หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การศึกษาคุณสมบัติของแป้งถั่วเขียวและแป้งจากถั่วชนิดอื่นที่จะนำมาใช้ทดแทนในการทำวุ้นเส้น

5.1.1 การเปรียบเทียบขนาดและลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้งโดยภาพถ่ายขยายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบสแกน

เมื่อศึกษาขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งจากถั่วทั้ง 6 ชนิด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบสแกน จะพบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเป็นเพราะเป็นเม็ดแป้งจากพืชตระกูลถั่วเหมือนกัน รูปร่างของเม็ดแป้งส่วนมากจะเป็นรูปไต ผิวของเม็ดมีลักษณะเรียบคล้ายกัน ดังรูปที่ 4.1-4.6 ขนาดของเม็ดก็ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งถั่วเขียวที่วัดได้จากการทดลองนี้กับการศึกษาของ Naivikul และ D' Appolonia (48) ผลการทดลองจะใกล้เคียงกัน คือผลการทดลองวัดได้กว้าง 10-15 µm ยาว 16-25 µm ส่วน Naivikul และ D'Appolonia วัดได้กว้าง 8-16 µm ยาว 12-32 µm แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ วุฒิชัย นาครักษา (49) ขนาดที่วัดได้จะเล็กกว่าเล็กน้อย คือ จากการทดลองของวุฒิชัยจะวัดได้กว้าง 12.63-19.21 µm ยาว 19.47-29.31 µm สำหรับถั่วมันแดง เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Lii และ Chang (22) ผลการทดลองนี้จะได้ขนาดเล็กกว่าของ Lii และ Chang คือ จากการทดลองนี้วัดได้กว้าง 9-16 µm ยาว 13-21 µm แต่ Lii และ Chang วัดได้กว้าง 25 µm ยาว 67 µm ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดแป้งจากถั่วชนิดอื่น ๆ

5.1.2 การเปรียบเทียบแบบแผนของความหนืดจากเครื่องบราเบนเดอร์

แป้งถั่วเขียวจะให้กราฟที่ไม่มียอดแหลม (peak) ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งตามการจำแนกชนิดของแบบแผนความหนืดของ Mazurs และคณะ (43) จะเป็นแบบซี (c-type) ซึ่งแป้งที่มีลักษณะนี้จะเป็นแป้งที่มีการพองตัวน้อย ผลการทดลองนี้จะสอดคล้องกับผลการทดลองของ Lii และ Chang (22), Schoch และ Maywald (42), Naivikul และ D'Appolonia

(48) และ วุฒิชัย นาครักษา (49) สำหรับแป้งถั่วมันแดงและแป้งถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 จากรูปที่ 4.8 และ 4.11 จะให้กราฟที่มียอดแหลม แต่ความสูงของยอดแหลมน้อย ส่วนแป้งจากถั่วขาว ถั่วดำ และถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US จะให้กราฟที่มียอดแหลม ซึ่งมีความสูงของยอดแหลมมากขึ้น ลักษณะการมียอดแหลมนี้ แสดงว่า เม็ดแป้งที่พองตัวจากการเกิดเจลาติไนเซชั่นนี้ไม่ทนต่อแรงกลในกระบวนการ ยิ่งความสูงของยอดแหลมมากขึ้น ความทนทานก็จะยิ่งลดลง

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่แป้งเกิดเจลาติไนเซชั่น จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าแป้งทุกชนิดที่นำมาทดลองจะมีอุณหภูมิที่เกิดเจลาติเนเซชั่นใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเจลาติไนเซชั่นของแป้งจากพืชหัว คือ แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชั่นที่ 61 และ 59 °ซ ตามลำดับ (50) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนเซชั่นของแป้งจากถั่วต่าง ๆ นี้จะมีค่ามากกว่าของแป้งจากพืชหัว Sathe และคณะ (26) สรุปว่า การที่แป้งถั่วมีอุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนเซชั่นสูงกว่า เป็นเพราะแป้งถั่วมีผนังของเม็ดแป้งที่แข็งแรงกว่า รวมทั้งมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในเม็ดแป้งแน่นกว่าเม็ดแป้งจากพืชหัว

5.1.3 <u>การเปรียบเทียบปริมาณอะไมโลสในแป้ง</u>

จากตารางที่ 4.3 แป้งถั่วเขียวจะมีปริมาณอะไมโลสมากที่สุดคือ 25.310% (น้ำหนักแห้ง) แป้งถั่วมันแดงจะมีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกับแป้งถั่วเขียวคือ 25.082% (น้ำหนักแห้ง) แป้งจากถั่วอื่น ๆ จะมีปริมาณลดลงตามลำดับจาก แป้งถั่วขาว แป้งถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US แป้งถั่วดำ และแป้งถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 จะมีปริมาณน้อยที่สุด คือ 22.777% (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งปริมาณอะไมโลสที่มากที่สุดและน้อยที่สุดในการทดลองนี้ไม่แตกต่างกันมากนัก แป้งถั่วทุกชนิดที่นำมาทดลองจะมีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอะไมโลสของแป้งถั่วเขียวที่หาได้จากการทดลองนี้กับผลการทดลองอื่น ๆ จะได้ผลคือ ปริมาณอะไมโลสที่หาได้จากการทดลองนี้ จะมีค่าอยู่ในช่วงของการทดลองของ Sathe และคณะ (26) ซึ่งหาปริมาณได้ในช่วง 19.5-34.9% แต่จะมีค่ามากกว่าการทดลองของ Naivikul และ D'Appolonia (48) และ วุฒิชัย นาครักษา (49) ซึ่งหาได้ 19.5% และ 18.77-21.53% ตามลำดับ การที่ได้ค่าแตกต่างกันนี้เนื่องจากความแตกต่างในการทดลอง กล่าวคือ ในการหาปริมาณอะไมโลสนี้จะใช้วิธีการวัดความเข้มของสีของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาของอะไมโลสกับไอโอดีน วิธีนี้จะต้องใช้อะไมโลส

บริสุทธิ์ เพื่อเป็นมาตรฐานเปรียบเทียบอะไมโลสบริสุทธิ์ที่ขายอยู่จะเป็นอะไมโลสจากแป้งมันฝรั่ง หรือจากแป้งข้าวโพด ไม่มีอะไมโลสจากแป้งถั่วขาย จึงต้องใช้อะไมโลสจากแป้งมันฝรั่งเป็นตัวเปรียบเทียบ ในปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ให้สีนี้ น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส (ขนาดของอะไมโลส) จะมีผลต่อสีของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น (51,52) นอกจากนั้นสีที่เกิดขึ้นนี้ยังขึ้นกับปริมาณอะไมโลเพกตินในแป้งด้วย เพราะอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะให้สีกับไอโอดีนต่างกัน คือ อะไมโลสให้สีน้ำเงิน ส่วนอะไมโลเพกตินให้สีชมพู ดังนั้นในการทดลองแต่ละครั้งถ้าใช้อะไมโลสบริสุทธิ์ที่เป็นตัวเปรียบเทียบต่างกัน ก็จะหาปริมาณอะไมโลสในตัวอย่างได้ต่างกัน ปริมาณที่หาได้จะเป็นปริมาณที่ไม่แท้จริง แต่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ถ้าใช้สภาวะการทดลองเหมือนกัน การจะหาปริมาณอะไมโลสให้ได้ถูกต้องกับความจริง จะต้องใช้อะไมโลสจากแป้งชนิดนั้น ๆ เป็นตัวเปรียบเทียบ แต่ไม่นิยมใช้ เพราะการสกัดอะไมโลสออกจากแป้งนั้นไม่สะดวก

ปริมาณอะไมโลสในแป้งนี้จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย แป้งที่เหมาะสมในการทำวุ้นเส้นควรจะมีปริมาณอะไมโลสสูง ทั้งนี้เป็นเพราะถ้าปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น การเกิดรีโทรเกรเดชั่นจะเกิดได้ดีขึ้นด้วย (32-34) รีโทรเกรเดชั่นนี้จะเป็นปฏิกิริยาสำคัญ ซึ่งจำเป็นจะต้องให้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตวุ้นเส้น เพราะการเกิดรีโทรเกรเดชั่นจะช่วยในด้านเนื้อสัมผัสของเส้น ทำให้เส้นไม่ขาดเปื่อยอยู่ในน้ำร้อน (31,35) Lii และ Chang (22) ได้ทำการทดลองพบว่าแป้งที่มีอะไมโลสน้อย เมื่อนำมาทำวุ้นเส้นจะทำให้มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียจากเส้น (Solid loss) สูง และเส้นมีความเหนียวลดลง จากการทดลองแป้งถั่วทุกชนิดมีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกับแป้งถั่วเขียว จึงคาดว่าน่าจะใช้ทดแทนแป้งถั่วเขียวได้ในปริมาณสูงด้วย

5.1.4 <u>การเปรียบเทียบการละลายและการพองตัวของแป้งที่อุณหภูมิ 30, 35 และ 95 °ซ</u>

สำหรับแป้งทุกชนิดที่นำมาทดลองจะพบว่าการละลายและการพองตัวที่ 30 และ 35 °ซ จะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าน้อยกว่าที่ 95 °ซ ดังตารางที่ 4.4 ทั้งนี้เป็นเพราะที่ 30 และ 35 °ซ แป้งยังไม่เกิดเจลาติไนเซชั่น แต่ที่ 95 °ซ แป้งจะเกิดเจลาติไนเซชั่น อุณหภูมิที่แป้งเริ่มเกิดเจลาติไนเซชั่นแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งจากการทดลองจะมีค่าในช่วง 75-79 °ซ จากผลการทดลอง แป้งถั่วเขียวจะมีการละลายและการพองตัวต่ำที่สุด ซึ่งคุณสมบัติของแป้งทั้งสองอย่างนี้มีความสำคัญต่อคุณสมบัติของวุ้นเส้นที่ได้ กล่าวคือ การละลายของแป้งจะมีผลต่อสารที่ละลายน้ำหลังจากต้มเดือด 10 นาที ตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

(13) สารที่ละลายน้ำหลังจากต้ม เดือด 10 นาที จะต้องไม่เกินร้อยละ 9 ของน้ำหนักอบแห้ง ดังนั้นแป้งที่จะ เหมาะจะนำมาใช้ทำวุ้น เส้นจึงควรมีการละลายน้อย เพื่อที่จะให้ได้วุ้น เส้นที่มีสาร ที่ละ ลายน้ำหลังจากต้ม เดือด 10 นาที ไม่เกินข้อกำหนดของมาตรฐานอุตสาหกรรม จะเห็นว่า แป้งที่ เหมาะสมคือ แป้งถั่ว เขียว ซึ่งมีการละลายน้อยที่สุด แต่สำหรับแป้งถั่วอื่นที่ทดลอง แม้จะมี การละลายมากกว่าแป้งถั่ว เขียว แต่มีค่าไม่ต่างกันมากนัก จึงอาจจะนำมาใช้ทดแทนได้

ส่วนการพองตัวของแป้งจะมีผลต่อลักษณะ เนื้อสัมผัสของวุ้น เส้น แป้งที่พองตัวมาก เป็น เพราะมีการดูดน้ำ เข้าไปมาก ซึ่งจะทำให้ เนื้อสัมผัส เปื่อยยุ่ย แป้งที่ เหมาะสมจึงควรมีการ พองตัวน้อย วุ้น เส้นที่ได้จึงจะมีลักษณะ เนื้อสัมผัสที่ เหนียว เป็นที่นิยมของผู้บริโภค การพองตัว ของแป้งถั่ว เขียวและแป้งถั่วอื่นที่ได้ พบว่าไม่ต่างกันมากนัก จึงอาจใช้ทดแทนกันได้

5.1.5 การ เปรียบ เทียบความสามารถในการ เกาะ เกี่ยวน้ำของแป้ง

จากผลในตารางที่ 4.5 จะ เห็นว่าแป้งถั่ว เขียวมีการ เกาะ เกี่ยวน้ำต่ำที่สุด แป้ง ถั่วมันแดงจะมีการ เกาะ เกี่ยวน้ำใกล้ เคียงกับแป้งถั่ว เขียว โดยมีค่ามากกว่า เล็กน้อย ส่วนแป้ง ถั่วอื่น ๆ อีก 4 ชนิด จะมีการ เกาะ เกี่ยวน้ำมากกว่าแป้งทั้งสองชนิดนี้ แป้งที่มีการ เกาะ เกี่ยว น้ำมาก เป็น เพราะการจัด เรียงตัวของโม เลกุลใน เม็ดแป้งยังไม่แน่น (46) ความสามารถใน การ เกาะ เกี่ยวน้ำของแป้งจะมีผลต่ออัตราการ เกิดรีโทร เกร เดชั่นของแป้ง (32, 33) แต่ อย่างไรก็ตาม การ เกาะ เกี่ยวน้ำของแป้งถั่วต่าง ๆ ที่นำมาศึกษานี้ยังมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก การนำมาใช้ทดแทนแป้งถั่ว เขียวจึงอาจใช้ได้ในปริมาณสูง

5.2 การศึกษาผลของตัวแปรบางตัวในกระบวนการผลิตวุ้น เส้น เพื่อหาสภาวะที่ เหมาะสมในการ ผลิต

ในการทดลองส่วนนี้ ตัวแปรที่ทำการศึกษาจะมีอยู่ 4 อย่างคือ ปริมาณและอุณหภูมิของ น้ำที่ใช้ผสมโด ระยะ เวลาการนวดด้วยมือ ปริมาณแป้ง เปียกที่ใช้ในส่วนผสม และความ เป็นกรด ของน้ำที่ใช้ผสมโด ตัวแปรในกระบวนการอีกตัวหนึ่งที่สามารถทำการศึกษาได้ คือ อุณหภูมิและระยะ เวลาที่ใช้แช่แข็ง เส้น แต่จากการทดลองของ Lii และคณะ (30) พบว่า การแช่แข็งที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ กันไม่มีผลต่อคุณภาพของวุ้น เส้นที่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เวลาที่ใช้แช่แข็งก็สามารถ ใช้ได้ต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 6-24 ชั่วโมง (22,24) โดยไม่มีผลต่อคุณภาพของวุ้น เส้น เช่น เดียวกัน การทดลองนี้จึงไม่ทำการศึกษาตัวแปรนี้

5.2.1 ผลของปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมโด

การทดลองในส่วนนี้จะมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำ และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมโด ว่าจะมีผลต่อคุณสมบัติของโดและวุ้นเส้นที่ได้อย่างไร และจะสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตในด้านปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่จะใช้เตรียมโด เมื่อแปรค่าปริมาณและอุณหภูมิของน้ำที่จะใช้ คือใช้ปริมาณน้ำ 50, 51 และ 52% (น้ำหนักแห้ง) ของโด โดยใช้น้ำอุณหภูมิ 55 และ 30 °ซ แล้วศึกษาคุณสมบัติของโดและวุ้นเส้นที่ได้ จะได้ผลคือ

5.2.1.1 ความชื้นของโดขณะนำไปกดเส้นจะลดลงจากความชื้นที่เตรียมเล็กน้อย ดังตารางที่ 4.6 ทั้งนี้เนื่องจากมีการระเหยของน้ำในระหว่างการผสมและการนวด

5.2.1.2 ผลของตัวแปรทั้งสองคือ ปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำ รวมทั้งอิทธิพลร่วม จะทำให้เกิดความแตกต่างของความหนืดของโดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ดังแสดงในตารางที่ 4.7 เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้เท่ากัน การเพิ่มปริมาณน้ำจะทำให้ความหนืดของโดลดลง และเมื่อปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากัน การใช้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ จะทำให้ความหนืดของโดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากในส่วนผสมของโด ตัวที่น่าจะมีผลต่อความหนืดของโดคือ แป้งเปียกในส่วนผสม การเพิ่มปริมาณน้ำในโดให้มากขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของแป้งเปียกในส่วนผสมลดลง แป้งเปียกจะมีความหนืดลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้ความหนืดของโดลดลงด้วย แต่เมื่อจำกัดการใช้ปริมาณน้ำให้เท่ากัน การใช้น้ำอุณหภูมิต่ำกว่าจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เป็นเพราะในกระบวนการผลิตวุ้นเส้นช่วงการผสมและนวดแป้ง จะกินเวลาประมาณ 25 นาที การใช้น้ำอุณหภูมิต่ำผสมโดจะทำให้อุณหภูมิของโดลดลงรวดเร็วกว่าการใช้น้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า เมื่ออุณหภูมิของโดลดลงเป็นเวลานาน แป้งเปียกในส่วนผสมจะเริ่มจับตัวเป็นเจล (gel) ทำให้ความหนืดของแป้งเปียกมากขึ้น โดที่ใช้น้ำอุณหภูมิต่ำกว่าผสม จึงทำให้แป้งเปียกในโดจับตัวเป็นเจลได้เร็วกว่า จึงมีผลทำให้ความหนืดของโดมากกว่า ดังนั้นโดที่ใช้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเป็นน้ำผสมนวด จึงต้องใช้ปริมาณน้ำในโดเพิ่มขึ้น เพื่อให้โดมีความหนืดลดลงเหมาะกับการไหล จากการทดลองสามารถใช้น้ำอุณหภูมิ 55 °ซ โดยใช้ในปริมาณ 50-51% หรือใช้น้ำเย็นอุณหภูมิ 30 °ซ เป็นน้ำผสมโด แต่ต้องใช้เพิ่มขึ้นเป็น 52% จึงจะได้วุ้นเส้นที่มีลักษณะดีคล้ายกัน

5.2.1.3 ผลต่อการแผ่กระจายของโดจากเครื่องวัดแบบสเปรดโอ ตัวแปรที่ศึกษาทั้งปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมโด รวมทั้งอิทธิพลร่วมไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางของโดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะมีผลต่อระดับความสูงของโดอย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วผลที่ได้จากเครื่องวัดแบบสเปรดโอคือ ผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงควรจะให้ผลเหมือนกัน กล่าวคือ ถ้าไม่มีความแตกต่างทางสถิติของเส้นผ่านศูนย์กลางก็ไม่ควรจะมีความแตกต่างด้านความสูงด้วย ทั้งนี้เพราะเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงที่วัดได้จะเป็นปฏิภาคกลับซึ่งกันและกัน การที่ผลออกมาเช่นนี้อาจเป็นเพราะมีความคลาดเคลื่อนในการวัดความสูงของโด ทำให้ผลการทดลองผิดไปจากที่ควรจะเป็น

5.2.1.4 <u>ผลต่อการไหลของโด</u> จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมโดเท่ากัน ถ้าเพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้อัตราการไหลจะสูงขึ้น และเมื่อใช้ปริมาณน้ำเท่ากัน การใช้น้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะทำให้อัตราการไหลช้าลง ซึ่งผลการทดลองนี้จะเหมือนกับผลต่อความหนืดของโด ทั้งนี้เป็นเพราะลักษณะการไหลของโดจะขึ้นอยู่กับความหนืดของโด ถ้าโดมีความหนืดเพิ่มขึ้นการไหลก็จะช้าลง เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของการไหลในเชิงสถิติ พบว่าปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมโดจะทำให้เกิดความแตกต่างในการไหลอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ส่วนอิทธิพลร่วมของปัจจัยไม่ทำให้เกิดความแตกต่างทางสถิติ ดังผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.7 ทั้งนี้เป็นเพราะเหตุผลที่กล่าวมาแล้วคือ ลักษณะการไหลจะขึ้นอยู่กับความหนืดของโดเป็นสำคัญ การไหลของโดนี้จะมีผลต่อเนื่องไปถึงลักษณะเส้นที่ได้ ถ้าจะให้ได้วุ้นเส้นที่มีลักษณะดี การไหลของโดจะต้องเหมาะสม ถ้าการไหลของโดน้อยเกินไปหรือโดมีความหนืดมากเกินไป จะทำให้ไม่ได้วุ้นเส้น หรือได้วุ้นเส้นที่มีขนาดใหญ่และขาดเป็นท่อน ๆ แต่ถ้าความหนืดน้อยเกินไป การไหลของโดจะเร็วเกินไป วุ้นเส้นจะสุกลอยขึ้นเหนือผิวน้ำไม่ทันทำให้ลงไปกองอยู่ที่ก้นกระทะ เส้นที่ได้จะหยิกและมีขนาดเล็กขาดง่าย ดังผลในตารางที่ 4.6 ซึ่งลักษณะของเส้นนี้จะมีผลไปถึงปริมาณผลผลิตและการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคด้วย

5.2.1.5 <u>ผลต่อสารที่ละลายน้ำจากวุ้นเส้นหลังจากต้มเดือด 10 นาที</u> ตัวแปรที่ศึกษารวมทั้งอิทธิพลร่วมไม่ทำให้เกิดความแตกต่างต่อปริมาณสารที่ละลายน้ำจากวุ้นเส้นหลังจากต้มเดือด 10 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.7 ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ไม่มีผลต่อปริมาณสารที่ละลายน้ำจากวุ้นเส้น สิ่งที่น่าจะมีผลต่อคุณสมบัติของวุ้นเส้นในข้อนี้น่าจะเป็นชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ จากการทดลองส่วนนี้จะใช้วัตถุดิบเหมือนกัน ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณสารที่ละลายน้ำจากวุ้นเส้นหลังจากต้มเดือด 10 นาที ไม่แตกต่างกัน

5.2.1.6 <u>ผลต่อขนาดของวุ้นเส้น</u> ผลในข้อนี้จะสืบเนื่องมาจากความหนืดและการไหลของโด โดที่มีความหนืดน้อย จะไหลเร็ว ทำให้เส้นมีขนาดเล็ก ตรงกันข้าม โดที่มีความหนืดสูง

จะทำให้ไหลช้าและวุ้นเส้นที่ได้จะมีขนาดใหญ่ ดังผลในตารางที่ 4.6 ดังนั้นการเพิ่มปริมาณน้ำในโดจะทำให้วุ้นเส้นมีขนาดเล็กลง และการลดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้จะทำให้เส้นมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ถ้าใช้สภาวะที่ทำให้โดมีความหนืดมากเกินไป โดจะไม่ไหล ทำให้ไม่สามารถกดเส้นได้ เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ดังตารางที่ 4.7

5.2.1.7 <u>ผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้</u> ปริมาณและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้จะมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ ทั้งนี้เพราะปริมาณผลผลิตจะขึ้นกับการไหลของโด การไหลของโดจะต้องเหมาะสมจึงจะทำให้ได้ผลผลิตสูง ถ้าโดไหลเร็วหรือช้าเกินไป ผลผลิตจะต่ำลง ทั้งนี้เป็นเพราะถ้าโดไหลเร็วเกินไปวุ้นเส้นที่ได้จะมีขนาดเล็ก ทำให้ขาดได้ง่าย เมื่อเขียหรือสาวเส้น ไม่สามารถนำขึ้นไม้ได้ ผลผลิตจะต่ำ แต่ถ้าโดไหลช้าเกินไป เส้นจะมีขนาดใหญ่และจะกดเส้นไม่ค่อยได้ ทำให้ผลผลิตต่ำลงเช่นเดียวกัน จะเห็นได้จากตารางที่ 4.6 การที่โดไหลเร็วหรือช้าเกินไป เช่นในสภาวะที่ 3, 4, 5 จะทำให้ปริมาณผลผลิตต่ำหรือไม่ได้ผลผลิตเลย เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ จะพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 99% และ 95% ดังตารางที่ 4.7

5.2.1.8 <u>การเปรียบเทียบลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้ทางประสาทสัมผัส</u> ผลการทดสอบของวุ้นเส้นแห้งแสดงในตารางที่ 4.8 ส่วนของวุ้นเส้นต้มแสดงในตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ทำโดมีผลต่อการเกาะติดกันของวุ้นเส้นแห้ง รวมทั้งการยอมรับรวมของวุ้นเส้นแห้ง แต่ไม่มีผลต่อสีของวุ้นเส้นแห้งและคุณสมบัติอื่น ๆ ของวุ้นเส้นต้ม การที่ปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ทำโดมีผลต่อวุ้นเส้นแห้ง เนื่องจาก ตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อลักษณะของเส้นที่ได้ ดังกล่าวมาแล้วในข้อ 5.2.1.4 วุ้นเส้นที่ได้จากโดที่มีการไหลเร็วเกินไปจะมีขนาดเล็กและเส้นหยิก ทำให้มีการเกาะติดกันสูง จากตารางที่ 4.8 โดที่ใช้ปริมาณน้ำ 52% และน้ำที่ใช้มีอุณหภูมิ 55 °ซ ซึ่งจะเป็นโดที่มีการไหลเร็วมาก จะทำให้วุ้นเส้นแห้งที่ได้แตกต่างจากสภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ในด้านการเกาะติดของเส้น ในสภาวะนี้วุ้นเส้นที่ได้จะมีขนาดเส้นเล็ก และมีลักษณะหยิก ๆ เกาะติดกัน ซึ่งจากลักษณะการเกาะติดกันนี้จะมีผลถึงการยอมรับรวมของวุ้นเส้นแห้งด้วย วุ้นเส้นที่มีการเกาะติดกันมากจะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งจะเห็นได้จากคะแนนการยอมรับรวมที่ได้น้อยกว่าคะแนนของสภาวะอื่น แต่ตัวแปรที่ศึกษานี้ไม่มีผลต่อสีของวุ้นเส้นแห้ง ผลการทดสอบปรากฏว่าทุกสภาวะจะให้วุ้นเส้นที่มีสีคล้าย ๆ กัน ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้เหมือนกัน จึงไม่ความแตกต่างในด้านสีของวุ้นเส้น

เมื่อนำวุ้นเส้นแห้งมาต้มแล้วทำการทดสอบ พบว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของวุ้นเส้นที่ได้จากการทดลองแต่ละสภาวะไม่แตกต่างกันเลย รวมทั้งการเกาะติดกันของเส้น และการยอมรับรวมด้วย ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อนำวุ้นเส้นมาต้ม จะสังเกตการเกาะติดกันได้ไม่ชัดเจนเท่ากับการเกาะติดกันของวุ้นเส้นแห้ง วุ้นเส้นเมื่อต้มสุกจะมีลักษณะอ่อนตัวขดไปมาเหมือนกันหมด จึงสังเกตและบอกความแตกต่างได้ยาก เมื่อไม่สามารถแยกความแตกต่างของการเกาะติดกันได้ ผลในด้านการยอมรับรวมของเส้นจึงไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.9

จากการศึกษาผลของปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ทำโด จะเห็นว่าตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อความหนืดของโด ซึ่งผลนี้จะทำให้เกิดผลต่อเนื่องของการไหลของโด การไหลของโดจะมีผลต่อลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้ และลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้จะเป็นตัวกำหนดการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ลักษณะวุ้นเส้นที่ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จะได้จากโดที่มีการไหลพอเหมาะ ไม่เร็วหรือช้าจนเกินไป การไหลของโดนี้ก็จะขึ้นกับความหนืดของโด ดังนั้นโดจะต้องมีความหนืดที่เหมาะสม ซึ่งความหนืดที่เหมาะสมนี้จะได้จากปริมาณและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ทำโดที่เหมาะสม จากการทดลองจะได้ว่าการใช้ปริมาณน้ำผสมโด 50-51% (น้ำหนักแห้ง) ของน้ำหนักโด โดยใช้น้ำอุณหภูมิ 55 °ซ หรือใช้ปริมาณน้ำ 52% โดยใช้น้ำอุณหภูมิ 30 °ซ จะเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่จะได้วุ้นเส้นที่มีลักษณะดี

5.2.2 <u>ผลของเวลาที่ใช้ในการนวดด้วยมือ</u>

จะทดลองนวดโดด้วยมือในช่วงเวลาต่างกันคือ 1 และ 5 นาที เพื่อศึกษาว่าการนวดด้วยมือนี้จะทำให้ลักษณะการจัดโครงสร้างในโดต่างกันหรือไม่ นอกจากนั้นจะเปรียบเทียบคุณสมบัติของโดและของวุ้นเส้นที่ได้จากการทดลองว่าแตกต่างกันอย่างไร จากการทดลองจะได้ผลการทดลองคือ

5.2.2.1 <u>ความชื้นของโดเมื่อนำไปกดเส้น</u> จะลดลงจากความชื้นของโดที่เตรียมขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ทั้งนี้เนื่องจากมีการระเหยของน้ำระหว่างการผสมและการนวดเช่นเดียวกับผลการทดลองในข้อ 5.2.1.1

5.2.2.2 <u>ผลต่อความหนืดของโด</u> การนวดด้วยมือในเวลาที่ไม่เท่ากัน จะไม่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความหนืดของโด ดังการวิเคราะห์ในตาราง 4.11 ซึ่งจะเห็นว่าการแบ่งค่าเวลาการนวดด้วยมือในช่วง 1-5 นาที ยังไม่ทำให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าระยะเวลานวดมือนานมากไป หรือทิ้งโดที่นวดแล้วเอาไว้เฉย ๆ โดจะมี

ลักษณะแข็ง เป็นก้อนไม่ไหล ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเพราะเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ อุณหภูมิของโดจะเริ่มลดลง ทำให้แป้งเปียกในส่วนผสมเริ่มจับตัวกันเป็นเจล ทำให้โดไม่ไหล ซึ่งจะมีผลเช่นเดียวกับการลดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมโด ดังผลในข้อ 5.2.1

5.2.2.3 ผลต่อการแผ่กระจายของโดจากเครื่องวัดแบบสเปรดโอ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของโด ดังผลจากตารางที่ 4.11 ทั้งนี้เป็นเพราะความหนืดของโดที่ได้ไม่ต่างกันมาก ทำให้การแผ่กระจายของโดไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5.2.2.4 ผลต่อการไหลของโด เมื่อเวลานวดด้วยมือมากขึ้น การไหลของโดจะลดลงดังแสดงในตารางที่ 4.10 แต่เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4.11 ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความหนืดของโด เมื่อการไหลของโดไม่ต่างกัน จึงทำให้เส้นที่ได้มีลักษณะคล้ายกันด้วย ดังผลในตารางที่ 4.10

5.2.2.5 ผลต่อสารที่ละลายน้ำจากวุ้นเส้นหลังจากต้ม เดือด 10 นาที จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และ 4.11 ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.2.1.5 นั่นคือวัตถุดิบที่ใช้เป็นชนิดเดียวกัน

5.2.2.6 ผลต่อขนาดของวุ้นเส้น จะไม่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.10 และ 4.11 ทั้งนี้เนื่องจากการไหลของโดไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ขนาดของเส้นยังอยู่ในช่วงการยอมรับของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (13)

5.2.2.7 ผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะเห็นได้ว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และ 4.11 เนื่องจากการไหลของโดไม่ต่างกันเช่นเดียวกัน

5.2.2.8 การเปรียบเทียบลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้ทางประสาทสัมผัส จากการทดลอง ผลปรากฏว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของวุ้นเส้นแห้งและวุ้นเส้นต้มที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4.12 และ 4.13 ทั้งนี้เพราะวุ้นเส้นแห้งที่ได้มีลักษณะคล้ายกันและเนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นชนิดเดียวกัน จึงทำให้คุณสมบัติของวุ้นเส้นต้มไม่แตกต่างกันด้วย

5.2.2.9 การศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในของโดด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบสแกน จากรูปที่ 4.13-4.18 พบว่าลักษณะโครงสร้างภายในของโดที่ใช้เวลานวดมือต่าง ๆ กันนั้นไม่ต่างกัน จากรูปจะเห็นลักษณะโครงสร้างของโดประกอบด้วยเม็ดแป้งกระจายอยู่ทั่วไป โดยมีแป้งเปียกเป็นตัวเชื่อมประสานเม็ดแป้งเหล่านี้เข้าด้วยกัน เนื่อง

จากโดของวุ้นเส้นประกอบด้วยแป้งสุก แป้งดิบ และน้ำ เท่านั้น (อาจมีโปรตีนติดไปบ้างแต่ก็น้อยมาก) การนวดโดจะมีจุดประสงค์หลักเพียง เพื่อให้ส่วนประกอบทั้งหมดกระจายตัวอย่างทั่วถึง ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.13 โดที่ไม่ได้นวดด้วยมือเลย แต่มีการผสมด้วยเครื่องผสมจนส่วนผสมเข้ากันดี จะมีโครงสร้างภายในเหมือนกับโดที่ผ่านการนวดด้วยมือ ไม่เหมือนกับกรณีโดขนมปัง ซึ่งมีการนวดเพื่อจุดประสงค์ให้โปรตีนในแป้งสาลีเกิดเป็นกลูเต้น (gluten) ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการนวดโดจึงไม่มีผลต่อลักษณะโครงสร้างภายในโด แต่อาจมีผลต่อคุณสมบัติของโดได้ กล่าวคือ ถ้านวดด้วยมือนานเกินไป โดจะมีอุณหภูมิลดลง ทำให้แป้งเปียกในโดเริ่มจับตัวเป็นเจล โดจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับผลในข้อ 5.2.1

จากผลการทดลองในส่วนนี้จะเห็นว่าการนวดโดด้วยมือ 1 และ 5 นาที ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อคุณสมบัติของโดและของวุ้นเส้นที่ได้ นอกจากนั้นเมื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในของโดจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบสแกน พบว่าการนวดโดด้วยมือในช่วงเวลา 0, 1, 5, 7, 10 และ 15 นาที นั้น ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของลักษณะโครงสร้างภายในของโด การนวดน่าจะมีจุดประสงค์เพื่อให้ส่วนผสมต่าง ๆ คือ แป้งเปียก, แป้งดิบ และน้ำ ผสมเข้ากันอย่างทั่วถึง จากผลการทดลองในข้อ 5.2.2.9 จะเห็นว่าถ้าผสมส่วนผสมให้เข้ากันเป็นอย่างดีแล้วโดยการใช้เครื่องผสม การนวดโดด้วยมือก็ไม่ใช้กระบวนการที่จำเป็น เพราะไม่ได้ทำให้ลักษณะโครงสร้างของโดเปลี่ยนแปลงไปเลย กระบวนการส่วนนี้จึงอาจมีการพัฒนาเปลี่ยนเป็นใช้เครื่องจักรแทนได้ ในปัจจุบันการนวดด้วยมือหลังจากเทโดออกจากเครื่องผสมจะมีประโยชน์ในด้านช่วยไล่ฟองอากาศ ซึ่งอาจติดลงไปในโดขณะที่เทจากเครื่อง การไล่ฟองอากาศออกจะช่วยทำให้การกดเส้นมีการไหลต่อเนื่องไม่ขาดตอน นอกจากนั้นการนวดโดด้วยมือระหว่างรอจะนำไปกดเส้นนั้น จะเป็นการช่วยเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับระบบ โมเลกุลของแป้งเปียกเมื่อได้รับพลังงานทำให้มีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น จะทำให้การจับตัวเป็นเจลได้ยากขึ้น อัตราการแข็งตัวของโดจะลดลงได้บ้าง

5.2.3 <u>ผลของปริมาณแป้งเปียกที่ใช้ทำโด</u>

จะทดลองเพื่อศึกษาปริมาณแป้งเปียกที่เหมาะสมที่จะใช้เตรียมโด โดยทำโดที่มีปริมาณแป้งเปียกต่าง ๆ กันคือ 2, 3 และ 4% (น้ำหนักแห้ง) ของแป้งทั้งหมด แล้วศึกษาคุณสมบัติของโด จะได้ผลคือ

5.2.3.1 <u>ความชื้นของโดเมื่อกดเส้น</u>จะลดลงจากความชื้นที่เตรียมเล็กน้อย ดังตารางที่ 4.14 เนื่องจากการระเหยของน้ำจากโดในระหว่างการผสมและการนวดเช่นเดียวกัน

5.2.3.2 ผลต่อความหนืดของโด จากตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าปริมาณแป้งเปียกที่ใช้จะมีผลต่อความหนืดของโดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อปริมาณแป้งเปียกเพิ่มขึ้น ความหนืดของโดจะเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับผลการทดลองในข้อ 5.2.1.2 องค์ประกอบของโดยที่น่าจะมีผลต่อความหนืดก็คือแป้งเปียกในส่วนผสม การเพิ่มปริมาณแป้งเปียกซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีความหนืดสูง จึงทำให้ความหนืดของโดเพิ่มขึ้นด้วย

5.2.3.3 ผลต่อการแผ่กระจายของโดจากเครื่องวัดแบบสเปรดโอ เมื่อศึกษาวิเคราะห์ความแตกต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของโดทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.15 ทั้งนี้เพราะโดทุกตัวอย่างมีความหนืดสูง ทำให้การแผ่กระจายมีน้อย

5.2.3.4 ผลต่อการไหลของโด พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังผลวิเคราะห์จากตารางที่ 4.15 และเมื่อพิจารณาการไหลในตารางที่ 4.14 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณแป้งเปียกที่ใช้จะมีผลต่อการไหลของโด ปริมาณแป้งเปียกที่มากหรือน้อยเกินไปจะทำให้การไหลน้อยลง ถ้าปริมาณแป้งเปียกน้อยเกินไป โดจะมีลักษณะแตกได้ง่าย และไม่ค่อยไหล การกดเส้นจะต้องใช้แรงมาก และโดที่ไหลออกมาจะขาดง่าย เมื่อกดเส้นจะได้เส้นเป็นท่อน ๆ ไม่ต่อกัน แต่ถ้าปริมาณแป้งสุกมากเกินไป โดจะมีลักษณะเหนียวหนืดและเกาะติดกับภาชนะที่ใช้กดเส้น การไหลจะมีน้อยและต้องใช้แรงกดมากเช่นเดียวกัน และในการกดเส้นเนื่องจากโดมีลักษณะหนืดมาก ในช่วงจังหวะยกมือขึ้น โดจะติดมือขึ้นมา เมื่อกดลงไปโดจึงจะลอดรูออกมา ทำให้เส้นที่ได้มีลักษณะใหญ่เล็กสลับกัน เรียกว่าเป็น "ตัวด้วง" ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณแป้งเปียกให้เหมาะสมไม่มากหรือน้อยเกินไป เพื่อที่จะได้การไหลที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ได้วุ้นเส้นที่มีลักษณะดี

จากการทดลองในส่วนนี้จะไม่มีการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวุ้นเส้นที่ได้ เนื่องจากการใช้ปริมาณแป้งเปียก 2 และ 4% ไม่สามารถทำวุ้นเส้นได้ จึงไม่มีวุ้นเส้นที่จะนำมาเปรียบเทียบ

ผลการทดลองในส่วนนี้ แสดงให้เห็นว่าหน้าที่และความสำคัญของปริมาณแป้งเปียกที่ใช้แป้งเปียกที่ใส่ลงไปจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานเม็ดแป้งดิบในส่วนผสมให้รวมตัวกัน นอกจากนั้นยังช่วยให้โดมีลักษณะที่ไหลได้ ถ้าปริมาณแป้งเปียกน้อยเกินไป โดจะมีตัวประสานน้อย ทำให้มีลักษณะแข็ง แตกร่วน และไม่สามารถไหลได้ดี โดที่ไหลผ่านที่กดเส้นจะขาดได้ง่าย ทำให้วุ้นเส้นที่ได้ไม่เป็นเส้นยาว แต่จะขาดเป็นท่อนสั้น ๆ ในทางตรงกันข้ามถ้าปริมาณแป้งเปียกมากเกินไปจะทำให้โดเหนียวหนืดมากและเกาะติดภาชนะ เมื่อนำมากดเส้นจะได้ลักษณะ "ตัวด้วง" ซึ่งเป็นลักษณะ

บกพร่องในการทำวุ้นเส้น ปริมาณแป้งเปียกที่ใช้จึงต้องเหมาะสม จึงจะทำให้ได้วุ้นเส้นที่มีลักษณะดี จากการทดลองพบว่าปริมาณแป้งเปียกที่เหมาะสมคือ ใช้แป้งเปียก 3% (น้ำหนักแห้ง) ของแป้งที่ใช้ทั้งหมด

5.2.4 ผลของความเป็นกรดของน้ำที่ใช้ผสมโด

จากบทความของ ธัญญา เวียนกลาง (27) และ ทวี อัศวนนท์ (28) ซึ่งกล่าวว่าในกระบวนการผลิตวุ้นเส้น จะนำน้ำที่แยกแป้งออกไปแล้วจากการโม่แป้งมาเก็บไว้ 1 คืน เรียกว่า "น้ำเชื้อ" มีการนำน้ำเชื้อนี้มาใช้ผสมนวดแป้ง และใช้ล้างวุ้นเส้นหลังจากต้มสุกแล้ว เชื่อกันว่าจะทำให้วุ้นเส้นที่ได้มีลักษณะเหนียวและใส เป็นเงา จากการวิเคราะห์น้ำเชื้อพบว่า ประกอบด้วยกรดน้ำส้ม 1% การทดลองส่วนนี้จะต้องการทดสอบว่า การใช้น้ำเชื้อผสมนวดแป้งจะช่วยทำให้วุ้นเส้นที่เหนียวขึ้นหรือไม่ แต่เพื่อความสะดวกจะไม่ใช้น้ำเชื้อโดยตรง เพราะหาได้ยาก แต่จะใช้น้ำประปาผสมกับกรดน้ำส้มให้มีความเข้มข้น 1% (โดยน้ำหนัก) แทน เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของโดและวุ้นเส้นที่ได้กับวุ้นเส้นที่ใช้น้ำประปาเป็นน้ำผสมนวดแป้ง จะได้ผลคือ

5.2.4.1 ความชื้นของโดเมื่อนำไปกดเส้น จะลดลงจากความชื้นของโดที่เตรียมขึ้นเล็กน้อย ดังในตารางที่ 4.16 เนื่องจากมีการระเหยของน้ำระหว่างการผสมและนวดโด

5.2.4.2 ผลต่อความหนืดของโด จากตารางที่ 4.16 การใช้น้ำผสมกรดน้ำส้มจะทำให้ความหนืดของโดน้อยกว่าการใช้น้ำประปา แต่เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.17 ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อใช้ผสมกรดผสมโด กรดจะไปย่อยสายโซ่ของโมเลกุลแป้งเปียก ทำให้ความหนืดของแป้งเปียกในส่วนผสมลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้ความหนืดของโดลดลงด้วย แต่การที่ปริมาณกรดที่ใช้มีความเข้มข้นน้อย จึงทำให้ความแตกต่างของความหนืดไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นเวลาที่จะเกิดการย่อยสลายจะมีน้อย คือมีเฉพาะช่วงการนวดและผสมโด จึงทำให้ความหนืดไม่ลดลงมากนัก

5.2.4.3 ผลต่อการแผ่กระจายของโดจากเครื่องวัดแบบสเปรดโอ จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของโด ดังแสดงในตารางที่ 4.17 โดทั้งหมดจะมีการแผ่กระจายน้อยเหมือน ๆ กันทั้งสองชนิด

5.2.4.4 ผลต่อการไหลของโด พบว่าการไหลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังผลในตารางที่ 4.17 เนื่องจากไม่มีความแตกต่างของความหนืดของโดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.2.4.5 ผลต่อสารที่ละลายน้ำจากวุ้นเส้นหลังจากต้มเดือด 10 นาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4.17 เนื่องจากเหตุผลเดียวกับข้อ 5.2.1.5

5.2.4.6 ผลต่อขนาดของวุ้นเส้น ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงในตารางที่ 4.16 และ 4.17 เนื่องจากการไหลของโดไม่ต่างกัน ทำให้เส้นที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกัน

5.2.4.7 ผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้แม้ว่าจะไม่เท่ากัน แต่ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังผลในตารางที่ 4.16 และ 4.17 ซึ่งเป็นเพราะการไหลของโดไม่เท่ากัน

5.2.4.8 การเปรียบเทียบลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้ทางประสาทสัมผัส พบว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ทดสอบของทั้งวุ้นเส้นแห้งและวุ้นเส้นต้ม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังผลในตารางที่ 4.18 และ 4.19 เพราะคุณสมบัติของโดที่ได้ไม่แตกต่างกัน นอกจากนั้นวัตถุดิบที่ใช้ยังเป็นชนิดเดียวกันด้วย

ผลการทดลองในส่วนนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำที่มีความเป็นกรดมากขึ้น หรือการใช้ "น้ำเชื้อ" ผสมนวดแป้งไม่ทำให้คุณสมบัติของโดและวุ้นเส้นที่ได้ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าการใช้น้ำที่มีความเป็นกรดสูงขึ้นจะทำให้ความหนืดของโดลดลงบ้างเล็กน้อย จะเห็นว่าสามารถใช้น้ำประปาธรรมดาหรือน้ำที่ความเป็นกรดสูงขึ้นผสมโดเพื่อทำวุ้นเส้น โดยวุ้นเส้นที่ได้จะมีคุณสมบัติไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามในการวิจัยนี้ไม่ได้ทดลองใช้น้ำเชื้อตั้งแต่กระบวนการตะกอนแป้ง ซึ่งจะทำให้แป้งมีเวลาสัมผัสกับน้ำที่มีความเป็นกรดสูงนานขึ้น จึงยังไม่อาจกล่าวได้แน่ชัดว่า การใช้น้ำเชื้อตั้งแต่กระบวนการตกตะกอนแป้ง จะมีผลต่อคุณสมบัติของโดและวุ้นเส้นที่ได้หรือไม่

จากการศึกษาผลของตัวแปรบางตัวในกระบวนการผลิตวุ้นเส้นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต โดยศึกษาผลของอุณหภูมิและปริมาณน้ำที่ใช้ผสมโด ผลของการนวดด้วยมือต่อคุณสมบัติของโด ผลของปริมาณแป้งเปียกที่ใช้ในส่วนผสมโด และผลของความเป็นกรดของน้ำที่ใช้ผสมโด พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติของโดและลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้คือ อุณหภูมิและปริมาณน้ำที่ใช้ผสมโด และปริมาณแป้งเปียกที่ใช้ ตัวแปรเหล่านี้จะต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมจึงสามารถทำวุ้นเส้นที่มีลักษณะที่ดีได้ จากการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ควรใช้ผสมโดคือ 55 °ซ โดยเตรียมโดให้มีน้ำ 50-51% (น้ำหนักแห้งของโด) หรือใช้น้ำผสมอุณหภูมิ 30 °ซ แต่ต้องใช้ปริมาณ 52% และใช้ปริมาณแป้งเปียก 3% (น้ำหนักแห้ง) ของแป้งทั้งหมด ตัวแปรอีกสองชนิดที่ศึกษานั้น จะไม่มีผลต่อคุณสมบัติของโดและลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้

นอกจากนั้นการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า คุณสมบัติที่สำคัญของโดที่จะมีผลต่อลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้คือ การไหลของโด ซึ่งการไหลของโดนี้จะเป็นผลมาจากลักษณะความหนืดของโดด้วย ตัวแปรในการทดลองที่มีผลต่อความหนืดและการไหลของโด และทำให้คุณสมบัตินี้ของโดต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะมีผลต่อลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้ด้วย โดที่ดีจะต้องมีการไหลที่เหมาะสม (จากการทดลองพบว่าอยู่ในช่วง 11-14 กรัม/นาที ผ่านรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.795 ซม. โดยมีน้ำหนักกด 1 กิโลกรัม) จึงจะทำให้การกดเส้นสะดวกและได้วุ้นเส้นที่มีลักษณะดี ถ้าโดมีการไหลน้อยกว่าค่านี้เล็กน้อย ก็ยังสามารถกดเส้นได้ แต่จะต้องใช้แรงกดมากขึ้น แต่ถ้าน้อยกว่าค่านี้มากจะไม่สามารถกดเส้นได้ เพราะต้องใช้แรงมาก ทำให้เส้นจะมีขนาดใหญ่เล็กสลับกัน เรียกว่าเกิด "ตัวด้วง" ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ ถ้าโดมีการไหลที่มากเกินไป (มากกว่า 20 กรัม/นาที) แม้ว่าจะมีข้อดีคือ ไม่ต้องใช้แรงกดมาก แต่จะไม่ได้วุ้นเส้นที่มีลักษณะดี ลักษณะของเส้นวุ้นเส้นที่ได้จะหยิกเกาะกันเป็นกระจุก เนื่องจากโดไหลเร็วเกินไป ทำให้เส้นวุ้นเส้นสุกไม่ทัน จะไหลลงไปรวมอยู่ที่ก้นกระทะน้ำร้อน ทำให้เส้นหยิกและติดกัน ซึ่งก็เป็นลักษณะที่ไม่ดีของวุ้นเส้น ดังนั้นการไหลของโดจึงต้องมีค่าเหมาะสมดังกล่าวมาแล้ว

คุณสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่งของโดที่จะมีผลต่อการไหลของโดก็คือ ความหนืดของโด โดที่มีความหนืดมากก็จะมีการไหลน้อย และในทางตรงกันข้าม โดที่มีความหนืดน้อยก็จะมีการไหลมากกว่า เมื่อความหนืดของโดเกี่ยวข้องกับการไหลของโด ดังนั้นความหนืดของโดก็จะต้องมีค่าที่เหมาะสมด้วย จากการทดลองพบว่า ความหนืดของโด (เมื่อเวลาผ่านไปจากเริ่มวัด 1 นาที) ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 410,000-650,000 centipoise ค่าความหนืดที่ต่างไปจากค่าในช่วงนี้มาก ๆ จะทำให้โดไม่สามารถนำไปกดเส้นได้ เนื่องจากจะทำให้การไหลของโดไม่เหมาะสม

ในการผลิตวุ้นเส้น ปัญหาหนึ่งสำหรับผู้นวดแป้งที่ยังไม่ชำนาญคือ การดูลักษณะของโดที่นวดว่าพร้อมที่จะนำไปกดเส้นหรือไม่ การตรวจสอบการไหลหรือความหนืดของโดด้วยเครื่องมือต่าง ๆ จะช่วยแก้ปัญหานี้ได้ ถ้าโดมีการไหลหรือความหนืดอยู่ในช่วงที่เหมาะสมก็พร้อมที่จะนำไปกดเส้นได้ ในการวัดคุณสมบัติของโดนี้ การวัดความหนืดจะเป็นการวัดที่ทำได้ง่าย สะดวก และใช้เวลาน้อยที่สุด แต่จะมีข้อเสียคือ เครื่องมือที่ใช้จะมีราคาแพง ดังนั้นจึงอาจจะเลี่ยงมาวัดการไหลของโดโดยกดโดด้วยน้ำหนักมาตรฐาน 1 กิโลกรัม ผ่านรูขนาด 0.795 ซม. ด้วยเครื่องมือดังรูปที่ 3.7 แล้วจับเวลาหาอัตราการไหล วิธีนี้เครื่องมือที่ใช้จะมีราคาถูกกว่า แต่จะใช้เวลาทดลองมากกว่าเล็กน้อย รวมทั้งความสะดวกจะน้อยลงกว่าวิธีแรก ส่วนเครื่องมือที่นำมาใช้วัดคุณสมบัติของโดอีกชนิดหนึ่งคือ เครื่องวัดแบบสเปรดโอ จะเป็นเครื่องมือที่ไม่เหมาะที่

จะนำมาใช้ เนื่องจากไม่สามารถบอกความแตกต่างของโดที่เหมาะที่จะนำไปกดเส้นและโดที่ไม่เหมาะได้

จากผลการทดลองศึกษาผลของการนวดมือ พบว่าการนวดมือไม่มีความจำเป็น อาจตัดออกได้ถ้ามีการผสมโดให้เข้ากันดี ทำให้มีแนวทางเปลี่ยนระบบการผลิตจากแบบ batch เป็นแบบต่อเนื่องได้ โดยในช่วงการผสมและนวดโด จะสามารถออกแบบเครื่องนวดให้มีการผสมนวดไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของโด โดยคำนวณเวลาที่โดอยู่ในเครื่องให้เหมาะสม เมื่อโดออกจากเครื่องผสมจะพร้อมที่จะกดเส้นทันที จะเห็นว่าระบบการผลิตจะเป็นแบบต่อเนื่องได้ ถ้าหาอัตราการป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องให้เหมาะสม การเปลี่ยนมาใช้เครื่องจักรนี้จะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนคนซึ่งมีความชำนาญในการนวดโดด้วยมือและการดูลักษณะของโดว่าพร้อมที่จะนำไปกดเส้นหรือไม่ได้เป็นอย่างดี

5.3 <u>การทดลองทดแทนแป้งถั่วเขียวด้วยแป้งจากถั่วอื่น คือ ถั่วมันแดง ถั่วขาว ถั่วดำ ถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 และถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US ในการผลิตวุ้นเส้น</u>

5.3.1 <u>การทดลองทดแทนในปริมาณ 25% (น้ำหนักแห้ง)</u>

5.3.1.1 <u>ผลต่อสารที่ละลายน้ำจากวุ้นเส้นหลังจากต้มเดือด 10 นาที</u> เมื่อใช้แป้งจากถั่วอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้วแต่ละชนิดทดแทนแป้งถั่วเขียวในการผลิตวุ้นเส้น แล้วนำวุ้นเส้นที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์หาสารที่ละลายน้ำจากเส้นหลังจากต้มเดือด 10 นาที เปรียบเทียบกับวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวล้วน จะได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.20 เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4.21 ซึ่งอาจเนื่องจากการทดแทนยังอยู่ในปริมาณน้อย และแป้งที่นำมาทดแทนเป็นแป้งจากพืชตระกูลเหมือนกัน โดยมีคุณสมบัติต่าง ๆ ใกล้เคียงกับแป้งถั่วเขียว ดังผลการทดลองในข้อ 4.1 กล่าวคือมีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน ซึ่ง Lii และ Chang (22) พบว่าปริมาณอะไมโลสจะมีผลต่อปริมาณสารที่ละลายน้ำจากเส้น การมีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน จึงทำให้ปริมาณสารที่ละลายน้ำที่วัดได้ไม่ต่างกัน

5.3.1.2 <u>ผลต่อขนาดของวุ้นเส้น</u> จากตารางที่ 4.20 จะเห็นว่าวุ้นเส้นที่ได้จากการทดแทนแป้งถั่วเขียวและวุ้นเส้นจากการใช้แป้งถั่วเขียวล้วนมีขนาดไม่ต่างกันมากนัก และค่าที่ได้จะยังเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (13) ทั้งนี้เพราะสภาวะที่ใช้ในการผลิตเป็นสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งได้จากผลสรุปในข้อ 5.2

5.3.1.3 ผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ พบว่าจะได้ปริมาณใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 58.06-67.60% ดังตารางที่ 4.20 เพราะสภาวะที่ใช้ในการผลิตใกล้เคียงกัน

5.3.1.4 การเปรียบเทียบลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้ทางประสาทสัมผัส สำหรับวุ้นเส้นแห้ง (ตารางที่ 4.22) พบว่าวุ้นเส้นที่มีการใช้แป้งจากถั่วอื่นทุกชนิดยกเว้นถั่วดำมีความแตกต่างในด้านสี ทั้งนี้เนื่องจากสีของเปลือกถั่วที่ติดมากับแป้งในระหว่างการโม่แป้งทำให้แป้งมีสีคล้ำ และในกระบวนการผลิตที่ใช้ในการทดลองไม่มีขั้นตอนการฟอกสีของแป้งที่ใช้และวุ้นเส้นที่ได้ จึงมีความแตกต่างในด้านสีที่สังเกตเห็นได้ แต่เมื่อพิจารณาการยอมรับรวมแล้ว จะเห็นว่าไม่แตกต่างจากวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียว แม้ว่าสีของวุ้นเส้นจะคล้ำลง แต่ไม่มากนัก จึงทำให้ผู้ทดสอบยังยอมรับอยู่

เมื่อทดสอบวุ้นเส้นต้ม การใช้แป้งถั่วมันแดง พบว่ามีความแตกต่างจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียวในด้านเนื้อสัมผัส และการเกาะติดกันของวุ้นเส้น แต่จากตารางที่ 4.27 และ 4.31 การทดแทนด้วยแป้งถั่วมันแดงในปริมาณมากขึ้นคือ 50% และ 75% ก็ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างเช่นเดียวกับการทดแทนด้วยแป้งถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US และแป้งถั่วดำ ซึ่งจะพบความแตกต่างในด้านกลิ่นรสและการเกาะติดกันของวุ้นเส้น ตามลำดับ แต่เมื่อดูการทดแทนในปริมาณมากขึ้น กลับไม่พบความแตกต่าง เช่นนี้เป็นเพราะมีความผิดพลาดในด้านการให้คะแนนของผู้ทดสอบ ในด้านสีของวุ้นเส้นพบว่า วุ้นเส้นที่มีการทดแทนทุกชนิดยกเว้นการทดแทนด้วยแป้งถั่วขาวมีความแตกต่างในด้านสีจากวุ้นเส้นที่ทำด้วยแป้งถั่วเขียวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งลักษณะสีของวุ้นเส้นนี้จะมีผลต่อการยอมรับรวมด้วย วุ้นเส้นที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วขาวจึงมีการยอมรับรวมไม่ต่างจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียว ส่วนวุ้นเส้นที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วพุ่มทั้งสองพันธุ์ แม้ว่าสีของวุ้นเส้นจะคล้ำจนกระทั่งสังเกตเห็นความแตกต่างได้ แต่สีจะคล้ำไม่มาก ซึ่งจะเห็นได้จากคะแนนสูงกว่าวุ้นเส้นที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำและแป้งถั่วมันแดง ทำให้ผู้ทดสอบยังยอมรับอยู่ ผลที่ได้จึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียว แต่การทดแทนด้วยแป้งถั่วดำและแป้งถั่วมันแดงนั้น วุ้นเส้นที่ต้มแล้วจะมีสีคล้ำมาก จึงมีการยอมรับที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากวุ้นเส้นที่ทำด้วยแป้งถั่วเขียวล้วน

5.3.2 การทดลองทดแทนในปริมาณ 50% (น้ำหนักแห้ง)

5.3.2.1 ผลต่อสารที่ละลายน้ำจากวุ้นเส้นหลังจากต้มเดือด 10 นาที แม้จะเพิ่มปริมาณการทดแทนเป็น 50% (น้ำหนักแห้ง) แต่วุ้นเส้นที่มีการทดแทนและวุ้นเส้นที่ใช้แป้งถั่วเขียวล้วนจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อสารที่ละลายน้ำจากเส้น จากตารางที่ 4.24

ค่าที่ได้จะใกล้เคียงกัน และเมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าไม่ต่างกัน ดังตารางที่ 4.25 ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลเดียวกับข้อ 5.3.1.1 คือ ปริมาณอะไมโลสในแป้งที่นำมาทดแทนจะใกล้เคียงกับปริมาณในแป้งถั่วเขียวมาก แม้จะใช้ทดแทนถึง 50% ก็ยังไม่เห็นความแตกต่างด้านนี้

5.3.2.2 ผลต่อขนาดของวุ้นเส้น วุ้นเส้นที่ได้จะมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.24 และยังอยู่ในกำหนดมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม (13) เนื่องจากเหตุผลเดียวกับข้อ 5.3.1.2 คือ สภาวะการผลิตที่ใช้เป็นสภาวะที่เหมาะสม

5.3.2.3 ผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ วุ้นเส้นที่ใช้แป้งถั่วอื่นทดแทนจะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้แป้งถั่วเขียวล้วน แต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังตารางที่ 4.24 เพราะสภาวะการผลิตคล้ายกัน การใช้แป้งถั่วเขียวล้วนได้ผลน้อยกว่า เนื่องจากปริมาณโดที่นำไปกดเส้นน้อยกว่าสภาวะอื่นเล็กน้อย จึงมีการสูญเสียเนื่องจากตกค้างในกระบะกดมากกว่าของสภาวะอื่น

5.3.2.4 การเปรียบเทียบลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้ทางประสาทสัมผัส เมื่อพิจารณาวุ้นเส้นแห้ง ลักษณะการเกาะติดกันของวุ้นเส้นที่ใช้แป้งถั่วอื่นทดแทน จะไม่ต่างจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียว ยกเว้นวุ้นเส้นที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำ แต่จากตารางที่ 4.34 วุ้นเส้นจากแป้งถั่วดำล้วนมีการเกาะติดกันไม่ต่างจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียว ซึ่งเป็นเพราะในการทดลองนี้ในขั้นตอนการฉีกเส้นขณะผึ่งแดดอาจทำไม่ทั่วถึง ทำให้วุ้นเส้นติดกันบ้าง ด้านสีและการยอมรับรวมเมื่อใช้แป้งถั่วอื่นทุกชนิดทดแทนจะต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังตารางที่ 4.26 สีของวุ้นเส้นที่คล้ำลงนี้จะมีผลต่อการยอมรับรวมของวุ้นเส้น จึงทำให้คะแนนการยอมรับรวมที่ได้ต่ำกว่าคะแนนของวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

สำหรับวุ้นเส้นต้ม พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อใช้แป้งถั่วขาว ถั่วดำ และถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 มีความแตกต่างจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียว แต่จากตาราง 4.35 วุ้นเส้นจากแป้งทั้งสามชนิดนี้ล้วน ๆ ไม่มีความแตกต่างจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียวด้านเนื้อสัมผัส ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลเดียวกับข้อ 5.3.1.4 คือ มีความผิดพลาดในการให้คะแนนของผู้ทดสอบ ส่วนด้านกลิ่นรสและการเกาะติดกันของวุ้นเส้นที่นำมาทดสอบทั้งหมดไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนด้านสีของวุ้นเส้นจะมีความแตกต่างเห็นได้ชัดเจน คือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับการยอมรับรวมของวุ้นเส้นนั้น วุ้นเส้นที่ใช้แป้งถั่วขาวทดแทน แม้ว่าจะสังเกตความแตกต่างของสีได้ แต่สีของวุ้นเส้นที่ได้ไม่คล้ำมากนัก เห็นได้จากคะแนนของสีที่สูงกว่าวุ้นเส้นที่ใช้แป้งถั่วอื่นอีก 4 ชนิดทดแทน ดังนั้นการยอมรับรวมของวุ้นเส้นที่ใช้แป้งถั่วขาวทดแทนจึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก

วุ้นเส้นที่ทำด้วยแป้งถั่วเขียวล้วน ส่วนการใช้แป้งจากถั่วอื่นอีก 4 ชนิดทดแทนนั้น ทำให้สีของวุ้นเส้นคล้ำมาก จึงทำให้การยอมรับรวมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียวล้วน

5.3.3 การทดแทนในปริมาณ 75% (น้ำหนักแห้ง)

5.3.3.1 ผลต่อสารที่ละลายน้ำจากวุ้นเส้นหลังจากต้มเดือด 10 นาที แม้ว่าจะมีการทดแทนถึง 75% แต่ค่าวิเคราะห์ที่ได้ก็ยังใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.28 และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังผลในตารางที่ 4.29 ทั้งนี้เนื่องจากเหตุเดียวกับข้อ 5.2.1.1 คือ ปริมาณอะไมโลสในแป้งถั่วเขียวและแป้งถั่วอื่นที่นำมาทดแทนใกล้เคียงกัน

5.3.3.2 ผลต่อขนาดของวุ้นเส้น วุ้นเส้นทั้งหมดจะมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.28 และเป็นที่ยอมรับของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (13) เนื่องจากเหตุผลเดียวกับข้อ 5.3.1.2 คือ สภาวะที่ใช้เป็นสภาวะที่เหมาะสม

5.3.3.3 ผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะได้ปริมาณใกล้เคียงกันในช่วง 58.06-67.41% ดังตารางที่ 4.28 เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการผลิตใกล้เคียงกัน

5.3.3.4 การเปรียบเทียบลักษณะของวุ้นเส้นที่ได้ทางประสาทสัมผัส การใช้แป้งถั่วมันแดงทดแทนในปริมาณ 75% จะทำให้เกิดความแตกต่างด้านการเกาะติดกันของวุ้นเส้นแห้ง สำหรับการใช้แป้งถั่วดำทดแทนก็จะทำให้เกิดความแตกต่างในด้านนี้เช่นเดียวกัน แต่จากตารางที่ 4.34 วุ้นเส้นจากแป้งถั่วดำล้วนมีการเกาะติดกันของเส้นไม่แตกต่างจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียว แสดงว่ามีการฉีกเส้นขณะผึ่งแดดไม่ทั่วถึงเช่นเดียวกับผลในข้อ 5.3.2.4 ด้านสีของวุ้นเส้นแห้งนั้น พบว่าวุ้นเส้นที่ใช้แป้งถั่วอื่นทดแทนทุกชนิดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียว ซึ่งจะมีผลต่อการยอมรับรวมทำให้มีความแตกต่างกันไปด้วย

ด้านเนื้อสัมผัสของวุ้นเส้นต้ม จากตารางที่ 4.31 จะเห็นว่าวุ้นเส้นที่ใช้แป้งถั่วขาวและแป้งถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 ทดแทนจะมีเนื้อสัมผัสต่างไปจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียว แต่จากตารางที่ 4.35 วุ้นเส้นจากแป้งถั่วทั้งสองชนิดนี้ล้วน ๆ ไม่มีความแตกต่างด้านลักษณะเนื้อสัมผัสจากวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียว แสดงว่ามีความผิดพลาดในการให้คะแนนของผู้ทดสอบ ด้านกลิ่นรส วุ้นเส้นที่มีการใช้แป้งถั่วอื่นทดแทนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนด้านการเกาะติดกันของวุ้นเส้นต้มนั้น การทดแทนด้วยแป้งถั่วอื่นยกเว้นแป้งถั่วมันแดงและแป้งถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US พบว่าไม่มีความแตกต่างทางด้านสถิติ สำหรับการทดแทนด้วยแป้งถั่วมันแดงและแป้งถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US

เมื่อดูจากตารางที่ 4.35 จะเห็นว่าวุ้นเส้นจากแป้งถั่วทั้งสองชนิดนี้ล้วน ๆ ไม่มีความแตกต่างในด้านนี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่ามีความผิดพลาดในการให้คะแนนของผู้ทดสอบเช่นเดียวกัน แต่ด้านสีนั้น จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เช่นเดียวกับผลการทดลอง เมื่อทดแทนในปริมาณ 50% สำหรับการยอมรับรวมนั้น การทดแทนด้วยแป้งถั่วขาวจะมีความแตกต่างจากการใช้แป้งถั่วเขียวล้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการทดแทนด้วยแป้งถั่วอื่นอีก 4 ชนิดนั้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังตารางที่ 4.31 ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.2.4 คือวุ้นเส้นที่ใช้แป้งถั่วขาวทดแทนจะมีสีคล้ำน้อยกว่าวุ้นเส้นที่ใช้แป้งถั่วอื่นอีก 4 ชนิดทดแทน

จากการทดลองในส่วนนี้ประกอบกับผลการทดลองที่พบว่าคุณสมบัติของแป้งถั่วเขียวและแป้งถั่วอื่นใกล้เคียงกัน จะเห็นว่าน่าจะลองทำวุ้นเส้นจากแป้งถั่วอื่นล้วน ๆ เปรียบเทียบกับวุ้นเส้นจากแป้งถั่วเขียว สำหรับปัญหาด้านสีที่คล้ำของวุ้นเส้นที่ใช้แป้งถั่วอื่น จะแก้ไขโดยทำการฟอกสีของวุ้นเส้นที่ได้ โดยเพิ่มกระบวนการฟอกสีเข้าไปในกระบวนการผลิตที่ใช้ในการทดลอง คือภายหลังจากที่แช่แข็งวุ้นเส้นแล้ว การละลายน้ำแข็งจะทำโดยแช่วุ้นเส้นลงในสารละลายโซเดียม เมตา-ไบซัลไฟต์เข้มข้น 0.2% แทนการแช่ในน้ำประปา โดยแช่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนน้ำแข็งละลายหมด จึงนำวุ้นเส้นมาล้างในน้ำประปา โดยเปลี่ยนน้ำหลาย ๆ ครั้ง กระบวนการนี้จะช่วยให้วุ้น-เส้นมีสีขาวขึ้นได้ (24)

5.4 <u>การทดลองเปรียบเทียบวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วอื่นล้วนเปรียบเทียบกับวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวล้วน</u>

5.4.1 <u>ผลต่อสารที่ละลายน้ำจากวุ้นเส้นหลังจากต้มเดือด 10 นาที</u> จากตารางที่ 4.32 พบว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4.33 ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลเดียวกับข้อ 5.3.1.1 คือปริมาณอะไมโลสในแป้งถั่วต่าง ๆ ที่นำมาใช้ใกล้เคียงกัน

5.4.2 <u>ผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวุ้นเส้น</u> พบว่าวุ้นเส้นทั้งหมดมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.32 แม้ว่าวุ้นเส้นจากถั่วเขียวและถั่วดำจะมีขนาดเล็กกว่ากำหนดมาตรฐาน (13) แต่ก็มีความแตกต่างไม่มากนัก เนื่องจากเหตุผลเดียวกับข้อ 5.3.1.2 กล่าวคือ สภาวะที่ใช้ในการผลิตเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่เลือกมาใช้

5.4.3 ผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้แป้งถั่วเขียว แป้งถั่วดำ และแป้งถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูง โดยแป้งถั่วเขียวจะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูงที่สุด ส่วนการใช้แป้งถั่วมันแดง และถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 จะให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ แป้งถั่วมันแดงจะให้ผลผลิตต่ำที่สุด การใช้แป้งถั่วขาวจะให้ผลผลิตปานกลาง อยู่ระหว่างการใช้แป้งทั้งสองกลุ่มนี้ แม้ว่าจะใช้สภาวะการผลิตใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.32 ทั้งนี้เนื่องจากในการทดลองในช่วงนี้จะใช้แป้งถั่วชนิดอื่นล้วน ๆ ไม่มีการใช้แป้งถั่วเขียวผสม แป้งเปียกที่ใช้ก็เป็นแป้งถั่วชนิดอื่นล้วน ทำให้มีลักษณะความเหนียวหนืดของโดวุ้นเส้นที่เตรียมขึ้นต่างกัน โดยของวุ้นเส้นจากแป้งถั่วมันแดง และถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 จะขาดได้ง่ายกว่าโดของวุ้นเส้นจากแป้งถั่วอื่น ทำให้เมื่อนำมากดเส้น เส้นจะขาดง่ายทำให้ปริมาณผลผลิตต่ำ

เป็นที่น่าสังเกตอย่างหนึ่งคือ เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตของวุ้นเส้นจากแป้งถั่วเขียวจากการทดลองส่วนนี้ กับปริมาณผลผลิตของวุ้นเส้นจากแป้งถั่วเขียวเช่นเดียวกันในส่วนที่เป็นการทดลองหาสภาวะการผลิต จะเห็นค่าปริมาณผลผลิตจากการทดลองส่วนนี้สูงกว่า เมื่อทดลองหาสภาวะการผลิตมาก คือเพิ่มขึ้นจาก 57-58% เป็น 78% ทั้งที่ควรจะได้ค่าใกล้เคียงกัน เพราะวัตถุดิบและสภาวะที่ใช้เหมือนกัน ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณผลผลิตจะขึ้นกับความชำนาญของผู้เชี่ยและสาววุ้นเส้นมาก ในการทดลองช่วงหลัง ผู้เชี่ยและสาววุ้นเส้นเริ่มมีความชำนาญมากขึ้น ทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น

5.4.4 การเปรียบเทียบลักษณะวุ้นเส้นที่ได้ทางประสาทสัมผัส เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของวุ้นเส้นแห้ง ในด้านสีของเส้นแห้งนั้น วุ้นเส้นจากถั่วมันแดงจะมีสีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากวุ้นเส้นจากถั่วเขียว ส่วนวุ้นเส้นจากถั่วอื่นจะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากวุ้นเส้นจากถั่วเขียว ส่วนด้านการเกาะติดกันของเส้นนั้น วุ้นเส้นจากถั่วมันแดงจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และวุ้นเส้นจากถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากวุ้นเส้นจากถั่วเขียว ส่วนวุ้นเส้นจากถั่วขาว ถั่วดำ และถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากวุ้นเส้นที่ทำจากถั่วเขียว แต่เมื่อพิจารณาการยอมรับรวมแล้ว วุ้นเส้นที่ทำจากถั่วอื่นทุกชนิดที่นำมาทดลองจะมีความแตกต่างจากวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังตารางที่ 4.34 ทั้งนี้เป็นเพราะวุ้นเส้นที่ได้จากถั่วอื่นจะมีลักษณะที่แตกต่างจากวุ้นเส้นจากแป้งถั่วเขียวในด้านต่าง ๆ เช่นในด้านสีของวุ้นเส้น แม้ว่าวุ้นเส้นจากถั่วอื่นนอกจากถั่วมันแดงจะไม่มีความแตกต่างถึงระดับมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ก็จะมีความแตกต่าง

ที่สังเกตเห็นได้ หรือด้านการเกาะติดกันของวุ้นเส้น วุ้นเส้นจากถั่วมันแดงและถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US จะมีความแตกต่างออกไปอย่างมีนัยสำคัญยิ่งและอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากวุ้นเส้นจากถั่วเขียว หรือในด้านขนาดของวุ้นเส้นจะเห็นว่าวุ้นเส้นจากถั่วขาวและถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าวุ้นเส้นจากถั่วเขียว ปัจจัยเหล่านี้จึงทำให้มีความแตกต่างในด้านการยอมรับรวมของวุ้นเส้นแห้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

เมื่อทดสอบคุณสมบัติของวุ้นเส้นต้ม ด้านเนื้อสัมผัสและการเกาะติดกันของวุ้นเส้น วุ้นเส้นจากถั่วมันแดงจะมีความแตกต่างจากวุ้นเส้นถั่วเขียวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนวุ้นเส้นจากถั่วอื่นจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้านสีนั้น วุ้นเส้นจากถั่วอื่นทุกชนิดที่ทดลองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สำหรับการยอมรับรวมของวุ้นเส้นต้ม พบว่าวุ้นเส้นจากถั่วอื่นจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติจากวุ้นเส้นจากถั่วเขียว ดังตารางที่ 4.35 ทั้งนี้สำหรับวุ้นเส้นจากถั่วมันแดง เมื่อพิจารณาจากคะแนนของเนื้อสัมผัส สีและการเกาะติดกันของเส้น พบว่าเป็นตัวอย่างที่ได้คะแนนต่ำที่สุด และมีความแตกต่างของลักษณะเหล่านี้จากวุ้นเส้นจากถั่วเขียว ดังนั้นคะแนนการยอมรับรวมจึงต่ำและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติจากวุ้นเส้นจากถั่วเขียว ส่วนวุ้นเส้นจากถั่วอื่น คือ ถั่วขาว ถั่วดำ ถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 และถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US แม้ว่าจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสซึ่งถือว่าเป็นลักษณะที่สำคัญของวุ้นเส้น รวมทั้งมีกลิ่นรส และการเกาะติดกันของเส้น ไม่ต่างจากวุ้นเส้นจากถั่วเขียว แต่ลักษณะของสีของวุ้นเส้นจะต่างออกไป กล่าวคือ มีสีคล้ำกว่าวุ้นเส้นจากถั่วเขียว จึงทำให้การยอมรับของวุ้นเส้นต่างไปจากวุ้นเส้นจากถั่วเขียวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

จากผลการทดลองในส่วนนี้ เมื่อพิจารณาด้านเนื้อสัมผัสของวุ้นเส้นต้ม จะเห็นว่า ถั่วขาว ถั่วดำ ถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 และถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US เป็นถั่วที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ทดแทนถั่วเขียวได้ในปริมาณสูงในการผลิตวุ้นเส้น เนื่องจากเนื้อสัมผัสของวุ้นเส้นที่ทำจากถั่วเหล่านี้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากวุ้นเส้นที่ทำจากถั่วเขียว แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ถั่วอื่นเหล่านี้ยังมีข้อเสียอยู่บ้าง ซึ่งจะต้องนำมาปรับปรุงแก้ไข กล่าวคือเรื่องสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถั่วอื่น ๆ จะให้วุ้นเส้นที่มีสีคล้ำกว่า จากการทดลอง การฟอกสีของวุ้นเส้นโดยแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบ-ซัลไฟต์ 0.2% เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ยังไม่เพียงพอที่จะกำจัดสีที่ติดมากับแป้งให้หมดไป ดังนั้นจึงอาจจะต้องเพิ่มกระบวนการฟอกสีขึ้นอีก เช่น อาจจะต้องฟอกสีแป้งถั่วที่ได้หลังจากการโม่ถั่วด้วยการรมควันกำมะถัน หรืออาจจะต้องกะเทาะเปลือกถั่วออกก่อนที่จะนำไปโม่แป้ง ซึ่งจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น นอกจากนั้นยังมีความแตกต่างในด้านขนาดของเส้น วุ้นเส้นจากถั่วขาวและถั่วพุ่ม

พันธุ์ Vita-3 จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ซึ่งอาจจะแก้ไขโดยการปรับระยะของความสูงกระบะกดแป้งลงกระทะน้ำร้อนให้มากขึ้น เพื่อที่จะให้ได้เส้นที่เล็กลง หรืออาจเพิ่มปริมาณน้ำในโดขึ้นเล็กน้อย เพื่อให้ความหนืดของโดลดลง จะทำให้วุ้นเส้นมีขนาดเล็กลงได้ ดังผลการทดลองในข้อ 4.2.1.6 ในด้านปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ การใช้ถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 จะให้ผลผลิตค่อนข้างน้อยกว่าการใช้ถั่วอื่น ยกเว้นถั่วมันแดง (ตารางที่ 4.3.2) ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะความหนืดของแป้งเปียกดังกล่าวแล้วในข้อ 5.4.3 จึงอาจปรับปรุงได้โดยเปลี่ยนมาใช้แป้งเปียกจากแป้งถั่วเขียวแทน ซึ่งอาจจะช่วยทำให้ลักษณะความหนืดและการไหลของโดที่ได้ดีขึ้น ซึ่งอาจจะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตขึ้นได้บ้าง

ส่วนถั่วมันแดงนั้น จากการทดลองพบว่าจะให้วุ้นเส้นที่มีคุณสมบัติด้อยกว่าวุ้นเส้นจากถั่วอื่น ๆ ทั้งในด้านคุณสมบัติของวุ้นเส้นแห้ง และคุณสมบัติของวุ้นเส้นต้ม โดยเฉพาะทางด้านเนื้อสัมผัสของวุ้นเส้น แสดงว่าการนำมาใช้อาจจะใช้ทดแทนได้ในปริมาณไม่สูงเท่ากับถั่วอื่น ๆ แต่จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.3 พบว่าอย่างน้อยการใช้แป้งถั่วมันแดงทดแทนแป้งถั่วเขียวนั้นอาจทำได้ 75% หรือมากกว่านี้ แต่ไม่ถึง 100% ซึ่งก็นับว่าสามารถใช้ได้ในปริมาณค่อนข้างสูง