์ให้ข้าวพองที่มีกลิ่นหอมปกติ ยกเว้นข้าว กข 11 เพียงพันธุ์เดียวที่ให้ข้าวพองมีกลิ่นไหม้เล็กน้อย ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณอะไมโลสที่สูงในข้าว กข 11 (ตารางที่ 3) จึงต้องการน้ำในการเกิด gelatinization มากกว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ ดังนั้นความชื้นที่กำหนดไว้อาจไม่เพียงพอ ประกอบกับปริมาณโปรตีนที่สูงเช่นกัน (ดังตารางที่ 3) เมื่อได้รับความร้อนจึงมีโอกาสไหม้ได้ง่าย

4. รสชาติ

ผู้ทดสอบประเมินผลรสชาติของข้าวพอง (ตารางที่ 12) พบว่า ข้าวทุกพันธุ์ให้รสชาติปกติของข้าว ยกเว้นข้าว กข 11 เท่านั้นที่มีรสขมเล็กน้อย เนื่องจากข้าวพองที่ได้เกิดการไหม้ไปบ้าง

5. ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพอง(ตารางที่ 13) พบว่า ข้าวทุกพันธุ์ให้ข้าวพองที่มีความกรอบดี โดยที่ข้าวพองจากข้าวพันธุ์ นางมล เอส-4 และ กข 11 จะให้ข้าวพองที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง เนื่องจากข้าวทั้งสองพันธุ์มีอัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าวที่ต่ำกว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ ดังผลในตารางที่ 5

6. คะแนนรวม

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังที่รายงานไว้ในตารางที่ 9-13 จะเห็นว่าข้าวเหนียวทั้ง 3 พันธุ์ (กข 6 เหนียวสันป่าตอง และ กข 10) และข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ (ขาวมะลิ 105) มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดี ลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบ ในขณะที่ข้าวพองจากข้าวเจ้าอะไมโลสสูงทั้ง 2 พันธุ์ (นางมล เอส-4 และ กข 11) จะพองได้ไม่เต็มที่ ลักษณะเนื้อสัมผัสกรอบค่อนข้างแข็ง ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านอื่น ๆ

เช่น สี กลิ่นและรสชาติจะใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 9, 11-12) จากผลดังกล่าวข้างต้นเมื่อพิจารณาคะแนนรวมที่ได้ จะเห็นว่า ข้าวพองที่ผลิตจากข้าวเหนียวและข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ มีคะแนนรวมของการประเมินทางประสาทสัมผัสที่สูง คือ อยู่ในช่วง 64-79 คะแนนจากคะแนนเต็ม 100 คะแนน ส่วนข้าวเจ้าอะไมโลสสูงทั้ง 2 พันธุ์ มีคะแนนรวมเพียง 40-46 คะแนน (ดังตารางที่ 14)

จากผลการทดลองที่ได้ทั้งทางด้านคุณภาพการพองตัวของข้าวพอง และการประเมินผลทางประสาทสัมผัส สรุปได้ว่า พันธุ์ที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองคือ พันธุ์ กข 6 โดยมี % yield ประมาณ 72 % อัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าว 5.04 เท่า ปริมาตรการพองตัว 8.46 ml/g bulk density 0.081 g/ml และข้าวพองมีความแข็ง 34.45 นิวตัน ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง กข 10 และขาวมะลิ 105 มี % yield อยู่ในช่วง 64-72 % อัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 4.66-5.19 เท่า ปริมาตรการพองตัว 7.97-8.82 ml/g bulk density 0.084-0.095 g/ml และข้าวพองมีความแข็ง 37.98-53.99 นิวตัน ส่วนข้าวเจ้าอะไมโลสสูงพันธุ์นางมลเอส-4 และ กข 11 มีคุณภาพการพองตัวที่ต่ำ โดยมี % yield ประมาณ 38-41 % อัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าวประมาณ 4 เท่า ปริมาตรการพองตัว 7.65-7.79 ml/g bulk density 0.117-0.128 g/ml และข้าวพองมีความแข็งสูง 68.73-74.85 นิวตัน ข้าวพองที่ได้จากข้าวทุกพันธุ์มีเนื้อข้าวเป็นสีขาว ผิวสีเหลืองออกน้ำตาลเล็กน้อย มีลักษณะการพองที่ดีสามารถพองได้เต็มที่ กลิ่นและรสชาติปกติเช่นเดียวกับข้าวพันธุ์อื่น ๆ ยกเว้นข้าว กข 11 ที่มีกลิ่นไหม้และรสขมเล็กน้อย ส่วนเนื้อสัมผัสมีลักษณะที่ค่อนข้างแข็งเช่นเดียวกับข้าว กข 10 และข้าวเจ้าอะไมโลสสูงทั้ง 2 พันธุ์

2. ศึกษาผลของเกลือ ความชื้นของข้าวเปลือก และอุณหภูมิที่ใช้ puff ต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวเปลือก

จากการวิเคราะห์คุณภาพการพองตัวของข้าวพองที่ผลิตได้จากสภาวะต่าง ๆ อันได้แก่

1. % yield

จากข้อมูลและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน % yield ของข้าวพอง (ตารางที่ 15-16)) พบว่า เกลือ ความชื้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิในการ puff และอิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้น เกลือและอุณหภูมิ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนี้

<u>อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้นต่อ % yield ของข้าวพอง</u>

จากรูปที่ 14 จะเห็นว่าที่ระดับความชื้น 10 และ 13 % % yield ของข้าวพองที่ผลิตได้จากข้าวเปลือกที่ปรับความชื้นด้วยน้ำสูงกว่า เมื่อปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือ แต่ที่ระดับความชื้น 16 และ 19 % การปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือกลับให้ % yield ที่สูงกว่า คาดว่าเนื่องจากที่ระดับความชื้นต่ำ (10 และ 13 %) ข้าวที่ปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือต้องการเวลาในการเกิดความดันไอ (steam pressure) เพียงพอที่จะเกิด bursting นานกว่าข้าวเปลือกที่ปรับความชื้นด้วยน้ำ เพราะว่าสารละลายเกลือมีความดันไอสูงกว่าน้ำ (33) ดังนั้นข้าวจึงมีโอกาสเกิดขอบแข็งเป็นผลให้ข้าวพองตัวได้น้อยหรืออาจไม่พองเลยทำให้ % yield ที่ได้ต่ำ ในขณะที่ที่ระดับความชื้นสูงขึ้น สารละลายเกลือสามารถทำหน้าที่เป็น electrolyte ได้ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในข้าวเปลือกที่ปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือ จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วกว่าเมื่อปรับความชื้นด้วยน้ำ (33) เวลาที่ใช้ในการเกิดความดันไอเพียงพอที่จะเกิด bursting จึงสั้นโอกาสที่จะเกิดขอบแข็งก็น้อยลง % yield ของข้าวพองที่ได้จึงสูงกว่าเมื่อปรับความชื้นด้วยน้ำ

เมื่อความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 13 % % yield ของข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นทั้งสองวิธีก็เพิ่มขึ้นด้วย (ดังรูปที่ 14) เนื่องจากเมื่อความชื้นสูงขึ้นเวลาที่ต้องใช้ในการเกิดความดันไอจะน้อยลงโอกาสที่ข้าวจะพองได้จึงมากกว่า % yield ของข้าวพองที่ได้จึงสูงขึ้น แต่เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 16 และ 19 % ในกรณีของการปรับความชื้นด้วยน้ำ % yield ของข้าวพองที่ได้กลับลดต่ำลง คาดว่าเกิดจากการที่เม็ดแป้งสามารถดูดน้ำและพองตัวได้มากขึ้นเมื่อความชื้นสูงขึ้น ทำให้ช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวและเปลือกแคบลงเป็นผลให้ข้าวพองได้น้อยลง (25) แต่สำหรับการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือ เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 16 % % yield ของข้าวพองที่ได้ก็ยังสูงขึ้น เนื่องจากความสามารถในการเป็น electrolyte ของเกลือดังที่กล่าวข้างต้น นอกจากนี้เกลือยังช่วยให้การดูดซึมน้ำของเม็ดแป้งเป็นไปโดยง่าย การพองตัวจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว (34) % yield ของข้าวพองจึงสูงขึ้น แต่เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 19 % % yield กลับมีแนวโน้มลดต่ำลงอาจเป็นเพราะที่ความชื้นนี้เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวได้มาก จนทำให้ช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวและเปลือกแคบลงทำให้บริเวณผิวของเมล็ดข้าวสัมผัสกับความร้อนมาก น้ำบริเวณผิวเมล็ดจะระเหยไปโดยเร็วทำให้เกิดขอบแข็งขึ้นจนทำให้การพองตัวเป็นไปได้ยาก % yield ของข้าวพองที่ได้จึงมีแนวโน้มลดต่ำลง

<u>อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและอุณหภูมิต่อ % yield ของข้าวพอง</u>

จากรูปที่ 15 จะเห็นว่าที่ระดับอุณหภูมิ 220°C การปรับความชื้นด้วยน้ำจะให้ % yield ของข้าวพองสูงกว่าเมื่อปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือ เนื่องจากสารละลายเกลือมีความดันไอสูงกว่าน้ำ จึงต้องการเวลาในการเกิดความดันไอเพียงพอที่จะเกิด bursting นานกว่าทำให้

% yield ที่ได้เมื่อปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือต่ำกว่าเมื่อไม่มีเกลือ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 250°C เวลาที่ใช้ในการเกิดความดันไอเพียงพอที่จะเกิด bursting ของข้าวเปลือกจากการปรับความชื้นทั้งสองวิธีจะสั้นลงจนมีความแตกต่างน้อยลง % yield ที่ได้จึงใกล้เคียงกัน และเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้นเป็น 280°C เวลาที่ต้องใช้ในการเกิดความดันไอเพียงพอที่จะเกิด bursting ของข้าวเปลือกจากการปรับความชื้นทั้งสองวิธีก็ยิ่งสั้นลงจนมีความแตกต่างน้อยมาก ผลของเกลือในการช่วยให้เม็ดแป้งดูดซึมน้ำได้ง่ายขึ้นก็จะเด่นชัดขึ้นมา (34) ทำให้ % yield ของข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเกลือสูงกว่าเมื่อปรับความชื้นด้วยน้ำ

เมื่อระดับอุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้น % yield ของข้าวพองที่ได้ก็จะสูงตามไปด้วย (ดังรูปที่ 15) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเวลาที่ต้องใช้ในการเกิดความดันไอเพียงพอสำหรับการเกิด bursting ก็จะสั้นตามไปด้วย % yield ของข้าวพองจึงสูงขึ้น

2. ปริมาตรการพองตัว

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 16 จะเห็นว่ามีอิทธิพลร่วมกันระหว่าง เกลือและความชื้น เกลือและอุณหภูมิ และระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิต่อปริมาตรการพองตัว ดังนี้

<u>อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้นต่อปริมาตรการพองตัว</u>

จากรูปที่ 16 จะเห็นว่า ที่ระดับความชื้น 10 และ 13 % การปรับความชื้นด้วยน้ำ ให้ข้าวพองที่มีปริมาตรการพองตัวมากกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลืออย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารละลายเกลือมีความดันไอสูงกว่าความดันไอของน้ำมาก (34) ดังนั้นข้าวที่ปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือ จึงต้องใช้เวลาในการเกิดความดันไอเพียงพอที่จะเกิด bursting มากกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำ ทำให้เกิดขอบแข็งขึ้นก่อนที่ข้าวจะพองได้เต็มที่ข้าวจึงมีปริมาตรการพองตัวน้อยกว่า

ส่วนที่ระดับความชื้น 19 % การปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือจะให้ข้าวพองที่มีปริมาตรการพองตัวมากกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำ เกลือจะช่วยให้เม็ดแป้งดูดน้ำได้ง่ายขึ้น (34) การพองตัวจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว และอาจมีสาเหตุจากที่ระดับความชื้นนี้จะมากเพียงพอที่จะทำให้สารละลายเกลือทำหน้าที่เป็น electrolyte ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว (33) ดังนั้นเวลาที่ต้องใช้ในการเกิดความดันไอเพียงพอที่จะเกิด bursting จึงน้อยกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำ โอกาสที่จะเกิดขอบแข็งก็น้อยลงจึงสามารถขยายพองตัวได้มากกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำซึ่งต้องใช้เวลาในการเกิดความดันไอ มากกว่า

ที่ระดับความชื้น 16 % การปรับความชื้นทั้งสองวิธีให้ปริมาตรการพองตัว

ของข้าวพองไม่แตกต่างกัน คาดว่าเกิดจากผลของความดันไอของเกลือและความสามารถในการเป็น electrolyte ของสารละลายเกลือมีผลพอ ๆ กัน

และเมื่อความชื้นเพิ่มจาก 10 เป็น 13 % ข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นทั้งสองวิธีจะมีปริมาตรมากขึ้น (ดังรูปที่ 16) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากที่ระดับความชื้น 10 % เม็ดแป้งสามารถดูดน้ำและพองตัวได้ระดับหนึ่ง แต่เมื่อความชื้นสูงขึ้นเม็ดแป้งจะสามารถดูดน้ำและพองตัวได้มากขึ้น และอาจเกิดจากที่ระดับความชื้น 13 % เวลาที่ต้องใช้ในการเกิดความดันไอน้อยกว่าที่ระดับความชื้น 10 % โอกาสที่จะเกิดขอบแข็งก็น้อยลงด้วย จากเหตุผลทั้งสองประการจึงทำให้ข้าวพองจากระดับความชื้น 13 % มีปริมาตรมากกว่าข้าวพองจากระดับความชื้น 10 %

แต่เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 16 และ 19 % ข้าวพองจะมีปริมาตรการพองตัวลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลงานที่เคยมีผู้รายงานไว้ (24) อาจเนื่องจากเมื่อความชื้นสูงขึ้นเม็ดแป้งสามารถดูดน้ำได้มากขึ้นจึงพองตัวได้มากขึ้นตามปริมาณน้ำที่ดูดไว้ และที่ความชื้นสูงความดันไอที่เกิดขึ้นก็สูงตามไปด้วยทำให้เม็ดแป้งมีโอกาสแตกได้ ข้าวพองจึงมีปริมาตรการพองตัวลดลง

<u>อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและอุณหภูมิต่อปริมาตรการพองตัว</u>

จากรูปที่ 17 เห็นได้ว่า ที่ทุกระดับอุณหภูมิ การปรับความชื้นด้วยน้ำจะให้ข้าวพองที่มีปริมาตรการพองตัวมากกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลืออย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือต้องใช้เวลาในการเกิดความดันไอมากกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำ จึงอาจเกิดขอบแข็งขึ้นซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการพองตัวของข้าวปริมาตรการพองตัวของข้าวพองที่ได้จึงน้อยลง

ที่ระดับอุณหภูมิ 280°C ข้าวจะมีปริมาตรการพองตัวน้อยกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 220 และ 250°C อย่างมีนัยสำคัญ (ดังรูปที่ 17) คาดว่าเกิดจากอุณหภูมิที่ใช้สูงเกินไปทำให้ข้าวไหม้ก่อนที่จะพองได้เต็มที่ เป็นผลให้ข้าวมีปริมาตรการพองตัวน้อยกว่าที่ระดับอุณหภูมิอื่น

<u>อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นและอุณหภูมิต่อปริมาตรการพองตัวของเมล็ดข้าว</u>

จากรูปที่ 18 เมื่อความชื้นเปลี่ยนไป ข้าวพองที่ได้จากอุณหภูมิทั้งสามระดับจะให้ผลไปในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อความชื้นเพิ่มจาก 10 เป็น 13 % จะทำให้ข้าวมีปริมาตรการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากที่ระดับความชื้น 13 % เม็ดแป้งสามารถดูดน้ำและพองตัวได้มาก นอกจากนี้ความดันไอที่เกิดขึ้นก็มากกว่าที่ระดับความชื้น 10 % ทำให้ข้าวมีปริมาตรการพองตัวมากกว่า แต่เมื่อความชื้นเพิ่มเป็น 16 และ 19 % เม็ดแป้งจะสามารถดูดน้ำและพองตัวได้มากขึ้นไปอีก ทำให้เกิดความดันไอสูงตามไปด้วยจนอาจทำให้เม็ดแป้งฉีกขาดได้ ข้าวจึงมีปริมาตรการพองตัวน้อยลงตามลำดับ

ที่ระดับความชื้น 10 และ 16 % ข้าวพองที่ได้จากอุณหภูมิทั้งสามระดับมีปริมาตรการพองตัวที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ดังรูปที่ 18) ในขณะที่ ที่ระดับความชื้น 13 % ระดับอุณหภูมิ 250°C จะให้ข้าวพองที่มีปริมาตรการพองตัวสูงกว่าระดับอุณหภูมิอื่น ๆ อาจเป็นเพราะว่าที่ระดับอุณหภูมินี้ต้องการเวลาในการเกิดความดันไอน้อยกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 220°C โอกาสที่เกิดขอบแข็งก็น้อย ข้าวจึงสามารถขยายพองตัวได้มาก ส่วนที่อุณหภูมิ 280°C อาจสูงเกินไปทำให้ข้าวไหม้ก่อนที่จะพองตัวได้เต็มที่ ข้าวพองจึงมีปริมาตรการพองตัวน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 250°C เช่นกัน ส่วนที่ระดับความชื้น 19 % ปริมาตรการพองตัวของข้าวจะต่ำลง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้น คาดว่าเกิดจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความดันไอจะเกิดได้เร็วและรุนแรงขึ้นโอกาสที่เม็ดแป้งจะฉีกขาดก็มากไปด้วย ทำให้ปริมาตรการพองตัวของข้าวพองที่ได้ลดลง

จากผลดังกล่าวข้างต้น จะเห็นว่าสภาวะที่ให้ข้าวพองที่มีปริมาตรการพองตัวสูง คือ การปรับความชื้นด้วยน้ำให้ได้ความชื้น 13 % แล้วนำมา puff ที่อุณหภูมิ 250°C

3. ความแข็ง

จากข้อมูลและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 15-16) พบว่าอิทธิพลร่วมไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าปัจจัยทั้งสามเป็นอิสระต่อกัน จึงสามารถทดสอบอิทธิพลหลักได้ จากการทดสอบ พบว่า อิทธิพลของความชื้นและอิทธิพลของอุณหภูมิมีนัยสำคัญ ดังนี้

<u>อิทธิพลของความชื้นต่อความแข็งของข้าวพอง</u>

ข้าวพองที่ได้จากระดับความชื้น 10, 16 และ 19 % มีความแข็งไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ข้าวพองจากระดับความชื้น 13 % มีความแข็งน้อยกว่าข้าวพองจากระดับความชื้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ดังรูปที่ 19) เนื่องจากที่ระดับความชื้นนี้จะให้ข้าวพองที่มีปริมาตรการพองตัวสูงกว่าข้าวพองจากระดับความชื้นอื่น ๆ (ดังตารางที่ 15 และรูปที่ 16,18)

<u>อิทธิพลของอุณหภูมิต่อความแข็งของข้าวพอง</u>

จากรูปที่ 20 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ข้าวพองมีความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย โดยข้าวพองที่ได้จากระดับอุณหภูมิ 280°C มีความแข็งมากที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้สูงเกินไปทำให้ข้าวอาจไหม้ไปบ้างก่อนที่ข้าวจะพองตัวได้หมด เป็นผลให้ข้าวมีปริมาตรการพองตัวที่ต่ำกว่าระดับอุณหภูมิอื่น (ดังรูปที่ 17-18) ข้าวจึงมีความแข็งมากกว่า

4. Bulk density

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ดังตารางที่ 16) พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้น ความชื้นและอุณหภูมิมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนี้

<u>อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้นต่อ bulk density ของข้าวพอง</u>

จากรูปที่ 21 จะเห็นว่า ที่ระดับความชื้น 10 % ข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือมี bulk density สูงกว่าข้าวพองจากการปรับความชื้นด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก bulk density หาได้จากน้ำหนักของข้าวพองหารด้วยปริมาตรของข้าวพอง ที่ระดับความชื้นนี้ข้าวพองได้จากการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือมีปริมาตรการพองตัวน้อยกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำเปล่ามาก bulk density ของข้าวจึงสูง

ส่วนที่ระดับความชื้น 13, 16 และ 19 % ข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นทั้งสองวิธีมี bulk density ไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระดับความชื้น 13 และ 19 % bulk density ของข้าวพองจากการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือ มีค่ามากกว่าค่าของข้าวพองจากการปรับความชื้นด้วยน้ำ เนื่องด้วยที่ความชื้นทั้งสองระดับนี้การปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือจะให้ข้าวพองที่มีปริมาตรการพองตัวที่น้อยกว่าดังผลในรูปที่ 16

เมื่อปรับความชื้นด้วยน้ำเปล่า ข้าวพองที่ได้จากระดับความชื้น 19 % จะมี bulk density สูงกว่าข้าวพองจากระดับความชื้นอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เป็นเพราะว่าที่ระดับความชื้นนี้ข้าวพองจะมีปริมาตรการพองตัวน้อยที่สุด (ดังรูปที่ 16) ส่วนที่ระดับความชื้น 13 % ข้าวพองมี bulk density น้อยกว่าข้าวพองจากระดับความชื้นอื่น ๆ เนื่องจากข้าวพองจากระดับความชื้นนี้มีปริมาตรการพองตัวสูง (ดังรูปที่ 16)

ส่วนการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือจะให้ข้าวพองที่มี bulk density สูง ที่ระดับความชื้น 10 และ 19 % เนื่องจากความชื้นทั้งสองระดับนี้จะให้ข้าวพองที่มีปริมาตรการพองตัวต่ำ ในขณะที่ระดับความชื้น 13 % จะให้ข้าวพองที่มี bulk density ต่ำกว่าข้าวพองจากระดับความชื้นอื่น ๆ(ดังรูปที่ 21) เป็นเพราะที่ระดับความชื้นนี้ข้าวพองมีปริมาตรการพองตัวสูงกว่าระดับความชื้นอื่น (ดังรูปที่ 16)

<u>อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นและอุณหภูมิต่อ bulk density ของข้าวพอง</u>

จากรูปที่ 22 จะเห็นว่าที่ทุกระดับความชื้นข้าวพองจากระดับอุณหภูมิ 280°C จะมี bulk density สูงกว่าระดับอุณหภูมิอื่น ๆ เนื่องด้วยอุณหภูมิ 280°C นี้สูงเกินไปจนทำให้ข้าวเกิดการไหม้ไปก่อนที่ข้าวจะพองตัวได้หมด เป็นผลให้ข้าวมีปริมาตรการพองตัวที่ต่ำ bulk density ที่ได้จึงสูง

และที่ระดับอุณหภูมิ 220°C ข้าวพองจากระดับความชื้น 10 และ 19 % มี bulk density สูงกว่าข้าวพองจากระดับความชื้นอื่น เป็นเพราะว่าที่ระดับความชื้นทั้งสองนี้จะให้ข้าวพองที่มีปริมาตรการพองตัวต่ำ (ดังรูปที่ 18)

ที่ระดับอุณหภูมิ 250 และ 280°C ข้าวพองที่ผลิตจากระดับความชื้น 19 % จะมี bulk density สูงกว่าระดับความชื้นอื่น ๆ เนื่องจากที่ระดับความชื้นนี้เม็ดแป้งสามารถ

ดูดน้ำและพองตัวได้มากกว่าระดับความชื้นอื่น ๆ นอกจากนี้ความดันไอที่เกิดก็สูงตามไปด้วยจนทำให้เม็ดแป้งฉีกขาด ข้าวพองจึงมีปริมาตรการพองตัวต่ำ bulk density ของข้าวพองจึงสูง

ในขณะที่ข้าวพองจากระดับความชื้น 13 % ที่ทุกระดับอุณหภูมิจะมี bulk density ต่ำกว่าข้าวพองจากระดับความชื้นอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เป็นเพราะว่าที่ความชื้นนี้เม็ดแป้งจะพองตัวได้มากกว่าระดับความชื้นอื่น ข้าวพองที่ได้จึงมีปริมาตรการพองตัวสูง bulk density ของข้าวจึงต่ำ

3. ศึกษาผลของสภาวะในกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวพอง

3.1 ผลของปริมาณอะไมโลสและชนิดของแป้ง

1. Water-absorption Index (WAI)

จากการวิเคราะห์หา WAI ของแป้งดิบและแป้งข้าวพองของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ และผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ 17-18) พบว่า ปริมาณอะไมโลสของข้าวมีผลน้อยมาก เมื่อเทียบกับชนิดของแป้ง แต่ปัจจัยทั้งสองก็มีอิทธิพลร่วมกันต่อ WAI ของแป้ง ดังนี้

ผลของปริมาณอะไมโลส

จากรูปที่ 23 จะเห็นว่าในแป้งดิบของข้าวเหนียวมี WAI ต่ำกว่าข้าวเจ้าเล็กน้อย เนื่องจากอะไมโลเปคตินซึ่งมีอยู่มากในข้าวเหนียว มี primary และ secondary hydroxyl group เป็นจำนวนมาก จึงสามารถเกิด H-bond ภายในโมเลกุลหรือกับโมเลกุลอื่น (34) น้ำจึงเข้าไปจับกับโมเลกุลของอะไมโลเปคตินได้ยาก ทำให้แป้งดิบของข้าวเหนียวมี WAI ต่ำกว่าข้าวเจ้า แต่เมื่อข้าวผ่านกระบวนการ puff แล้วแป้งข้าวพองของข้าวเหนียวกลับมี WAI สูงกว่าข้าวเจ้า ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการ puff ไปทำลาย H-bond ภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลของแป้ง ทำให้ hydroxyl group ซึ่งมีอยู่มากในโมเลกุลของอะไมโลเปคตินเป็นอิสระจึงสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น (34) ประกอบกับการพองตัวของเม็ดแป้งทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งมากขึ้น น้ำจึงสามารถแพร่เข้าไปในเม็ดแป้งได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น แป้งข้าวพองของข้าวเหนียวซึ่งมีอะไมโลเปคตินอยู่มากจึงมีค่า WAI สูงกว่าแป้งข้าวพองของข้าวเจ้าที่มีอะไมโลเปคตินอยู่น้อยกว่า

ผลของชนิดของแป้ง

จากข้อมูลและการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 17-18) จะเห็นได้ว่า การ puff มีผลทำให้แป้งข้าวพองที่ได้มี WAI สูงขึ้นมากที่ทุกระดับปริมาณอะไมโลส ดังรูปที่ 23 เนื่องจากในแป้งดิบเม็ดแป้งจะอัดกันแน่น อีกทั้งในโมเลกุลของแป้งยังมีแรงยึดเหนี่ยว

กัน น้ำจึงเข้าไปจับกับโมเลกุลของแป้งได้ยาก แต่เมื่อแป้งดิบได้รับความร้อนในกระบวนการ puff แรงยึดเหนี่ยวเหล่านั้นจะถูกทำลายลง ทำให้ hydroxyl group ในโมเลกุลแป้งเป็นอิสระจึงสามารถเกิด H-bond กับน้ำได้ ประกอบกับการพองตัวของเม็ดแป้งทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งมากขึ้น น้ำจึงสามารถแพร่เข้าไปในเม็ดแป้งได้สะดวกและรวดเร็ว ทำให้แป้งข้าวพองมี WAI สูงกว่าแป้งดิบ

2. Water-solubility Index (WSI)

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ 18) พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณอะไมโลสและชนิดของแป้งมีอิทธิพลร่วมกันต่อ WSI ของแป้ง ดังนี้

ผลของปริมาณอะไมโลส

จากรูปที่ 24 จะเห็นว่าทั้งในแป้งดิบและแป้งข้าวพอง ข้าวเหนียวซึ่งมีอะไมโลสต่ำมี WSI สูงกว่าข้าวเจ้ามาก คาดว่าเกิดจากความร้อนทำให้โมเลกุลอะไมโลเปคตินแตกออกเป็นโมเลกุลสายสั้น ๆ (34) จึงสามารถหลุดออกจากเม็ดแป้งได้ ในขณะที่โมเลกุลอะไมโลสในข้าวเจ้ามีขนาดใหญ่กว่าโอกาสที่จะหลุดออกจากเม็ดแป้งจึงน้อย ทำให้ข้าวเจ้าซึ่งมีปริมาณอะไมโลสอยู่มากมี WSI ต่ำกว่าข้าวเหนียว

ผลของชนิดของแป้ง

WSI ของแป้งดิบทั้งในกรณีของข้าวเหนียวและข้าวเจ้าจะสูงกว่า WSI ของแป้งข้าวพองซึ่งน่าจะเกิดจากสภาวะที่ใช้ในการ puff คือ ที่ระดับความชื้นของข้าวเปลือก 14% อุณหภูมิ 250°C ทำให้โมเลกุลของแป้งแตกออกที่ตำแหน่ง 1-4 bond และ 1-6 bond (34) เป็นโมเลกุลเส้นตรงสายยาว ๆ มากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากการทดสอบแป้งด้วยสารละลายไอโอดีน โดยจะให้สีม่วงอมแดงสำหรับข้าวเหนียวและสีน้ำเงินกับข้าวเจ้า การที่โมเลกุลเป็นเส้นตรงมากขึ้น มีผลให้แป้งข้าวพองมีการละลายต่ำลง

3. Brabender Visco-amylogram

จากการศึกษา amylogram ของแป้งดิบและแป้งข้าวพองของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งกับอุณหภูมิด้วยเครื่อง Viscograph พบว่า ในกรณีของแป้งดิบ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำแป้งให้สูงขึ้น ความร้อนจะไปทำลายแรงยึดเหนี่ยวภายในและระหว่างโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเปคติน ทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำได้มากขึ้น น้ำที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งจะน้อยลง ทำให้การเคลื่อนไหวของเม็ดแป้งเป็นไปได้ยากขึ้น ความหนืดของน้ำแป้งจะเริ่มสูงขึ้น จนถึงอุณหภูมิหนึ่งการดูดน้ำจะเป็นไปอย่างรวดเร็วพร้อมกับเม็ดแป้งจะพองตัวขึ้นมาก ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมินี้เรียกว่า อุณหภูมิการเกิดเจล จากการตรวจสอบ พบว่า ข้าวเหนียว (กข 6 กข 10 และเหนียวสันป่าตอง) มี

อุณหภูมิการเกิดเจลอยู่ในช่วง 64-65°C ซึ่งต่ำกว่าข้าวเจ้าทั้งสามพันธุ์ (ขาวมะลิ 105 นางมลเอส-4 และ กข 11) โดยข้าวเจ้ามีอุณหภูมิการเกิดเจลอยู่ในช่วง 75-78°C การที่ข้าวเหนียวมีอุณหภูมิการเกิดเจลต่ำกว่าข้าวเจ้า มีสาเหตุมาจากการที่ข้าวเหนียวมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเปคตินซึ่งมี hydroxyl group อยู่เป็นจำนวนมาก จึงสามารถเกิด H-bond กับโมเลกุลของน้ำได้มาก นอกจากนี้การที่โมเลกุลอะไมโลเปคตินมีกิ่งก้านมาก จึงไม่สามารถเข้าใกล้กันได้มากนัก น้ำจึงสามารถซึมผ่านเข้าไปในเม็ดแป้งได้สะดวกและรวดเร็วกว่าข้าวเจ้าซึ่งมีโมเลกุลอะไมโลสอัดกันแน่นอยู่ภายในเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งของข้าวเหนียวดูดน้ำได้มากและเร็ว อุณหภูมิการเกิดเจลของข้าวเหนียวจึงต่ำกว่าข้าวเจ้า

เมื่อให้ความร้อนต่อไปอีก เม็ดแป้งก็จะแตกเป็นผลให้ความหนืดของแป้งเปียกลดลงและในช่วงที่ทำให้เย็นลงถึง 50°C ความหนืดของแป้งเปียกของข้าวเหนียวจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ข้าวเจ้ามีความหนืดของแป้งเปียกสูงขึ้นมาก โดยเฉพาะข้าวเจ้าอะไมโลสสูงพันธุ์ กข 11 เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิต่ำลงโมเลกุลของอะไมโลสจะจับกันเอง หรือจับกับโมเลกุลของอะไมโลเปคตินใหม่เป็นผลให้น้ำที่เคยจับอยู่ก่อนถูกกีดกันออกไป และส่วนที่จับกันนั้นจะมีลักษณะเป็นผลึก เจลจึงมีความหนืดเพิ่มขึ้นปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการคืนตัว(retrogradation) (18,34) ในขณะที่ในข้าวเหนียวซึ่งมีอะไมโลเปคตินเป็นองค์ประกอบสำคัญ เกิดการคืนตัวเพียงเล็กน้อย เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลเปคตินมีกิ่งก้านมากมายจึงเคลื่อนไหวได้ช้าและไม่สามารถเข้าใกล้กันได้มากนัก (34)

ส่วนแป้งข้าวพองจะมี amylogram ที่แตกต่างจากแป้งดิบ โดยความหนืดเริ่มต้นที่ 30°C ของแป้งดิบจะเป็นศูนย์ ในขณะที่ความหนืดเริ่มต้นของแป้งข้าวพองมีค่าสูงมาก คือ เมื่อนำแป้งข้าวพองมาผสมน้ำ แป้งสามารถดูดน้ำได้จนหมดจึงมีความหนืดสูงมาก ในการทดลองจึงได้นำเอาเครื่องปั่นความเร็วสูงมาช่วยในการเตรียมน้ำแป้ง เพื่อผสมแป้งและน้ำให้เข้ากันอย่างทั่วถึง จากการใช้เครื่องปั่นเข้าช่วยในการเตรียมน้ำแป้ง ทำให้แป้งมีความหนืดลดลงมา อยู่ในช่วง 100-1,000 B.U (รูปที่ 25-26) การที่แป้งข้าวพองมีความหนืดเริ่มต้นสูงเนื่องจากในน้ำเย็นเม็ดแป้งของแป้งดิบดูดน้ำและพองตัวได้น้อยจึงไม่มีผลต่อความหนืด แต่แป้งข้าวพองสามารถดูดและละลายน้ำเย็นได้สูง เมื่อเม็ดแป้งดูดน้ำเข้าไปจะขยายพองตัวขึ้น น้ำที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งก็น้อยลง แป้งข้าวพองจึงมีความหนืดสูง นอกจากนี้ในแป้งข้าวพองด้วยกันที่ผลิตจากข้าวเหนียวและข้าวเจ้าก็มี amylogram ที่ต่างกันด้วย (ดังรูปที่ 26) โดยความหนืดที่ 30°C ของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากข้าวเหนียวทั้งสามพันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 500-1,000 B.U ในขณะที่แป้งข้าวพองของข้าวเจ้ามีความหนืดที่ 30°C เพียง 110-150 B.U เนื่องจากแป้งข้าวพองจากข้าวเหนียวมี WAI และ WSI สูงกว่าข้าวเจ้ามาก(ตารางที่ 17) จึงสามารถดูดน้ำและ

พองตัวได้มาก ความหนืดของน้ำแป้งจึงสูง และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากข้าวเหนียวจะลดลงจนถึงจุดหนึ่งแล้วเริ่มคงที่ ส่วนแป้งข้าวพองของข้าวเจ้านั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดจะคงที่ในช่วงแรก แล้วจึงเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่งแล้วเริ่มคงที่อีก และความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อทำให้เย็นลงที่ 50° C การที่แป้งข้าวพองจากข้าวเหนียวมีความหนืดลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากเม็ดแป้งของแป้งข้าวพองสามารถดูดจับน้ำได้มาก (ตารางที่ 17) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีกทั้งยังมีการกวนของเครื่อง Brabender Visco-amylogragh ด้วยจะทำให้เม็ดแป้งแตก น้ำที่อยู่ภายในเม็ดแป้งก็จะออกมาทำให้ความหนืดของแป้งเปียกลดลง (34) ส่วนในกรณีของแป้งข้าวพองจากข้าวเจ้านั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดจะคงที่ในช่วงแรกแล้วจึงเพิ่มสูงขึ้น เป็นเพราะว่าสภาวะที่ใช้ในการ puff นั้น ทำให้เม็ดแป้งเกิด gelatinization ไปบางส่วนเท่านั้น เม็ดแป้งจึงสามารถดูดน้ำและพองตัวได้อีกเมื่อมีน้ำทำให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้น และในช่วงทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิ 50° C ความหนืดของแป้งข้าวพองจากข้าวเจ้าจะเพิ่มสูงขึ้นอีก คาดว่าเกิดจากการเกิดการคืนตัวของอะไมโลส

3.2 <u>ผลของเกลือ ความชื้นของข้าวเปลือกและอุณหภูมิ</u>

1. Water-absorption Index (WAI)

จากการวิเคราะห์หาค่า WAI ของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากสภาวะต่าง ๆ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการดูดจับน้ำของแป้ง และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า เกลือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อ WAI ของแป้งมากที่สุด รองลงมาคือความชื้น ส่วนอุณหภูมิมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น โดยอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยก็มีนัยสำคัญด้วย (ตารางที่ 19-20) ดังนี้

<u>อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้นต่อ WAI ของแป้ง</u>

การปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเกลือเข้มข้น 2 % จะทำให้แป้งข้าวพองที่ได้มี WAI มากกว่าเมื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำที่ทุกระดับความชื้น (ดังรูปที่ 27) เนื่องจากเกลือช่วยให้เม็ดแป้งดูดน้ำได้ง่าย การพองตัวของเม็ดแป้งจึงเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและพองได้มากกว่าเมื่อไม่มีเกลือ ทั้งยังทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งมากขึ้น (34) นอกจากนี้การที่เม็ดแป้งพองตัวได้มาก โอกาสที่โมเลกุลของแป้งจะอยู่ห่างกันจึงมีมากขึ้น ทำให้น้ำสามารถซึมเข้าไปในเม็ดแป้งและเกิด H-bond กับโมเลกุลแป้งได้ง่ายและมากขึ้นอีกด้วย

จากรูปที่ 27 จะเห็นว่า เมื่อความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 16 % แป้งข้าวพองที่ได้จะมี WAI สูงตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อความชื้นสูงขึ้นเม็ดแป้งก็สามารถดูดน้ำและพองตัวได้มาก ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งมากขึ้น เหมือนกรณีเมื่อใช้เกลือปรับความชื้นแป้งจึงมี WAI สูงขึ้น แต่เมื่อความชื้นเพิ่มเป็น 19 % WAI ของแป้งกลับมีแนว

โน้มที่จะลดลง เหมือนกรณีของปริมาตรการพองตัวของ เมล็ดข้าว ทั้งนี้อาจ เนื่องจากที่สภาวะนี้ โม เลกุลของแป้งอาจจับตัวกัน เป็นโม เลกุลใหญ่ (34) น้ำจึงแทรก เข้าไปในโม เลกุลแป้งได้ยาก แป้งข้าวพองจึงมีWAI ลดลงสอดคล้องกับผลงานที่มีผู้รายงานไว้ (29,35)

อิทธิพลร่วมระหว่าง เกลือและอุณหภูมิต่อ WAI ของแป้ง

แป้งข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นของข้าว เปลือกด้วยน้ำ เกลือจะมี WAI สูงกว่า เมื่อปรับความชื้นของข้าว เปลือกด้วยน้ำที่ทุก ๆ ระดับอุณหภูมิที่ใช้ puff (ดังรูปที่ 28) เช่น เดียวกับกรณีที่มีอิทธิพลร่วมกับความชื้น นั่นคืออาจกล่าวได้ว่าการปรับความชื้นของข้าว เปลือกด้วยน้ำ เกลือ จะทำให้แป้งข้าวพองมี WAI สูงกว่าการปรับความชื้นของข้าว เปลือกด้วยน้ำที่ทุกระดับความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้

จากรูปที่ 28 จะ เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้น WAI ของแป้งข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นของข้าว เปลือกด้วยน้ำก็มีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากความร้อนไปทำลาย H-bond ที่อยู่ใน เม็ดแป้ง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโอกาสที่ H-bond จะถูกทำลายก็มีมากขึ้น ทำให้มี -OH อิสระมาก จึงสามารถจับกับโม เลกุลน้ำได้มาก แป้งข้าวพองจึงมี WAI สูงขึ้น แต่ในกรณีของการปรับความชื้นของข้าว เปลือกด้วยน้ำ เกลือ แป้งข้าวพองจะมี WAI ลดลง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้น คาดว่า เกิดจากที่สภาวะนี้ทำให้โม เลกุลแป้งแตกออก เป็นโม เลกุล เล็ก ๆ ได้มาก จึงสามารถซึมผ่านผนัง เม็ดแป้งออกมาภายนอก (34) ทำให้โม เลกุลแป้งที่ เหลืออยู่ใน เม็ดแป้งน้อยลง แป้งข้าวพองจึงมี WAI ลดลงสอดคล้องกับผลงานที่ เคยมีผู้รายงานไว้ (27,35,36)

อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นและอุณหภูมิ

ผลของความชื้นต่อ WAI ของแป้งข้าวพองที่ได้ เมื่อมีอิทธิพลร่วมกับอุณหภูมิ จะ เหมือน เมื่อมีอิทธิพลร่วมกับ เกลือ คือ เมื่อความชื้น เพิ่มจาก 10 เป็น 16 % แป้งข้าวพองก็มี WAI สูงขึ้น เช่นกัน แต่ เมื่อความชื้น เพิ่ม เป็น 19 % (ดังรูปที่ 29) WAI ของแป้งกลับมีแนวโน้มลดลงโดยมี เหตุผล เช่น เดียวกัน

จากผลการวิ เคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 20) พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นและอุณหภูมิที่มีต่อ WAI ของแป้งข้าวพองน้อยมาก เมื่อ เทียบกับปัจจัยอื่น โดยที่ระดับความชื้น 10 และ 13 % แป้งข้าวพองที่ได้จากแต่ละอุณหภูมิจะมี WAI ที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากที่ความชื้นต่ำความร้อนจะไปทำลาย H-bond ตรงส่วน amorphous regions ได้ ไม่แตกต่างกัน แต่ เมื่อความชื้น เพิ่มสูงขึ้น เป็น 16 และ 19 % และความร้อนที่ใช้สูงขึ้นด้วยจะชักนำไปสู่การทำลาย H-bond ในส่วน crystalline region ทำให้โม เลกุลแป้งมีโอกาสแตกออก เป็นโม เลกุล เล็ก (37) เมื่อนำแป้งมาละลายน้ำโม เลกุล เล็ก ๆ เหล่านี้ จะสามารถผ่าน

ผนัง เม็ดแป้งออกมาภายนอกได้กลาย เป็นส่วนที่ละลายน้ำ ทำให้ภายใน เม็ดแป้งมีโม เลกุลแป้ง เหลือน้อยลง แป้งข้าวพองที่ได้จึงมี WAI ลดลง

2. Water-solubility Index (WSI)

จากข้อมูลและผลการวิ เคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 19-20) ทุกปัจจัยและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีนัยสำคัญ เช่น เดียวกับกรณีของ WAI ของแป้ง ดังนี้

<u>อิทธิพลร่วมระหว่าง เกลือและความชื้น</u>

จากรูปที่ 30 จะ เห็นว่า แป้งข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำ เกลือมี WSI สูงกว่า เมื่อไม่มี เกลือที่ทุก ๆ ระดับความชื้น เนื่องจาก เกลือช่วยให้เม็ดแป้งดูดน้ำและพองตัวได้มาก ทำให้โม เลกุล เล็ก ๆ มีโอกาสผ่านผนัง เม็ดแป้งออกมาภายนอกได้มากขึ้นกลาย เป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ แป้งจึงมี WSI สูงขึ้น

เมื่อความชื้นของข้าว เปลือกสูงขึ้น (10-19 %) WSI ของแป้งข้าวพองที่ได้ก็สูงตามไปด้วย (ดังรูปที่ 30) เป็น เพราะว่า เมื่อความชื้นสูงขึ้น เม็ดแป้งสามารถดูดน้ำและพองตัวได้มากขึ้น ดังจะ เห็นได้จาก WAI ของแป้งที่ เพิ่มขึ้น (รูปที่ 27) โม เลกุล เล็ก ๆจึงผ่านผนัง เม็ดแป้งออกมาได้มาก แป้งข้าวพองจึงมี WSI สูงขึ้น ยก เว้น เมื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำแป้งข้าวพองจะมี WSI ลดลง เมื่อความชื้น เพิ่มขึ้น เป็น 16 และ 19 % เนื่องจากที่สภาวะนี้แป้งมี WAI ลดลง โอกาสที่โม เลกุล เล็กจะซึมผ่านออกมาภายนอก เม็ดแป้งจึง เป็นไปได้โดยยาก WSI ของแป้งข้าวพองจึงต่ำลง

<u>อิทธิพลร่วมระหว่าง เกลือและอุณหภูมิ</u>

จากรูปที่ 31 จะ เห็นว่า เกลือช่วยให้แป้งข้าวพองมี WSI สูงขึ้นที่ทุกระดับอุณหภูมิในการ puff เหมือนในกรณีที่มีอิทธิพลร่วมกับความชื้น นั่นคือ การปรับความชื้นของข้าว เปลือกด้วยน้ำ เกลือจะทำให้แป้งข้าวพองที่ได้มี WSI สูงกว่า เมื่อไม่มี เกลือที่ทุกระดับความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้นแป้งข้าวพองที่ได้จะมี WSI สูงขึ้นด้วย (รูปที่ 31) สอดคล้องกับผลงานที่ เคยมีผู้รายงานไว้ (27,35,36) เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโอกาสที่ความร้อนจะไปทำลายพันธะภายในโม เลกุลแป้งให้แตกออก เป็นโม เลกุล เล็กก็มากขึ้นด้วย (34) ดังนั้น เมื่อนำแป้งมาละลายน้ำ โม เลกุล เหล่านั้นจะสามารถผ่านผนัง เม็ดแป้งออกมา เป็นส่วนที่ละลายน้ำได้แป้งข้าวพองจึงมี WSI สูงขึ้น

<u>อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นและอุณหภูมิ</u>

เมื่อความชื้นของข้าว เปลือกสูงขึ้นจาก 10 เป็น 16 % WSI ของแป้งข้าวพองที่ได้จากทั้งสามระดับอุณหภูมิในการ puff มีแนวโน้มสูงขึ้น (ดังรูปที่ 32) เนื่อง

จากแป้งสามารถดูดจับน้ำได้มากขึ้น (รูปที่ 27-29) ทำให้เม็ดแป้งขยายพองตัวได้มากโมเลกุลเล็ก ๆ ภายในเม็ดแป้งจึงสามารถผ่านผนังเม็ดแป้งออกมาภายนอกได้มากขึ้น แป้งข้าวพองจึงมี WSI สูงขึ้น แต่เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นอีกจาก 16 เป็น 19 % WSI ของแป้งข้าวพองกลับมีแนวโน้มลดลงเหมือน WAI ของแป้งด้วยเหตุผลในทำนองเดียวกันที่กล่าวในข้อ 1 นั่นคือ อาจกล่าวได้ว่า WSI ของแป้งข้าวพองมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูง

จากรูปที่ 32 จะเห็นว่า WSI ของแป้งข้าวพองมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้นจาก 220 เป็น 280°C ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับเมื่อมีอิทธิพลร่วมกับเกลือ ยกเว้นที่ระดับความชื้น 10 % WSI ของแป้งข้าวพองกลับลดต่ำลง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff เพิ่มขึ้นจาก 250 เป็น 280°C คาดว่าความชื้นที่ใช้ต่ำแต่อุณหภูมิที่ใช้สูงจึงทำให้แป้งไหม้ไปบางส่วน ซึ่งสังเกตได้จากสีของข้าวพองที่ได้ซึ่งมีสีเหลืองออกน้ำตาลเล็กน้อย ทำให้แป้งข้าวพองละลายน้ำลดลง

3. Brabender Visco-amylogram

จากลักษณะของกราฟที่ได้จากการวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ผลิตจากสภาวะต่าง ๆ ตามข้อ 2.3 ด้วยเครื่อง Brabender Visco-amylograph (รูปที่ 33-36) เห็นได้ว่า ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 30°C มีค่าอยู่ในช่วง 135-340 B.U ในขณะที่แป้งดิบยังไม่มีความหนืด (รูปที่ 25) ซึ่งเป็นเพราะว่าแป้งข้าวพองนั้นผ่าน heat treatment แล้ว เม็ดแป้งจึงเกิดการ gelatinized แป้งข้าวพองจึงสามารถดูดและละลายน้ำได้แม้ที่อุณหภูมิห้อง paste แป้งข้าวพองจึงมีความหนืดสูง และเมื่ออุณหภูมิในช่วง heating cycle สูงขึ้น ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองจะลดลงจนถึงระดับหนึ่งแล้วเริ่มคงที่ เนื่องจากเม็ดแป้งดูดน้ำและพองตัวได้เต็มที่แล้ว เม็ดแป้งจึงแตกได้ง่ายเมื่อมีการกวน น้ำที่อยู่ภายในเม็ดแป้งจะออกมารวมอยู่กับอะไมโลสและอะไมโลเปคติน ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองจึงลดลง และในช่วง cooling cycle ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือไม่เพิ่มเลยเมื่อเทียบกับแป้งดิบ (รูปที่ 25, 33-36) ซึ่งเป็นเพราะว่าแป้งข้าวพองที่ได้ในการทดลองนี้ผลิตจากข้าวเหนียว จึงมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเปคตินซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่จึงรวมตัวกันได้น้อย ประกอบกับความร้อนที่ใช้ในกระบวนการ puff จะทำให้โมเลกุลบางส่วนแตกออกเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งสังเกตได้จากค่า WSI (ตารางที่ 19) โดยโมเลกุลขนาดเล็กนี้จะมีการเคลื่อนไหวอยู่เสมอ จึงไม่รวมตัวกัน จากเหตุผลทั้งสองประการจึงทำให้แป้งข้าวพองเกิดการคืนตัวได้น้อยเมื่อเทียบกับแป้งดิบ

ข้อมูลที่ได้จากกราฟ ได้แก่

1. ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 30°C

เมื่อนำข้อมูลความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 30°C มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า เกลือ ความชื้นของข้าวเปลือกและอุณหภูมิที่ใช้ puff มีอิทธิพลร่วมกันต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวพอง ดังนี้

จากรูปที่ 37-38 จะเห็นว่า การปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเกลือจะให้แป้งข้าวพองที่มีความหนืดของ paste ที่ 30°C สูงกว่าเมื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำที่ทุกระดับความชื้นของข้าวเปลือกและอุณหภูมิที่ใช้ puff เนื่องจากเกลือช่วยให้แป้งข้าวพองมีค่า WSI สูงกว่าเมื่อไม่มีเกลือถึง 30-70 % (ตารางที่ 19) ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองจึงสูงขึ้น

และเมื่อความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 16 % ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ได้กลับลดลง (รูปที่ 37-39) คาดว่าเป็นเพราะเมื่อความชื้นของข้าวเปลือกสูงขึ้น แป้งข้าวพองที่ได้ก็มี WAI สูงขึ้นในอัตราที่ค่อนข้างสูง(รูปที่ 27, 29) เม็ดแป้งจึงดูดน้ำและพองตัวได้มากขึ้นตามลำดับ โอกาสที่เม็ดแป้งจะแตกในระหว่างการเตรียมน้ำแป้งโดยผสมแป้งด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงจึงมาก น้ำที่อยู่ภายในเม็ดแป้งจึงออกมาความหนืดของ paste แป้งข้าวพองจึงลดลง ในขณะที่ WSI ของแป้งเพิ่มขึ้นเพียง 5-20 % ความหนืดอันเป็นผลมาจากการละลายจึงน้อย

ส่วนผลของอุณหภูมินั้น พบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้น (220-280°C) ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ได้มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย (ไม่เกิน 15 B.U) เมื่อการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำ ดังรูปที่ 38-39 แต่ในกรณีของการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเกลือ ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (ไม่เกิน 20 B.U) นั่นคืออุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวพองน้อยมาก (ตารางที่ 21)

ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าเกลือจะช่วยให้แป้งข้าวพองมีความหนืดของ paste ที่ 30°C สูงกว่าเมื่อไม่มีเกลือ (10-80 B.U) และเมื่อความชื้นของข้าวเปลือกสูงขึ้น (10-16 %) ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองจะลดลงในสภาวะที่มีการกวนที่รุนแรง แต่จะเพิ่มสูงขึ้นถ้าไม่มีการกวนที่รุนแรง นั่นคือ เม็ดแป้งจะไม่คงทนต่อการให้ความร้อน

2. ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 50°C

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ 21) พบว่าทั้งเกลือ ความชื้นของข้าวเปลือกและอุณหภูมิที่ใช้ puff ตลอดจนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีผลต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 50°C (รูปที่ 40-42)

จากรูปที่ 40-42 เห็นได้ว่า ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย

ต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 50°C เป็นไปในลักษณะเดียวกับกรณีของความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 30°C (รูปที่ 37-39) โดยเกลือทำให้ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 50°C สูงกว่าเมื่อไม่มีเกลือ 10-50 B.U และเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้น (10-19 %) ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองมีแนวโน้มที่จะลดลง (รูปที่ 40, 42) ส่วนอุณหภูมิมีผลต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวพองน้อยมาก คือ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff เปลี่ยนไป (220-280°C) จะมีผลให้ความหนืดของ paste เปลี่ยนไปไม่เกิน 10 B.U (รูปที่ 41-42)

นั่นคืออาจกล่าวได้ว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อ WAI และ WSI ของแป้งข้าวพอง และต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 30 และ 50°C คือ เกลือและความชื้นของข้าวเปลือก โดยเกลือจะทำให้แป้งข้าวพองมี WAI WSI และความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 30 และ 50°C สูงขึ้นที่ทุกระดับ ความชื้นของข้าวเปลือกและอุณหภูมิที่ใช้ puff ส่วนผลของความชื้น พบว่าเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้น WAI และ WSI ของแป้งข้าวพองที่ได้มีแนวโน้มที่จะสูงตามไปด้วย ในขณะที่ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 30 และ 50°C มีแนวโน้มลดลง สำหรับอุณหภูมินั้น พบว่า มีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น

และจาก Amylogram ของแป้งข้าวพองที่ได้ จะเห็นว่าแป้งข้าวพองขาดเสถียรภาพต่อการกวนและการให้ความร้อน นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มที่จะไม่เกิดการคืนตัวหรือเกิดน้อยมากในช่วง cooling cycle ทำให้คาดว่าแป้งข้าวพองที่ได้นี้น่าจะเหมาะต่อการนำไปใช้เป็นสารให้ความเหนียวในผลิตภัณฑ์อาหารทั้งร้อนและเย็น เพื่อดักจับของแข็งที่แขวนลอยอยู่ใน suspension เนื่องจากความสามารถในการละลายในน้ำเย็นโดยไม่เกิดความหนืดมากนัก และจากคุณสมบัติที่จะไม่เกิดการคืนตัว ประกอบกับความสามารถที่จะจับกับน้ำจึงน่าจะนำไปใช้เป็นตัวช่วยรักษาความชื้นในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้