บทที่ 5

วิจารณ์ และสรุปผลการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ เมล็ดถั่วเหลือง และน้ำผลไม้ตระกูลส้ม โดยเมล็ดถั่วเหลืองที่ใช้เป็นเมล็ดถั่วเหลืองที่กะเทาะเอาเปลือกออกแล้ว เนื่องจากจะใช้เวลาในการแช่เมล็ดถั่วเหลืองน้อยกว่าการใช้ถั่วเหลืองทั้งเมล็ดที่ยังไม่เอาเปลือกออก โดยจากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าการใช้ถั่วเหลืองผ่าซีกที่กะเทาะเอาเปลือกออกแล้วจะใช้เวลาในการแช่เมล็ดถั่วเหลืองเพียง 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง แต่การใช้ถั่วเหลืองทั้งเมล็ดที่ยังไม่เอาเปลือกออกจะใช้เวลาถึง 8 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (วิธีพิจารณาว่าถั่วเหลืองแช่น้ำได้ที่ดีหรือยังแสดงในวารสารปริทัศน์ ข้อ 2.4.1) ซึ่งการใช้เวลานานในการแช่เมล็ดถั่วเหลืองนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนน้ำที่ใช้แช่บ่อย ๆ เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ (Shurtleff and Aoyagi, 1979) ดังนั้นจึงไม่สะดวกที่จะใช้ในงานวิจัย และทำให้เสียเวลาอีกด้วย และเมล็ดถั่วเหลืองที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะซื้อมาครั้งเดียวเป็นจำนวน 30 กิโลกรัม แล้วจะเก็บไว้ในถังพลาสติกที่อุณหภูมิห้องเพื่อเก็บไว้ใช้ตลอดงานวิจัย ส่วนน้ำผลไม้ตระกูลส้มที่ใช้ได้แก่ น้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวาน เนื่องจากผลไม้ทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นผลไม้ที่มีปลูกในเมืองไทย และมีราคาไม่แพง โดยมะนาวนั้นบางช่วงที่มีผลผลิตออกมามากก็จะมีราคาตกต่ำมาก ส่วนส้มจี๊ดในปัจจุบันยังเป็นพืชที่ไม่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจอย่างชัดเจน และสำหรับส้มเขียวหวานเป็นส้มที่ปลูกมากในประเทศไทย สามารถหาได้ง่าย ส้มเขียวหวานที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นส้มขนาดเล็กที่มีรสเปรี้ยวมาก จึงมีราคาถูก ดังนั้นจึงน่าจะหาแนวทางในการนำผลไม้เหล่านี้มาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลไม้ให้มากขึ้น ซึ่งแนวทางหนึ่งที่น่าจะนำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดนี้มาใช้ได้คือนำน้ำผลไม้มาใช้เป็นตัวตกตะกอนโปรตีนในนมถั่วเหลืองเพื่อผลิตเป็นเต้าหู้ เพราะเป็นผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูง และให้น้ำมาก โดยได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการทดลองผลิตเต้าหู้โดยใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นตัวตกตะกอน คือ Pontecorvo และ Bourne (1978) ได้ใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มในแถบลาติน อเมริกาเป็นตัวตกตะกอนในการผลิตเต้าหู้ Shurtleff และ Aoyagi (1979) ได้ใช้น้ำเลมอนที่ปลูกในสหรัฐอเมริกาเป็นตัวตกตะกอนในการผลิตเต้าหู้ได้ และ Tajiri (1993) ได้ใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มในประเทศญี่ปุ่นเป็นตัวตกตะกอนในการผลิตเต้าหู้ ดังนั้นจึงมีความสนใจจะทดลองศึกษาใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มในประเทศไทยเป็นตัวตกตะกอนเพื่อผลิตเต้าหู้

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเหลืองก่อน และวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด และชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำผลไม้คือน้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวาน แล้วศึกษาหาอัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่เหมาะสมในการเตรียมนมถั่วเหลือง จากนั้นศึกษาการใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอนเพื่อผลิตเต้าหู้ โดยในขั้นแรกได้ทำการศึกษาอุณหภูมิในการตกตะกอนและปริมาณน้ำผลไม้ที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ ต่อมาจึงศึกษาอัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมน้ำผลไม้ตระกูลส้มที่ใช้เป็นตัวตกตะกอนที่เหมาะสม แล้วศึกษาน้ำหนักกดในการขึ้นรูปก้อนเต้าหู้ที่เหมาะสม ต่อจากนั้นทำการปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ที่ได้ ขั้นต่อมาทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของเต้าหู้ที่ได้จากตัวตกตะกอนที่แตกต่างกันคือน้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด น้ำส้มเขียวหวาน แคลเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมคลอไรด์ สุดท้ายได้ทำการศึกษาอายุการเก็บของเต้าหู้ที่ใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอน ซึ่งจะขอวิจารณ์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

5.1 <u>การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ</u>

เมล็ดถั่วเหลืองที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความชื้นเท่ากับ 8.56% มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 42.25, 19.32, 0.97, 5.50 และ 31.96% โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตอาหารคือมีความชื้นไม่เกิน 12% (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2527) และมีปริมาณโปรตีนสูง เหมาะสำหรับนำมาใช้เพื่อเป็นอาหารโปรตีน ส่วนปริมาณเส้นใย พบว่ามีปริมาณเส้นใยต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้เมล็ดถั่วเหลืองที่กะเทาะเอาเปลือกออกแล้วเป็นวัตถุดิบ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมล็ดถั่วเหลืองที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตเป็นอาหารได้เนื่องจากมีความชื้นที่เหมาะสม และมีปริมาณโปรตีนสูง

5.2 การเตรียมน้ำผลไม้ วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด และวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำผลไม้

5.2.1 การเตรียมน้ำผลไม้

น้ำผลไม้ที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ น้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวาน ในการเตรียมน้ำผลไม้ เมื่อคั้นได้น้ำผลไม้ออกไปแล้ว จะนำน้ำผลไม้ที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 5 นาที (ความเร็วรอบ และเวลาที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยง ได้มาจากการทดลองเบื้องต้น) เพื่อกำจัดเอาเนื้อที่ปนอยู่ (pulp) ออก เนื่องจากจากการทดลองเบื้องต้นเมื่อใช้น้ำผลไม้ที่ได้จากการคั้นโดยยังมีเนื้อปนอยู่นี้มาใช้เป็นตัวตกตะกอนเพื่อผลิตเต้าหู้แข็ง พบว่าเต้าหู้แข็งที่ได้จะมีเนื้อผลไม้ปนมาทำให้เวลาเคี้ยวจะรู้สึกถึงรสเปรี้ยวของน้ำผลไม้มาก นอกจากนี้สำหรับน้ำส้มเขียวหวานที่ต้องใช้ปริมาณมากกว่าน้ำมะนาว และน้ำส้มจี๊ดมาก เพราะน้ำส้มเขียวหวานมีปริมาณกรดทั้งหมดอยู่น้อยกว่า เมื่อนำมาใช้เป็นตัวตกตะกอนเพื่อผลิตเต้าหู้แข็ง พบว่าเต้าหู้แข็งที่ได้จะมีสีส้มเพราะมีเนื้อของส้มปนมามาก จึงจำเป็นต้องกำจัดเนื้อที่ปนมาในน้ำผลไม้ออกเพื่อให้ได้แต่กรดที่อยู่ในน้ำผลไม้เท่านั้น

5.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) ของน้ำผลไม้

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิด พบว่าน้ำมะนาวมีปริมาณกรดทั้งหมดสูงสุดคือมีปริมาณ 7.51% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วิเคราะห์ได้โดยจารุณี พานแก้ว (2528) ซึ่งได้รายงานว่าปริมาณกรดทั้งหมดคิดในรูปกรดซิตริกในน้ำมะนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.29% ส่วนน้ำส้มจี๊ดมีปริมาณกรดทั้งหมดรองลงมาคือ 5.22% และน้ำส้มเขียวหวานมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำที่สุดคือ 2.14% ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้โดยณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ (2539) ซึ่งได้รายงานว่าปริมาณกรดทั้งหมดคิดในรูปกรดซิตริกในน้ำส้มเขียวหวานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.93% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากส้มเขียวหวานที่ใช้ในงานวิจัยของณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ (2539) เป็นส้มเขียวหวานขนาดใหญ่ที่มีอายุมากกว่าคือเป็นส้มที่มีอายุประมาณ 10 เดือน จึงมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำกว่า ส่วนส้มเขียวหวานที่ใช้ในงานวิจัยเป็นส้มขนาดเล็กที่มีอายุน้อยกว่าคือมีอายุประมาณ 8 เดือน

5.2.3 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำผลไม้

จากการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวานด้วยวิธี HPLC พบว่าน้ำมะนาว และน้ำส้มจี๊ดจะมีกรดอยู่ประมาณ 5 ชนิด ส่วนน้ำส้มเขียวหวานจะมีกรดอยู่ประมาณ 7 ชนิด (ดังแสดงใน Chromatogram ในภาคผนวก ก 3) โดยในการทดลองนี้ได้ฉีดสารละลายกรดมาตรฐาน 4 ชนิดคือ กรดซิตริก (citric acid) กรดแอลมาลิก (L-malic) กรดทาร์ทาริก (tartaric acid) และกรดซักซินิก (succinic acid) ซึ่งพบว่าสามารถวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดได้ 2 ชนิด คือกรดซิตริก และกรดแอลมาลิก ส่วนกรดทาร์ทาริกนั้นพบว่าไม่พบ peak ที่มี retention time ตรงกับสารละลายกรดมาตรฐานทาร์ทาริกในโครมาโตแกรมของน้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิด และสำหรับกรดซักซินิก พบว่า retention time ของสารละลายมาตรฐานกรดซักซินิกจะใกล้กับสารละลายมาตรฐานกรดซิตริกมากจนไม่สามารถแยกจากกันได้ ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอินทรีย์ในน้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดได้เพียง 2 ชนิด คือกรดซิตริก และกรดแอลมาลิก โดยพบว่าน้ำมะนาวมีกรดซิตริกสูงที่สุดคือ 6.861% และมีกรดแอลมาลิก 0.524% น้ำส้มจี๊ดมีกรดซิตริกรองลงมาคือ 4.539% และมีกรดแอลมาลิกต่ำที่สุดคือ 0.273% ส่วนน้ำส้มเขียวหวานมีกรดซิตริกต่ำที่สุดคือ 2.427% และมีกรดแอลมาลิกสูงที่สุดคือ 1.07% ซึ่งกรดซิตริกจะมีค่าคงที่ของการแตกตัวของกรด (acid dissociation constant, K_a) อยู่ 3 ค่าคือ K_1 8.2×10^{-4} K_2 1.77×10^{-5} และ K_3 3.9×10^{-6} ส่วนกรดมาลิกมีค่า K_a 2 ค่าคือ K_1 4×10^{-4} และ K_2 9.0×10^{-6} (Hui,1992) จะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะพิจารณาจากค่า K_1 หรือ K_2 ก็ตาม กรดซิตริกจะมีค่า K_a สูงกว่ากรดมาลิก ซึ่งกรดที่มีค่า K_a สูงกว่าจะสามารถแตกตัวได้ดีกว่า (Beynon and Easterby, 1996) ดังนั้นกรดซิตริกจะสามารถแตกตัวได้ดีกว่ากรดมาลิก จึงสรุปได้ว่าน้ำมะนาวซึ่งมีกรดซิตริกสูงที่สุดก็จะสามารถแตกตัวได้ดีที่สุด น้ำส้มจี๊ดมีปริมาณกรดซิตริกรองลงมา จึงมีความสามารถที่จะแตกตัวได้ดีรองลงมาจากน้ำมะนาว ส่วนน้ำส้มเขียวหวานที่มีกรดซิตริกอยู่ต่ำที่สุดและมีกรดแอลมาลิกอยู่มากที่สุดก็จะมีความสามารถแตกตัวได้ต่ำที่สุด

5.3 การศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่เหมาะสมในการเตรียมนมถั่วเหลือง

อัตราส่วนน้ำต่อถั่วในที่นี้จะหมายถึงสัดส่วนของปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีในถั่วเหลืองหลังการแช่น้ำรวมกับปริมาณที่จะเติมลงไปในขณะบดถั่ว ต่อน้ำหนักเริ่มต้นของเมล็ดถั่วเหลือง (Shurtleff and Aoyagi, 1979) ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมนมถั่วเหลืองนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการผลิตเต้าหู้ และคุณภาพของเต้าหู้ โดยถ้าเติมน้ำขณะบดถั่วเหลืองมากเกินไป

กากถั่วเหลืองที่จะมีลักษณะหยาบ ทำให้สกัดโปรตีนได้น้อยลง นมถั่วเหลืองที่ได้จะเจือจางจึงทำให้ได้ yield ของเต้าหู้ต่ำ นอกจากนี้ยังมีเวย์ (whey) ที่ต้องกำจัดทิ้งมาก แต่ถ้าเติมน้ำขณะบดถั่วเหลืองน้อยเกินไป กากถั่วเหลืองจะละเอียดมากเกินไป และจะอุ้มน้ำไว้ได้มาก ทำให้ได้นมถั่วเหลืองน้อย นมถั่วเหลืองมีความเข้มข้นมาก เต้าหู้ที่ได้ก็จะมีลักษณะเนื้อแน่น นอกจากนี้อาจจะมีกากบางส่วนปนลงมาในนมถั่วเหลือง เมื่อนำไปผลิตเต้าหู้ก็จะทำให้ได้เต้าหู้ที่มีลักษณะเนื้อหยาบ เมื่อเคี้ยวจะรู้สึกสากปากเนื่องจากมีกากถั่วเหลืองปนลงไป (Leviton, 1980)

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าการใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ต่ำกว่า 5:1 จะได้นมถั่วเหลืองน้อย เพราะกากถั่วเหลืองจะอุ้มน้ำไว้มาก และมีกากถั่วเหลืองปนลงมาในนมถั่วเหลืองมาก ดังนั้นจึงเริ่มต้นศึกษาที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเท่ากับ 5:1แล้วแปรต่อไปอีก 4 ระดับ รวมเป็น 5 ระดับ ดังนี้ คือ 5:1, 6:1, 7:1, 8:1 และ 9:1 ประเมินผลโดยพิจารณาปริมาณของแข็งและโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลืองมาสู่นมถั่วเหลือง (% Solids and protein recovery from bean to milk) ได้ผลดังรูปที่ 4.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้

การที่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำในการเตรียมนมถั่วเหลือง (จากอัตราส่วนน้ำต่อถั่วเท่ากับ 5:1 จนถึง 7:1) นมถั่วเหลืองมีปริมาณของแข็งและโปรตีนที่สกัดได้สูงขึ้น เนื่องจากน้ำจะเข้าไปจับกับโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (Soluble protein) ในถั่วเหลืองทำให้โปรตีนละลายออกมา เมื่อปริมาณน้ำมากขึ้นโปรตีนก็ละลายออกมาได้มากขึ้น แต่เมื่อปริมาณน้ำมากจนถึงระดับหนึ่ง (ตั้งแต่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเท่ากับ 7:1 เป็นต้นไป) พบว่าปริมาณของแข็ง และปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จะเริ่มคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของแข็งและโปรตีนในถั่วเหลืองถูกสกัดออกมาหมดแล้ว เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้นก็ไม่สามารถสกัดออกมาได้อีก สอดคล้องกับวิธีเตรียมนมถั่วเหลืองเพื่อผลิตเป็นเต้าหู้แข็งของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (2527) ซึ่งแนะนำให้ใช้ถั่วเหลืองจำนวน 300 กรัมและใช้น้ำ 2 ลิตร ถั่วเหลือง 300 กรัมเมื่อแช่น้ำจะมีน้ำหนักประมาณ 630 กรัม เนื่องจากถั่วเหลืองเมื่อแช่น้ำจนได้ที่แล้วจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นประมาณ 2.1 เท่าของน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองเดิม แสดงว่ามีน้ำอยู่ในเมล็ดถั่วเหลืองประมาณ 330 กรัม เมื่อรวมกับน้ำที่เติมลงไปอีก 2 ลิตร (คิดเป็น 2000 กรัม) รวมเป็นน้ำที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 2330 กรัม เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนน้ำต่อถั่วจะได้ประมาณ 7.77:1

ดังนั้นในขั้นนี้สามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่เหมาะสมในการเตรียมนมถั่วเหลืองคือ 7:1 จึงเลือกอัตราส่วนน้ำต่อถั่วเท่ากับ 7:1 ในการเตรียมนมถั่วเหลืองเพื่อทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป ซึ่งนมถั่วเหลืองที่ได้จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 8.5 องศาบริกซ์ ปริมาณของแข็งทั้งหมด 8.258% และปริมาณโปรตีน 4.665% (โดยน้ำหนักเปียก) ในการทำการ

ทดลองในขั้นต่อ ๆ ไปจึงทำการควบคุมความเข้มข้นของนมถั่วเหลืองให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 8.5 องศาบริกซ์ทุกครั้ง เนื่องจากการเตรียมนมถั่วเหลืองด้วยเครื่องคั้นน้ำและแยกกาก Vita Mix จำเป็นต้องแบ่งถั่วเหลืองที่จะใช้บดเป็นส่วน ๆ โดยในครั้งหนึ่ง ๆ จะบดถั่วเหลืองที่แช่น้ำแล้วได้ประมาณ 230 – 280 กรัม ในการเตรียมนมถั่วเหลืองในแต่ละการทดลองจึงต้องแบ่งถั่วเหลืองและน้ำที่ใช้เป็นหลาย ๆ ส่วนเพื่อบดผสมกัน การควบคุมความเข้มข้นของนมถั่วเหลืองทำได้โดยทำการตรวจสอบในแต่ละครั้งที่บดถั่วเหลืองส่วนหนึ่ง ๆ ที่แบ่งไว้ ถ้าในครั้งแรกนมถั่วเหลืองมีความเจือจางมากเกินไป ในครั้งต่อไปจะลดปริมาณน้ำลงเพื่อให้นมถั่วเหลืองมีความเข้มข้นขึ้น โดยทั่วไปจะใช้น้ำในปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณที่คำนวณได้เล็กน้อย เพื่อป้องกันไม่ให้นมถั่วเหลืองมีความเจือจางมากเกินไป สุดท้ายเมื่อนำนมถั่วเหลืองที่ได้ในแต่ละครั้งมารวมกันแล้วจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ประมาณ 8.5 องศาบริกซ์

5.4 <u>การศึกษาการผลิตเต้าหู้แข็งโดยใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นตัวตกตะกอน</u>

5.4.1 <u>การศึกษาผลของอุณหภูมิในการตกตะกอนและปริมาณน้ำผลไม้ตระกูลส้มต่อคุณภาพของเต้าหู้แข็ง</u>

ในกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็งอุณหภูมิในการตกตะกอน (Coagulaion temperature) และปริมาณตัวตกตะกอนที่เหมาะสม เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้ได้เต้าหู้แข็งที่มี yield สูง และมีคุณภาพดี ตัวตกตะกอนแต่ละชนิดที่ใช้ในการทำเต้าหู้แข็งจะมีอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมแตกต่างกันไป เช่น

- แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4.2H_2O$) จะมีอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมที่ 70 - 75°C
- แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.7H_2O$) จะมีอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมที่ 70 - 75°C
- แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2.2H_2O$) จะมีอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมที่ 78 - 85°C
- แมกนีเซียมคลอไรด์($MgCl_2.6H_2O$) จะมีอุณหภูมิตกตะกอนที่เหมาะสมที่ 78 - 85°C
- น้ำมะนาว จะมีอุณหภูมิตกตะกอนที่เหมาะสมที่ 80 - 90°C
- น้ำส้มสายชู จะมีอุณหภูมิตกตะกอนที่เหมาะสมที่ 80 - 90°C เป็นต้น

นอกจากนี้อุณหภูมิในการตกตะกอนยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณของตัวตกตะกอนที่ใช้ เวลาในการตกตะกอน (Coagulation time) และคุณภาพของเต้าหู้แข็งที่ได้ด้วย โดยถ้าใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนสูงจะใช้ปริมาณตัวตกตะกอน และเวลาในการตกตะกอนน้อยกว่า การใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนต่ำ และเต้าหู้แข็งที่ได้ก็จะมีลักษณะเนื้อแน่นกว่า (Shurtleff and Aoyagi, 1979)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในการตกตะกอน และปริมาณน้ำผลไม้ตระกูลส้มต่อคุณภาพของเต้าหู้แข็ง เพื่อหาอุณหภูมิในการตกตะกอน และปริมาณน้ำผลไม้ตระกูลส้มที่เหมาะสมสำหรับผลิตเต้าหู้แข็ง

5.4.1.1 การใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอน

จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนที่ 40 และ 50 °C และใช้ปริมาณน้ำมะนาวเท่ากับ 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง พบว่า curd ที่ได้หลังจากเติมน้ำมะนาวลงไปในนมถั่วเหลืองแล้วแยกตัวออกมาได้น้อย ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นก้อนเต้าหู้ได้แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 60°C จึงจะทำให้ได้ curd ที่แยกตัวออกจากน้ำเวย์อย่างสมบูรณ์ และขึ้นรูปเป็นก้อนเต้าหู้ได้ ดังนั้นจึงเริ่มทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 60°C และเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของผลของอุณหภูมิในการตกตะกอนอย่างชัดเจน จึงทำศึกษาโดยการแปรอุณหภูมิในการตกตะกอนเป็น 3 ระดับ คือ 60, 75 และ 90°C สำหรับปริมาณน้ำมะนาวจากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 60 °C และใช้น้ำมะนาวปริมาณ 2% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง จะใช้เวลาในการตกตะกอนนานมากจนดูเหมือนจะไม่ตกตะกอนจึงเพิ่มปริมาณน้ำมะนาวอีก 1% ลงไปนมถั่วเหลืองจึงตกตะกอนหมด และสามารถขึ้นรูปเป็นก้อนเต้าหู้ได้ ดังนั้นจึงทำการศึกษาโดยแปรปริมาณน้ำมะนาวเป็น 3 ระดับ คือ 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง ได้ผลการทดลองตารางที่ 4.4 ถึง 4.8 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

เมื่ออุณหภูมิในการตกตะกอนสูงขึ้น และปริมาณน้ำมะนาวมากขึ้นเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนจะสั้นลง โดยการใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนที่ 90 °C และใช้น้ำมะนาวปริมาณ 5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง จะใช้เวลาในการตกตะกอนสั้นที่สุด และเมื่ออุณหภูมิในการตกตะกอนสูงขึ้น และปริมาณน้ำมะนาวมากขึ้นเต้าหู้แข็งที่ได้ก็จะมีปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณของแข็ง ปริมาณโปรตีน และค่าความแข็งของเต้าหู้แข็งสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิในการตกตะกอนสูงโปรตีนที่เสียสภาพธรรมชาติเนื่องจากความร้อนขณะต้มนมถั่วเหลืองจะมีประจุรวมเป็นลบซึ่งจะมีเสถียรภาพต่ำ (Kohyama and Nishinari, 1993) เมื่อจับกับประจุบวกของกรดในน้ำมะนาว จึงถูกตกตะกอนลงมาได้เร็ว เวลาในการตกตะกอนจึงสั้น และถูกตกตะกอนลงมาได้มาก และเมื่อใช้ปริมาณน้ำมะนาวมากขึ้นก็จะมีประจุบวกจากกรดในน้ำมะนาวไปจับกับประจุลบของโปรตีนที่ถูกทำให้เสียสภาพธรรมชาติมากขึ้น และทำให้ pH ของนมถั่วเหลืองเข้าใกล้ pI ของโปรตีนมากขึ้นโปรตีนจึงถูกตกตะกอนลงมาได้มากขึ้น จึงทำให้เต้าหู้แข็งที่ตกตะกอนที่อุณหภูมิสูง และใช้ปริมาณน้ำมะนาวมากใช้เวลาในการตกตะกอนสั้น มีปริมาณ

น้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณของแข็ง และปริมาณโปรตีนมาก และเมื่อเวลาในการตกตะกอนสั้นโปรตีนจะจับกับน้ำได้น้อย เต้าหู้ที่ได้จึงมีน้ำน้อยเป็นผลทำให้เต้าหู้ที่ได้มีค่าความแข็งมากขึ้นด้วย ลักษณะปรากฏของเต้าหู้ก็จะมีลักษณะเนื้อแน่น แข็งมาก

ส่วนการตกตะกอนที่อุณหภูมิต่ำพบว่าเต้าหู้แข็งที่ได้จะมีปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณของแข็ง ปริมาณโปรตีน และค่าความแข็งของเต้าหู้แข็งต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการลดอุณหภูมิของนมถั่วเหลืองจากอุณหภูมิที่จุดเดือดลงมาจนถึง 60 °C นั้นต้องใช้เวลานานอาจจะทำให้โปรตีนบางส่วนรวมตัวกันและจับกันเองบางส่วน พร้อมกันนั้นก็จะจับโมเลกุลของน้ำเข้ามาอยู่ในโครงสร้างที่จับกันเองของโปรตีน (Snyder and Kwon, 1987; Catsipoolas and Meyer, 1970) ดังนั้นเมื่อเติมตัวตกตะกอนลงไปน้ำก็จะไปรบกวนการจับกันของโปรตีนกับตัวตกตะกอน ทำให้ต้องใช้เวลาในการตกตะกอนนาน และตกตะกอนโปรตีนลงมาได้น้อย นอกจากนี้ยังทำให้มีน้ำในโครงสร้างของเต้าหู้มากด้วย เต้าหู้ที่ได้จึงมีลักษณะนิ่มขึ้น

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 พบว่าการใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90 °C และใช้น้ำมะนาวปริมาณ 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองจะทำให้ได้เต้าหู้แข็งที่มีปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณของแข็ง และปริมาณโปรตีนในเต้าหู้แข็งไม่แตกต่างจากการใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90 °C และใช้น้ำมะนาว 4 และ 5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน แสดงว่าน้ำมะนาวปริมาณ 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองก็มีปริมาณเพียงพอที่จะตกตะกอนโปรตีนในนมถั่วเหลืองลงมาได้หมด เมื่อใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90 °C

ดังนั้นในขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 90°C และปริมาณน้ำมะนาวที่เหมาะสมคือ 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง จึงเลือกใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90 °C ใช้ปริมาณน้ำมะนาว เท่ากับ 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน ในการทดลองขั้นต่อไป

5.4.1.2 <u>การใช้น้ำส้มจี๊ดเป็นตัวตกตะกอน</u>

จากการทดลองเบื้องต้นเช่นเดียวกับการใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอนโดยใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนที่ 40 และ 50 °C และใช้ปริมาณน้ำส้มจี๊ดเท่ากับ 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง พบว่า curd ที่ได้หลังจากเติมน้ำส้มจี๊ดลงไปในนมถั่วเหลืองแล้วแยกตัวออกมาได้น้อย ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นก้อนเต้าหู้ได้ แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 60°C จึงจะทำให้ได้ curd ที่แยกตัวออกจากน้ำเวย์อย่างสมบูรณ์ และขึ้นรูปเป็นก้อนเต้าหู้ได้ ดังนั้นจึงเริ่มทำการ

ศึกษาที่อุณหภูมิ 60°C และเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของผลของอุณหภูมิในการตกตะกอนอย่างชัดเจน จึงทำศึกษาโดยการแปรอุณหภูมิในการตกตะกอนเป็น 3 ระดับ คือ 60, 75 และ 90°C สำหรับปริมาณน้ำส้มจี๊ดจากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 60 °C และใช้น้ำส้มจี๊ดปริมาณ 2% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง พบว่า curd ที่ได้ไม่แยกจากน้ำเวย์ จึงไม่สามารถขึ้นรูปเป็นก้อนเต้าหู้ได้ ดังนั้นจึงทำการศึกษาโดยแปรปริมาณน้ำส้มจี๊ดเป็น 3 ระดับ คือ 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง ได้ผลการทดลองตารางที่ 4.9 ถึง 4.13 ซึ่งได้ผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอน คือ เมื่ออุณหภูมิในการตกตะกอนสูงขึ้น และปริมาณน้ำส้มจี๊ดมากขึ้นเวลาในการตกตะกอนก็จะสั้นลง เต้าหู้แข็งที่ได้ก็จะมีปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณของแข็ง ปริมาณโปรตีน และค่าความแข็งของเต้าหู้แข็งสูงขึ้น ลักษณะปรากฏของเต้าหู้ก็จะมีลักษณะเนื้อแน่น แข็งมาก ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับการใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอน

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.10 พบว่าการใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90 °C และใช้น้ำส้มจี๊ดปริมาณ 4% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองจะทำให้ได้เต้าหู้แข็งที่มีปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณของแข็ง และปริมาณโปรตีนในเต้าหู้แข็งไม่แตกต่างจากการใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90 °C และใช้น้ำส้มจี๊ด 5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน แสดงว่าน้ำส้มจี๊ดปริมาณ 4% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองก็มีปริมาณเพียงพอที่จะตกตะกอนโปรตีนในนมถั่วเหลืองลงมาได้หมด เมื่อใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90 °C ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่าการใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอน เนื่องจากน้ำส้มจี๊ดมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำกว่าน้ำมะนาว

ดังนั้นในขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 90°C และปริมาณน้ำส้มจี๊ดที่เหมาะสมคือ 4% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง จึงเลือกใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90 °C ใช้ปริมาณน้ำส้มจี๊ด เท่ากับ 4% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน ในการทดลองขั้นต่อไป

5.4.1.3 <u>การใช้น้ำส้มเขียวหวานเป็นตัวตกตะกอน</u>

จากการทดลองเบื้องต้นเช่นเดียวกับการใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอนโดยใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนที่ 40 และ 50 °C และใช้ปริมาณน้ำส้มเขียวหวานเท่ากับ 8% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง พบว่า curd ที่ได้แยกตัวออกมาจากน้ำเวย์ได้น้อย ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นก้อนเต้าหู้ได้ แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 60°C จึงจะทำให้ได้ curd ที่แยกตัวออก

จากน้ำเวย์อย่างสมบูรณ์ และขึ้นรูปเป็นก้อนเต้าหู้ได้ ดังนั้นจึงเริ่มทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 60°C และเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของผลของอุณหภูมิในการตกตะกอนอย่างชัดเจน จึงทำศึกษาโดยการแปรอุณหภูมิในการตกตะกอนเป็น 3 ระดับ คือ 60, 75 และ 90°C เช่นเดียวกับการใช้น้ำมะนาวและน้ำส้มจี๊ดเป็นตัวตกตะกอน สำหรับปริมาณน้ำส้มเขียวหวานจากการทดลองเบื้องต้น พบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 60 °C และใช้น้ำส้มเขียวหวานปริมาณ 6% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง พบว่า curd ที่ได้ไม่แยกจากน้ำเวย์ จึงไม่สามารถขึ้นรูปเป็นก้อนเต้าหู้ได้ ดังนั้นจึงทำการศึกษาโดยแปรปริมาณน้ำส้มเขียวหวานเป็น 3 ระดับ คือ 8, 10 และ 12% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง ได้ผลการทดลองตารางที่ 4.14 ถึง 4.18 ซึ่งได้ผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการใช้น้ำมะนาว และน้ำส้มจี๊ดเป็นตัวตกตะกอน คือ เมื่ออุณหภูมิในการตกตะกอนสูงขึ้น และปริมาณน้ำส้มเขียวหวานมากขึ้นเวลาในการตกตะกอนก็จะสั้นลง เต้าหู้แข็งที่ได้ก็จะมีปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณของแข็ง ปริมาณโปรตีน และค่าความแข็งของเต้าหู้แข็งสูงขึ้น ลักษณะปรากฏของเต้าหู้ก็จะมีลักษณะเนื้อแน่น แข็งมากขึ้น ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับการใช้น้ำมะนาว และน้ำส้มจี๊ดเป็นตัวตกตะกอน

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.15 พบว่าการใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90 °C และใช้น้ำส้มเขียวหวานปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองจะทำให้ได้เต้าหู้แข็งที่มีปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณของแข็ง และปริมาณโปรตีนในเต้าหู้แข็ง ไม่แตกต่างจากการใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90 °C และใช้น้ำส้มเขียวหวาน 12% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน แสดงว่าน้ำส้มเขียวหวานปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองก็มีปริมาณเพียงพอที่จะตกตะกอนโปรตีนในนมถั่วเหลืองลงมาได้หมด เมื่อใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90°C ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่าการใช้น้ำมะนาวและน้ำส้มจี๊ดเป็นตัวตกตะกอน เนื่องจากน้ำส้มเขียวหวานมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำกว่าน้ำมะนาวและน้ำส้มจี๊ดมาก

ดังนั้นในขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 90°C และปริมาณน้ำส้มเขียวหวานที่เหมาะสมคือ 10% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง จึงเลือกใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90°C ใช้ปริมาณน้ำส้มเขียวหวานเท่ากับ 10% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน ในการทดลองขั้นต่อไป

จากการผลการทดลองในข้อ 4.4.1 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมเมื่อใช้น้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวานเป็นตัวตกตะกอนนั้นเป็นอุณหภูมิเดียวกันคือ

90 °C ส่วนปริมาณน้ำผลไม้ที่เหมาะสมได้แก่ น้ำมะนาวปริมาณ 3% น้ำส้มจี๊ดปริมาณ 4% และน้ำส้มเขียวหวานปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง ซึ่งเมื่อนำมาคิดหาปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำผลไม้แล้วพบว่าน้ำมะนาวปริมาณ 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง มีปริมาณกรดทั้งหมด 2.027 กรัม น้ำส้มจี๊ดปริมาณ 4% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง มีปริมาณกรดทั้งหมด 1.878 กรัม และน้ำส้มเขียวหวาน 10% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง มีปริมาณกรดทั้งหมด 1.923 กรัม จะเห็นได้ว่ามีปริมาณกรดทั้งหมดใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของเต้าหู้ (ตารางที่ 4.6, 4.11 และ 4.16) และพิจารณาจากลักษณะปรากฏแล้วพบว่าเต้าหู้แข็งที่ได้จากการใช้น้ำมะนาว 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง จะมีค่าความแข็งสูงกว่าเต้าหู้แข็งที่ได้จากการใช้น้ำส้มจี๊ด 4% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง และน้ำส้มเขียวหวาน 10% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการ ประการแรกคือชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำผลไม้ที่แตกต่างกัน และประการที่ 2 คือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Soluble solid) รวมทั้งสารแขวนลอย (Colloid) ในน้ำผลไม้แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน โดยสาเหตุประการแรกจะพิจารณาได้จากโครมาโตแกรมของกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ในภาคผนวก ก.3 (รูปที่ ก.4 ก.5 และ ก.6) ซึ่งพบว่าน้ำส้มเขียวหวานมีกรดอินทรีย์อยู่ประมาณ 7 ชนิด ส่วนน้ำมะนาว และน้ำส้มจี๊ดมีกรดอินทรีย์อยู่ประมาณ 5 ชนิด และในกรดอินทรีย์ 5 ชนิดนี้น้ำส้มจี๊ดก็มีชนิดของกรดแตกต่างจากน้ำมะนาวอยู่ 1 ชนิด รวมทั้งมีปริมาณกรดซิตริก และกรดแอลมาลิกต่ำกว่าน้ำมะนาว ส่วนน้ำส้มเขียวหวานก็มีปริมาณกรดซิตริกต่ำกว่าน้ำมะนาวมาก (ตารางที่ 4.3) ดังนั้นกรดในน้ำมะนาวจึงสามารถแตกตัวได้ดีกว่ากรดในน้ำส้มจี๊ดและน้ำส้มเขียวหวาน การจับกับโมเลกุลโปรตีนในนมถั่วเหลืองจึงอาจจะแตกต่างกัน และความแข็งแรงของโครงสร้างของเต้าหู้จึงแตกต่างกันไปด้วย ส่วนประการที่ 2 นั้นพิจารณาได้จากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.5 5.0 และ 10.5 องศาบริกซ์ตามลำดับ สำหรับปริมาณสารแขวนลอยในน้ำผลไม้จะพิจารณาจากค่า *L* ที่วัดได้ในน้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งค่า *L* นี้จะแสดงความสว่างของสี สารละลายที่มีค่า *L* มากกว่าแสดงว่าแสงผ่านได้มากกว่าจึงมีความขุ่นน้อยกว่า โดยค่า *L* ของน้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวานจะมีค่าเท่ากับ 64.75 75.04 และ 84.82 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณสารแขวนลอยแตกต่างกัน ซึ่งสารเหล่านี้อาจจะจับกับโปรตีนในนมถั่วเหลือง และเหนี่ยวนำให้โปรตีนตกตะกอนลงมาได้แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อการจัดเรียงตัวของโครงสร้างโปรตีน ทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างโปรตีนในเต้าหู้ที่ได้แตกต่างกันด้วย

5.4.2 <u>การศึกษาอัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมน้ำผลไม้ตระกูลส้มที่ใช้เป็นตัวตกตะกอนที่เหมาะสม</u>

อัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อ yield และคุณภาพของเต้าหู้แข็ง โดยอัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองต้องพอเหมาะ คือต้องเพียงพอที่จะทำให้ตัวตกตะกอนกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงในนมถั่วเหลือง และทำให้โปรตีนโมเลกุลเล็กๆ ในนมถั่วเหลืองสามารถรวมเป็นโปรตีนโมเลกุลใหญ่ และตกตะกอนลงมาได้ (Beddows and Wong, 1987) ถ้ากวนนมถั่วเหลืองด้วยอัตราเร็วที่ช้าเกินไปจะทำให้ได้ yield ต่ำ เนื่องจากตัวตกตะกอนกระจายตัวไม่ทั่วถึงในนมถั่วเหลือง และโปรตีนโมเลกุลเล็ก ๆ ไม่ถูกตกตะกอนลงมา แต่ถ้ากวนนมถั่วเหลืองด้วยอัตราเร็วที่สูงเกินไปก็จะไปทำลาย curd ทำให้ curd มีขนาดเล็กสามารถหลุดเล็ดลอดออกมาจากพิมพ์เต้าหู้แข็งที่ได้ก็จะมี yield ต่ำ นอกจากนี้จะทำให้เจลโปรตีนสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ เต้าหู้ที่ได้จะมีน้ำน้อยลง และเนื้อแน่น แข็งขึ้น (Watanabe *et.al.*, 1964 quoted in Shurtleff and Aoyagi, 1979; Beddows and Wong, 1987; Hou, Chang and Shin, 1997)

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการตกตะกอนและปริมาณน้ำผลไม้ต่อคุณภาพของเต้าหู้แข็งในข้อที่ 4.4.1 พบว่าอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 90 °Cและปริมาณน้ำผลไม้ตระกูลส้มที่เหมาะสมคือ น้ำมะนาวปริมาณ 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง น้ำส้มจี๊ดปริมาณ 4% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง และน้ำส้มเขียวหวานปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง จากนั้นจึงมาศึกษาอัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนที่เหมาะสม โดยจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมสารตกตะกอนด้วยอัตราเร็วต่ำกว่า 100 รอบต่อนาที (ใช้อัตราเร็ว 50 รอบต่อนาที) นมถั่วเหลืองจะไม่สามารถตกตะกอนได้ ดังนั้นจึงเริ่มศึกษาอัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนที่ 100 รอบต่อนาที และแปรอัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนต่อไปอีก 4 ระดับ รวมเป็น 5 ระดับดังนี้คือ 100, 150, 200, 250 และ 300 รอบต่อนาที (rpm) ผลการทดลองเมื่อใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.19 และ 4.20 เมื่อใช้น้ำส้มจี๊ดเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.21 และ 4.22 และเมื่อใช้น้ำส้มเขียวหวานเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.23 และ 4.24 ซึ่งพบว่าการใช้น้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอนจะให้ผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกัน สามารถอธิบายได้ดังนี้

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.19, 4.21 และ 4.23 พบว่าการใช้อัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 150 รอบต่อนาทีจะทำให้ได้ปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณของแข็ง และปริมาณโปรตีนในเต้าหู้แข็งสูงสุด การกวนด้วยอัตราเร็วที่ต่ำกว่า 150 รอบต่อนาทีจะทำให้เต้าหู้แข็งที่ได้มีปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณของแข็ง และปริมาณโปรตีนต่ำ เนื่องจากการกวนด้วยอัตราเร็วที่ต่ำเกินไป ตัวตกตะกอนกระจายตัวในนมถั่วเหลืองไม่ทั่วถึงจึงจับกับโปรตีนได้ไม่หมด และโปรตีนบางส่วนโดยเฉพาะโปรตีนที่ละลายได้ และโปรตีนที่มีขนาดเล็กจะไม่ถูกตกตะกอนลงมา (Beddows and Wong, 1987) ทำให้เต้าหู้แข็งมีปริมาณโปรตีนต่ำเป็นผลทำให้มีปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง และปริมาณของแข็งต่ำด้วย ส่วนการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมสารตกตะกอนด้วยอัตราเร็วสูงกว่า 150 รอบต่อนาทีนั้นจะทำให้ curd บางส่วนถูกทำให้เล็กลง จึงหลุดเล็ดลอดออกจากพิมพ์ทำให้มีปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง และปริมาณของแข็งต่ำด้วยเช่นกัน แต่พบว่าปริมาณโปรตีนไม่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากโปรตีนที่ละลายได้และโปรตีนขนาดเล็กจะถูกตกตะกอนลงมาได้หมดแล้วเมื่ออัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที ดังนั้นเมื่อกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนด้วยความเร็วที่สูงกว่า 150 รอบต่อนาที จึงไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในเต้าหู้แข็งที่ได้ สำหรับค่าความแข็งและความเหนียวของเต้าหู้พบว่าอัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมสารตกตะกอนไม่มีผลทำให้ค่าความแข็งและความเหนียวของเต้าหู้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งพบว่าไม่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ คือ Beddows และ Wong (1987) ได้กำหนดเวลาในการกวนนมถั่วเหลืองที่แน่นอนไว้คือ 30 วินาที เมื่อกวนนมถั่วเหลืองจนตกตะกอนหมดแล้วและทำการกวนต่อไปจนครบเวลาที่กำหนดไว้ซึ่งการทำเช่นนี้จะไปทำลายโครงสร้างของเต้าหู้ ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเต้าหู้ลดลง นอกจากนี้ curd ที่ได้จะมีขนาดเล็ก เวลารวมตัวกันจะเกิดเป็นโครงสร้างที่ติดกันแน่น เต้าหู้ที่ได้ก็จะมีความแข็งมากขึ้น แต่ในงานวิจัยนี้จะทำการกวนนมถั่วเหลืองจนตกตะกอนหมดแล้วจะหยุดกวนทันทีโดยเวลาที่ใช้ในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมน้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดจนนมถั่วเหลืองตกตะกอนหมดจะมีค่าใกล้เคียงกันคือเมื่อใช้อัตราเร็ว 100 รอบต่อนาทีจะใช้เวลาประมาณ 26 วินาที อัตราเร็ว 150 รอบต่อนาทีจะใช้เวลาประมาณ 11 วินาที อัตราเร็ว 200 รอบต่อนาทีจะใช้เวลาประมาณ 7 วินาที อัตราเร็ว 250 รอบต่อนาทีจะใช้เวลาประมาณ 4 วินาที และอัตราเร็ว 300 รอบต่อนาทีจะใช้เวลาประมาณ 3 วินาที ทำให้โอกาสในการทำลายโครงสร้างของเต้าหู้ต่ำ ค่าความแข็ง และความเหนียวจึงไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมสารตกตะกอนด้วยอัตราเร็ว 100

รอบต่อนาที จะทำให้ได้ curd ขนาดใหญ่ เมื่อขึ้นรูปเป็นก้อนเต้าหู้จะทำให้เต้าหู้แข็งที่ได้มีรูพรุนที่ผิวมาก เนื้อเต้าหู้ไม่ค่อยติดกัน

ดังนั้นในขั้นนี้สามารถสรุปได้ว่าอัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนที่เหมาะสมเมื่อใช้น้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวานเป็นตัวตกตะกอน คือ 150 รอบต่อนาที จึงเลือกอัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมสารตกตะกอนเท่ากับ 150 รอบต่อนาทีในการทดลองขั้นต่อไป

5.4.3 <u>การศึกษาน้ำหนักกดเพื่อขึ้นรูปก้อนเต้าหู้แข็งที่เหมาะสมเมื่อใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นตัวตกตะกอน</u>

น้ำหนักกดเพื่อขึ้นรูปก้อนเต้าหู้เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ โดยทั่วไปเพื่อผลิตเต้าหู้อ่อนจะกดทับก้อนเต้าหู้ด้วยน้ำหนักกด 2-4 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงกดด้วยน้ำหนักที่มากขึ้นคือ 5-15 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 10-15 นาที และเพื่อผลิตเต้าหู้แข็งจะกดด้วยน้ำหนักกด 20-100 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 20-30 นาที (Shurtleff and Aoyagi, 1979) การกดด้วยน้ำหนักกดที่น้อยเกินไปจะทำให้ curd เกาะติดกันได้ไม่ดี มี curd บางส่วนติดไปกับผ้าขาวบางที่รองพิมพ์ ทำให้ได้ yield ต่ำ เต้าหู้ที่ได้จะมีน้ำมาก ส่วนการกดด้วยน้ำหนักกดที่มากเกินไป เต้าหู้ที่ได้ก็จะมีน้ำน้อยลง เนื้อแน่น แข็งมากขึ้น (Beddows and Wong, 1987)

ทำการทดลองโดยเลือกภาวะที่ดีที่สุดจากผลการทดลองข้อ 4.4.1 และ 4.4.2 คือ ใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90 °C ใช้ปริมาณน้ำผลไม้ดังนี้ น้ำมะนาวปริมาณ 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง น้ำส้มจี๊ดปริมาณ 4% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง และน้ำส้มเขียวหวานปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง และใช้อัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที จากการทดลองเบื้องต้นโดยทดลองใช้น้ำหนักกดเพื่อขึ้นรูปก้อนเต้าหู้แข็งเท่ากับ 1 และ 1.5 กิโลกรัม พบว่า curd จะเกาะติดกันไม่ดี มี curd ติดไปกับผ้าขาวบางมาก เต้าหู้ที่ได้จะมีผิวไม่เรียบ และมีน้ำมาก ดังนั้นจึงทำการศึกษาน้ำหนักกดเพื่อขึ้นรูปก้อนเต้าหู้ที่เหมาะสมโดยการแปรน้ำหนักกดเป็น 5 ระดับ คือ 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 กิโลกรัม ซึ่งพบว่าการใช้น้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอนจะให้ผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยเมื่อใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.25 และ 4.26 เมื่อใช้น้ำส้มจี๊ดเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.27 และ 4.28 และเมื่อใช้น้ำส้มเขียวหวานเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.29 และ 4.30 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

จากตารางที่ 4.25, 4.27 และ 4.29 พบว่าการใช้น้ำหนักกดเพื่อขึ้นรูปก้อนเต้าหู้แข็งที่ต่ำเกินไป (ต่ำกว่า 3 กิโลกรัม) เต้าหู้แข็งที่ได้จะมีน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง และปริมาณของแข็งต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากมี curd บางส่วนติดอยู่กับผ้าขาวบางจึงทำให้เต้าหู้แข็งมีน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองต่ำ และการกดด้วยน้ำหนักที่ต่ำ curd จะเกาะกันไม่แน่นจึงมีน้ำในก้อนเต้าหู้มาก ปริมาณของแข็งในเต้าหู้จึงต่ำด้วย และเมื่อเพิ่มน้ำหนักกดมากขึ้นน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองและปริมาณของแข็งในเต้าหู้แข็งก็จะเพิ่มขึ้นและจะเริ่มคงที่เมื่อใช้น้ำหนักกดตั้งแต่ 3 กิโลกรัมเป็นต้นไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำในเต้าหู้แข็งที่สามารถถูกขับออกมาได้ ถูกขับออกมาหมดแล้ว การเพิ่มน้ำหนักกดไปจนถึง 4 กิโลกรัมจึงไม่มีผลต่อน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองและปริมาณของแข็งในเต้าหู้แข็ง สำหรับปริมาณโปรตีนในเต้าหู้พบว่าน้ำหนักกดที่ใช้ไม่ทำให้ปริมาณโปรตีนในเต้าหู้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิในการตกตะกอน ปริมาณน้ำผลไม้ตระกูลส้มที่ใช้เป็นตัวตกตะกอน และอัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนที่ใช้เป็นภาวะที่ทำให้โปรตีนในนมถั่วเหลืองตกตะกอนลงมาได้ดีแล้ว สำหรับค่าความแข็ง และความเหนียวของเต้าหู้แข็ง พบว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักกดมากขึ้นจาก 2 กิโลกรัมจนถึง 3 กิโลกรัม ค่าความแข็งและความเหนียวของเต้าหู้แข็งก็จะเพิ่มมากขึ้น และจะมีค่าคงที่เมื่อเพิ่มน้ำหนักกดจาก 3 กิโลกรัม จนถึง 4 กิโลกรัมเช่นเดียวกับน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง และปริมาณของแข็งในเต้าหู้แข็ง

ดังนั้นในการทดลองขั้นนี้จึงสรุปได้ว่าน้ำหนักกดเพื่อขึ้นรูปก้อนเต้าหู้ที่เหมาะสมเมื่อใช้น้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวานเป็นตัวตกตะกอนคือ 3 กิโลกรัม

5.4.4 <u>การปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเต้าหู้แข็งที่ผลิตโดยใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นตัวตกตะกอน</u>

จากผลการทดลองในข้อ 4.4.1, 4.4.2 และ 4.4.3 พบว่าก้อนเต้าหู้แข็งที่ได้มีลักษณะแข็ง และเหนียวมาก ซึ่งไม่ใช่ลักษณะปกติของเต้าหู้แข็ง และจากผลการทดลองในข้อ 4.4.1 พบว่าสามารถลดความแข็งและความเหนียวของเต้าหู้แข็งได้โดยลดปริมาณตัวตกตะกอนหรือลดอุณหภูมิในการตกตะกอนลง อย่างไรก็ตามพบว่าการตกตะกอนที่อุณหภูมิสูงโปรตีนจะตกตะกอนได้ดีกว่า ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเต้าหู้โดยใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90°C ใช้อัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมสารตกตะกอนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที และใช้น้ำหนักกดเพื่อขึ้นรูปก้อนเต้าหู้เท่ากับ 3 กิโลกรัม สำหรับปริมาณน้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าปริมาณน้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวานต่ำที่สุดที่จะ

ทำให้โปรตีนในนมถั่วเหลืองตกตะกอนและขึ้นรูปเป็นก้อนเต้าหู้ได้คือ 1%, 1.5% และ 4% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองตามลำดับ ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยแปรปริมาณน้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวาน ดังนี้

- น้ำมะนาวแปรเป็น 5 ระดับ คือ 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง
- น้ำส้มจี๊ด แปรเป็น 4 ระดับ คือ 1.5, 2, 2.5 และ 3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง
- น้ำส้มเขียวหวาน แปรเป็น 5 ระดับ คือ 4, 5, 6, 7 และ 8% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง

ซึ่งพบว่าการใช้น้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอนจะให้ผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยเมื่อใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.31 ถึง 4.33 เมื่อใช้น้ำส้มจี๊ดเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.34 ถึง 4.36 และเมื่อใช้น้ำส้มเขียวหวานเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.37 ถึง 4.39 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จากตารางที่ 4.31, 4.32, 4.34, 4.35, 4.37 และ 4.38 พบว่าเมื่อปริมาณน้ำผลไม้ตระกูลส้มมากขึ้นเต้าหู้แข็งที่ได้จะมีปริมาณน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณของแข็ง และปริมาณโปรตีนสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีประจุบวกของกรดในน้ำผลไม้ตระกูลส้มไปจับกับประจุลบของโปรตีนมากขึ้น และทำให้ pH ของนมถั่วเหลืองเข้าใกล้ pI ของโปรตีนมากขึ้นจึงตกตะกอนโปรตีนได้มากขึ้น ทำให้เต้าหู้มีน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง และปริมาณของแข็งมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังมีผลทำให้เต้าหู้แข็งที่ได้มีค่าความแข็งและความเหนียวสูงขึ้น

สำหรับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส จากตารางที่ 4.33 เมื่อใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอนพบว่า เมื่อใช้น้ำมะนาวปริมาณ 1% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเต้าหู้แข็งที่ได้จะได้คะแนนการยอมรับในด้านสี กลิ่นและรสชาติ และความชอบรวมดีที่สุด และมีคะแนนเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วงนิ่มมากถึงนิ่มพอดี เมื่อใช้น้ำมะนาวมากขึ้น เต้าหู้ก็จะมีสีคล้ำลง มีกลิ่นและรสชาติของน้ำมะนาวปนมามากขึ้น และมีลักษณะแข็งมากขึ้น จึงมีคะแนนความชอบรวมต่ำลง ส่วนการใช้น้ำส้มจี๊ดและน้ำส้มเขียวหวานเป็นตัวตกตะกอน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.36 และ 4.39 พบว่าเมื่อใช้น้ำส้มจี๊ดปริมาณ 2% และน้ำส้มเขียวหวานปริมาณ 5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง เต้าหู้แข็งที่ได้จะได้คะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นและรสชาติ และความชอบรวมดีที่สุด และมีคะแนนเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วงนิ่มมากถึงนิ่มพอดี เมื่อใช้น้ำส้มจี๊ดและน้ำส้มเขียวหวานปริมาณน้อยเกินไปเต้าหู้จะมีลักษณะนิ่มมาก ทำให้คะแนนการยอมรับต่ำ และเมื่อใช้ปริมาณน้ำส้มจี๊ด

และน้ำส้มเขียวหวานมากเกินไป เต้าหู้ก็จะมีสีคล้ำลง มีกลิ่นและรสชาติของน้ำผลไม้ปนมามากขึ้น และมีลักษณะแข็งมากขึ้น จึงมีคะแนนความชอบรวมต่ำลง

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงสรุปได้ว่าปริมาณน้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวานที่เหมาะสมคือ 1, 2 และ 5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง

5.5 <u>การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของเต้าหู้แข็งที่ได้จากตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน</u>

จากผลการศึกษาในข้อ 4.4 จะได้ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้แข็งโดยใช้น้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวานเป็นตัวตกตะกอนแล้วพบว่าเต้าหู้ที่ได้มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับเต้าหู้แข็งที่วางขายตามท้องตลาด จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบกับเต้าหู้แข็งที่ใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอน กับเต้าหู้แข็งที่ใช้ตัวตกตะกอนปกติได้แก่ แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4.2H_2O$) แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.7H_2O$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2.2H_2O$) และ แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2.6H_2O$) เป็นตัวตกตะกอน โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบเวลาในการตกตะกอน น้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ปริมาณของแข็ง โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความแข็ง ความเหนียว และค่าสี (L, a และ b) และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้แข็งที่ได้ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่

จากการทำการทดลองโดยใช้ตัวตกตะกอนปริมาณต่าง ๆ และอุณหภูมิในการตกตะกอน ดังนี้

<u>ชนิดของตัวตกตะกอน</u>	<u>ปริมาณตัวตกตะกอน</u> (% โดยน้ำหนักนมถั่วเหลือง)	<u>อุณหภูมิในการตกตะกอน</u> (°C)
- น้ำมะนาว	1	90
- น้ำส้มจี๊ด	2	90
- น้ำส้มเขียวหวาน	5	90
- $CaSO_4.2H_2O$	1	75
- $MgSO_4.7H_2O$	1	75
- $CaCl_2.2H_2O$	0.5	85
- $MgCl_2.6H_2O$	0.5	85

ตัวตกตะกอนปกติจะทำการทดลองโดยดัดแปลงมาจากวิธีของ deMan, deMan และ Gupta (1986) คือใช้นมถั่วเหลืองที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเท่ากับ 7:1 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 8.3% และมีปริมาณโปรตีน 4.7% สำหรับปริมาณตัวตกตะกอนที่ใช้นั้น deMan, deMan และ Gupta (1986) จะใช้ $CaSO_4.2H_2O$ 0.75%, $MgSO_4.7H_2O$ 0.3%, $CaCl_2.2H_2O$ 0.15% และ $MgCl_2.6H_2O$ 0.3% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าปริมาณที่ deMan, deMan และ Gupta (1986) ใช้นั้นไม่สามารถตกตะกอนโปรตีนในนมถั่วเหลืองเพื่อผลิตเป็นเต้าหู้แข็งได้ จึงต้องเพิ่มปริมาณตัวตกตะกอนที่ใช้ โดยปริมาณที่สามารถตกตะกอนโปรตีนในนมถั่วเหลืองทำให้ได้เต้าหู้แข็งนั้น คือ $CaSO_4.2H_2O$ 1%, $MgSO_4.7H_2O$ 1%, $CaCl_2.2H_2O$ 0.5% และ $MgCl_2.6H_2O$ 0.5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง ส่วนอุณหภูมิในการตกตะกอนที่ใช้ deMan, deMan และ Gupta (1986) ไม่ได้กำหนดไว้โดยบอกไว้แต่เพียงว่าทำการเติมตัวตกตะกอนในนมถั่วเหลืองที่ร้อน ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมตามที่ Shurtleff และ Aoyagi (1979) ได้กล่าวไว้ คือ $CaSO_4.2H_2O$ จะมีอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมที่ 70 - 75°C $MgSO_4.7H_2O$ จะมีอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมที่ 70 - 75°C $CaCl_2.2H_2O$ จะมีอุณหภูมิในการตกตะกอนที่เหมาะสมที่ 78 - 85°C และ $MgCl_2.6H_2O$ จะมีอุณหภูมิตกตะกอนที่เหมาะสมที่ 78 - 85°C และจากผลการทดลองในข้อ 4.4.1 พบว่าการใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนสูงจะตกตะกอนโปรตีนในนมถั่วเหลืองลงมาได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนต่ำ จึงเลือกค่าอุณหภูมิที่สูงของแต่ละตัวตกตะกอนเป็นอุณหภูมิในการตกตะกอน สำหรับอัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมสารตกตะกอนจะใช้อัตราเร็วเท่ากับ 150 รอบต่อนาที และใช้น้ำหนักกดเพื่อขึ้นรูปก้อนเต้าหู้แข็งเท่ากับ 3 กิโลกรัม

ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.40 ถึง 4.44 และรูปที่ 4.2 และ 4.3 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จากตารางที่ 4.40 พบว่าการใช้ $CaSO_4.2H_2O$ 1%, $MgSO_4.7H_2O$ 1%, $CaCl_2.2H_2O$ 05% และ $MgCl_2.6H_2O$ 0.5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอนจะทำให้ได้เต้าหู้แข็งที่มีน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองมากกว่าการใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอน และจากตารางที่ 4.41 พบว่าการใช้ $CaSO_4.2H_2O$ 1%, $MgSO_4.7H_2O$ 1%, $CaCl_2.2H_2O$ 0.5% และ $MgCl_2.6H_2O$ 0.5% เป็นตัวตกตะกอนจะทำให้เต้าหู้ที่ได้มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าการใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณของตัวตกตะกอนปกติที่ใช้นั้นมีปริมาณเพียงพอที่จะตกตะกอนโปรตีนในนมถั่วเหลืองลงมาได้หมด ทำให้เต้าหู้แข็งที่ได้จากการใช้ตัวตกตะกอนปกติมีน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง และปริมาณ

โปรตีนสูงกว่าการใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอน นอกจากนี้ยังทำให้เต้าหู้ที่ได้มีปริมาณเถ้าสูงกว่าการใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอนเนื่องจากมีปริมาณแร่ธาตุมากกว่า แต่จะทำให้เต้าหู้แข็งที่ได้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่า ส่วนปริมาณไขมันในเต้าหู้พบว่าตัวตกตะกอนที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ปริมาณไขมันในเต้าหู้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับค่าความแข็งและความเหนียวของเต้าหู้แข็งซึ่งแสดงในตารางที่ 4.42 พบว่าได้ผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณของแข็งในเต้าหู้แข็ง โดยการใช้ $CaCl_2.2H_2O$ 0.5% และ $MgCl_2.6H_2O$ 0.5% เป็นตัวตกตะกอนจะทำให้เต้าหู้แข็งที่ได้มีปริมาณของแข็ง ค่าความแข็ง และความเหนียวสูงที่สุด และการใช้ $CaSO_4.2H_2O$ 1% เป็นตัวตกตะกอนจะทำให้เต้าหู้แข็งที่ได้มีปริมาณของแข็ง ค่าความแข็งและความเหนียวต่ำที่สุด สำหรับการใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอนจะทำให้เต้าหู้แข็งที่ได้มีค่าความแข็งและความเหนียวใกล้เคียงกับการใช้ $MgSO_4.7H_2O$ 1% เป็นตัวตกตะกอน เหตุที่ใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอนแล้วได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีแตกต่างจากการใช้ตัวตกตะกอนปกติ แต่ได้ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพใกล้เคียงกับการใช้ตัวตกตะกอนปกตินั้น อาจเนื่องมาจากกลไกในการตกตะกอนของโปรตีนในนมถั่วเหลืองเมื่อใช้ตัวตกตะกอนคนละประเภทกัน โดยตามที่ Kohyama, Sano และ Doi (1995) ได้เสนอกลไกในการตกตะกอนโปรตีนในนมถั่วเหลืองเพื่อผลิตเป็นเต้าหู้ไว้ว่าประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกเมื่อโปรตีนได้รับความร้อนจากการต้มนมถั่วเหลือง โปรตีนจะเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของโปรตีนซึ่งปกติจะอยู่ด้านในหันออกมาอยู่ด้านนอก และเมื่อโปรตีนเสียสภาพธรรมชาติก็จะมีประจุเป็นลบ (Kohyama and Nishinari, 1993) ต่อมาในขั้นตอนที่สอง โปรตีนที่เสียสภาพธรรมชาติและมีประจุลบนี้จะจับกับประจุบวกของตัวตกตะกอนทำให้มีสภาพเป็นกลาง แล้วโปรตีนจะเข้ามาจับกันเองด้วย hydrophobic interaction เกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายขึ้นมา ซึ่งในโครงสร้างนี้ก็จะมีน้ำและของแข็งอื่น ๆ เช่น ไขมัน แทรกตัวอยู่ สำหรับการใช้เกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นตัวตกตะกอนนั้น นอกจากโปรตีนจะจับกันเองด้วย hydrophobic interaction แล้ว แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ก็จะจับกับไฟเตต (Phytate) ที่อยู่รวมกับโมเลกุลของโปรตีนโดยไฟเตตจะทำตัวเป็นเหมือนสะพานเชื่อม ทำให้โครงสร้างของเต้าหู้แข็งที่ได้จากการใช้เกลือแคลเซียม และเกลือแมกนีเซียมเป็นตัวตกตะกอนสามารถจับน้ำไว้ในโครงสร้างได้มากกว่า (Lee and Rha, 1978) เต้าหู้แข็งที่ได้ก็จะมีลักษณะนิ่มกว่า ในขณะที่การใช้กรดเป็นตัวตกตะกอนนั้นจะอาศัยหลักการตกตะกอนโดยการปรับ pH ของนมถั่วเหลืองให้เข้าใกล้กับ Isoelectric point ของโปรตีนกลอบูลินในนมถั่วเหลือง (pH 4.2-4.5) ซึ่งโปรตีนจะตกตะกอนลงมาและจับกันเองด้วย Van der Waals interaction (Lee and

Rha, 1978) ซึ่งจะไม่มีสะพานเชื่อมเหล่านี้ในโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างของเต้าหู้แข็งที่ได้เกาะติดกันแน่นกว่า มีน้ำแทรกอยู่น้อยกว่า ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองจากข้อ 4.4.1 คือเมื่อใช้น้ำมะนาว 3% น้ำส้มจี๊ด 4% และน้ำส้มเขียวหวาน 10% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน พบว่าเต้าหู้แข็งที่ได้จะมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับการใช้ตัวตกตะกอนปกติ (ตารางที่ 4.5, 4.10 และ 4.15) คือมีปริมาณโปรตีนประมาณ 62% แต่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งกว่ามาก (ตารางที่ 4.6, 4.11 และ 4.16) และถ้าต้องการจะให้เต้าหู้แข็งที่ใช้กรดเป็นตัวตกตะกอนมีลักษณะนิ่มลง ก็ต้องลดปริมาณตัวตกตะกอนลง เพื่อให้ใช้เวลาในการตกตะกอนนานขึ้น โปรตีนในนมถั่วเหลืองมีเวลาจับกับน้ำได้มากขึ้นก่อนที่จะตกตะกอนลงมา เต้าหู้แข็งที่ได้ก็จะมีน้ำในโครงสร้างมากขึ้น แต่ขณะเดียวกันเมื่อใช้ตัวตกตะกอนน้อยลงก็จะตกตะกอนโปรตีนลงมาได้น้อย ทำให้เต้าหู้แข็งที่ได้มีน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง และปริมาณโปรตีนต่ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการใช้กรดเป็นตัวตกตะกอน

สำหรับลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้แข็งที่มีวางขายตามท้องตลาดแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้แข็งได้แก่ค่าความแข็ง (Hardness, g/mm^2) และความเหนียว (Cohesiveness) ของเต้าหู้แข็งที่มีวางขายตามท้องตลาด

ชนิดของเต้าหู้แข็ง	ค่าเฉลี่ย* ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ค่าความแข็ง (g/mm^2)	ค่าความเหนียว
เต้าหู้ขาวชนิดนิ่ม	8.533 ± 1.255	0.234 ± 0.035
เต้าหู้ขาวชนิดแข็ง	11.998 ± 0.779	0.224 ± 0.022
เต้าหู้เหลือง	15.376 ± 1.344	0.212 ± 0.025

*ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างเต้าหู้ 5 ตัวอย่างจากตลาดสามย่าน และตลาดพรานนก

จากตารางที่ 5.1 และตารางที่ 4.42 พบว่าเต้าหู้แข็งจากงานวิจัยนี้ไม่ว่าจะใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอน หรือใช้ตัวตกตะกอนปกติ จะมีค่าความแข็งใกล้เคียงกับเต้าหู้ขาวอย่างแข็ง และเต้าหู้เหลือง แต่จะมีค่าความเหนียวสูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเต้าหู้ที่มีวางขายตามท้องตลาดนั้นมีการผสมสารอื่นนอกจากตัวตกตะกอนลงไป เช่น แป้งมัน เป็นต้น และ

จากค่าความแข็ง และความเหนียวของเต้าหู้ในตารางที่ 4.42 นี้พบว่าเต้าหู้แข็งที่ได้จากการใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอนจะมีค่าความแข็ง และความเหนียวใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าปริมาณกรดที่ใช้ในการตกตะกอนโปรตีนในนมถั่วเหลืองจะแตกต่างกัน คือ น้ำมะนาว 1% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง จะมีปริมาณกรดทั้งหมด 0.676 กรัม น้ำส้มจี๊ด 2% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง จะมีปริมาณกรดทั้งหมด 0.936 กรัม และน้ำส้มเขียวหวาน 5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง จะมีปริมาณกรดทั้งหมด 0.963 กรัม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำผลไม้ที่แตกต่างกัน และปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณสารแขวนลอยในน้ำผลไม้แต่ละชนิดที่แตกต่างกันดังที่กล่าวไว้แล้วในข้อ 5.4.1 และเนื่องจากใช้ปริมาณน้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดไม่เท่ากันดังนั้นจึงอาจมีผลของปริมาณน้ำในน้ำผลไม้แต่ละชนิดเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงทำการทดลองผลิตเต้าหู้โดยใช้กรดซิตริกปริมาณเท่ากันคือ 0.9 กรัม โดยเทียบให้ใกล้เคียงกับปริมาณกรดซิตริกที่มีในน้ำผลไม้ในปริมาณที่เหมาะสมที่จะใช้ทำเต้าหู้แข็ง แต่นำกรดมาละลายน้ำในปริมาณต่างกันคือในปริมาณ 9 กรัม (เท่ากับปริมาณน้ำมะนาว) 18 กรัม (เท่ากับปริมาณน้ำส้มจี๊ด) และ 45 กรัม (เท่ากับปริมาณน้ำส้มเขียวหวาน) ทำให้ได้กรดซิตริกความเข้มข้นแตกต่างกันเป็นตัวตกตะกอน แล้วนำเต้าหู้แข็งที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแข็ง และความเหนียวได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยค่าความแข็ง (Hardness, g/mm^2) และความเหนียวของเต้าหู้แข็งที่ได้จากการใช้กรดซิตริกความเข้มข้นแตกต่างกันเป็นตัวตกตะกอน

ความเข้มข้นของกรดซิตริก	ค่าเฉลี่ย* ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ค่าความแข็ง	ค่าความเหนียว
0.9 g/น้ำ 9 g	14.000 ± 1.418	0.271 ± 0.005
0.9 g/น้ำ 18 g	14.397 ± 1.246	0.273 ± 0.007
0.9 g/น้ำ 45 g	14.771 ± 1.264	0.275 ± 0.003

* ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่าง 2 ซ้ำ

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าเต้าหู้แข็งที่ได้มีค่าความแข็ง และความเหนียวใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นปริมาณของน้ำในน้ำผลไม้ที่แตกต่างกันจึงไม่น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของเต้าหู้ที่ได้

สำหรับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในตารางที่ 4.44 พบว่าเต้าหู้แข็งที่ใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอน จะมีคะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏต่ำกว่าเต้าหู้แข็งที่ใช้ตัวตกตะกอนปกติเป็นตัวตกตะกอน เนื่องจากเต้าหู้แข็งที่ได้จะมีผิวไม่ค่อยเรียบเนียน เหมือนเต้าหู้แข็งที่ได้จากตัวตกตะกอนปกติ แต่จะมีคะแนนการยอมรับในด้านสีสูงกว่า เนื่องจากมีสีขาวกว่า และพบว่าเต้าหู้แข็งที่ใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอนจะมีคะแนนการยอมรับในด้านกลิ่นและรสชาติไม่แตกต่างจากเต้าหู้แข็งที่ใช้ตัวตกตะกอนปกติ เนื่องจากปริมาณน้ำผลไม้ตระกูลส้มที่ใช้นี้มีปริมาณน้อยจึงไม่มีผลต่อรสชาติของเต้าหู้แข็งที่ได้ ส่วนเต้าหู้แข็งที่ใช้ $CaCl_2.2H_2O$ 0.5% และ $MgCl_2.6H_2O$ 0.5% เป็นตัวตกตะกอน จะได้คะแนนการยอมรับในด้านเนื้อสัมผัส และความชอบรวมต่ำกว่าเต้าหู้ที่ใช้น้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิด $CaSO_4.2H_2O$ 1% และ $MgSO_4.7H_2O$ 1% เป็นตัวตกตะกอน เนื่องจากเต้าหู้แข็งที่ใช้ $CaCl_2.2H_2O$ 0.5% และ $MgCl_2.6H_2O$ 0.5% เป็นตัวตกตะกอนมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่า ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการศึกษาโครงสร้างของเต้าหู้แข็งด้วยวิธี SEM ดังแสดงในรูป 4.2 และ 4.3 คือเต้าหู้แข็งที่มีค่าความแข็งต่ำจะมีโครงสร้างที่ไม่ละเอียด และมีรูอากาศขนาดใหญ่ ได้แก่เต้าหู้แข็งที่ใช้น้ำมะนาว และ $CaSO_4.2H_2O$ เป็นตัวตกตะกอน ส่วนเต้าหู้แข็งที่มีค่าความแข็งมาก จะมีโครงสร้างละเอียด และมีรูอากาศขนาดเล็ก ได้แก่เต้าหู้แข็งที่ใช้น้ำส้มจี๊ด น้ำส้มเขียวหวาน และ $MgSO_4.7H_2O$ เป็นตัวตกตะกอน ส่วนเต้าหู้แข็งที่ใช้ $CaCl_2.2H_2O$ และ $MgCl_2.6H_2O$ เป็นตัวตกตะกอน จะมีโครงสร้างละเอียดที่สุด ซึ่งผลการศึกษาโครงสร้างของเต้าหู้แข็งด้วยวิธี SEM นี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ deMan, deMan และ Gupta (1986) พบว่าสำหรับเต้าหู้ที่ใช้ $MgSO_4.7H_2O$ $CaCl_2.2H_2O$ และ $MgCl_2.6H_2O$ เป็นตัวตกตะกอน จะให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกัน แต่สำหรับเต้าหู้ที่ใช้ $CaSO_4.2H_2O$ เป็นตัวตกตะกอน พบว่าผลการทดลองไม่สอดคล้องกัน โดย deMan, deMan และ Gupta (1986) รายงานว่า เต้าหู้ที่ได้จากการใช้ $CaSO_4.2H_2O$ เป็นตัวตกตะกอนจะมีโครงสร้างที่ละเอียดและเป็นระเบียบ ส่วนเต้าหู้ที่ได้จากการใช้ $CaSO_4.2H_2O$ เป็นตัวตกตะกอนที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีโครงสร้างไม่ละเอียด และมีรูอากาศขนาดใหญ่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเต้าหู้ที่ได้เป็นคนละชนิดกัน เพราะ $CaSO_4.2H_2O$ เป็นตัวตกตะกอนที่สามารถใช้ทำได้ทั้งเต้าหู้อ่อน และเต้าหู้แข็ง ในงานวิจัยของ deMan, deMan และ Gupta (1986) ไม่ได้ระบุว่าเต้าหู้ที่ได้เป็นเต้าหู้อ่อนหรือเต้าหู้แข็ง จึงสันนิษฐานว่าเต้าหู้ที่ใช้ $CaSO_4.2H_2O$ เป็นตัวตกตะกอนจากงานวิจัยของ deMan, deMan และ Gupta (1986) กับเต้าหู้ที่ใช้ $CaSO_4.2H_2O$ เป็นตัวตกตะกอนในงานวิจัยนี้เป็นคนละชนิดกัน

จากการทดลองในขั้นนี้จึงสรุปได้ว่าการใช้น้ำมะนาว 1% น้ำส้มจี๊ด 2% และน้ำส้มเขียวหวาน 5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน โดยใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนเท่ากับ 90°C ใช้อัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที และใช้น้ำหนักกดเพื่อขึ้นรูปก้อนเต้าหู้แข็งเท่ากับ 3 กิโลกรัม จะทำให้เต้าหู้แข็งที่ได้มีน้ำหนักเต้าหู้ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง ปริมาณโปรตีน และปริมาณเถ้าต่ำกว่าการใช้ตัวตกตะกอนปกติ ได้แก่ $CaSO_4.2H_2O$ 1%, $MgSO_4.7H_2O$ 1%, $CaCl_2.2H_2O$ 05% และ $MgCl_2.6H_2O$ 0.5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน แต่จะทำให้มีลักษณะทางกายภาพได้แก่ ค่าความแข็ง และความเหนียวใกล้เคียงกับการใช้ $CaSO_4.2H_2O$ 1% และ $MgSO_4.7H_2O$ 1% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน ทั้งยังทำให้เต้าหู้แข็งที่ได้มีสีขาวกว่าการใช้ตัวตกตะกอนปกติ และในด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่า การใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอนจะได้รับคะแนนยอมรับรวมไม่แตกต่างจากการใช้ $CaSO_4.2H_2O$ 1% และ $MgSO_4.7H_2O$ 1% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน

5.6 <u>การศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์เต้าหู้แข็งที่ได้จากการใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นตัวตกตะกอน</u>

ในการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์เต้าหู้แข็งที่ได้จากการใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นตัวตกตะกอนนั้นจะสามารถบ่งบอกได้ถึงความสะอาดในระหว่างกระบวนการผลิต และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอาหารที่เก็บรักษาด้วยการแช่เย็น จะมีอายุการเก็บรักษาไม่นานนัก ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาโดยนำเต้าหู้แข็งที่ได้จากการใช้น้ำมะนาว 1% น้ำส้มจี๊ด 2% และน้ำส้มเขียวหวาน 5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองเป็นตัวตกตะกอน มาบรรจุในถาดพลาสติก PS ขนาด 12.5 x12.5 x 2 cm^3 และหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก PVC เก็บที่อุณหภูมิ 4-10°C เป็นเวลา 7 วัน สุ่มตัวอย่างเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ได้ 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน ซึ่งพบว่าการใช้น้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวตกตะกอนจะให้ผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดย เมื่อใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.45 ถึง 4.48 เมื่อใช้น้ำส้มจี๊ดเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.49 ถึง 4.52 และเมื่อใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอนได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.53 ถึง 4.56 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์เต้าหู้แข็งดังแสดงในตารางที่ 4.48, 4.52 และ 4.56 พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจะสามารถตรวจนับได้(มากกว่า 300 โคโลนีต่อกรัม) เมื่อเก็บรักษาได้ 5 วัน และจะเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไปจนถึงวันที่ 7 โดยในเต้าหู้แข็งที่ใช้น้ำมะนาวเป็นตัวตกตะกอนเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 7 จะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ $1.0x10^3$ ในเต้าหู้แข็งที่ใช้น้ำส้มจี๊ดเป็นตัวตกตะกอนเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 7 จะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ $1.4x10^3$ และในเต้าหู้แข็งที่ใช้น้ำส้มเขียวหวานเป็นตัวตกตะกอนเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 7 จะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ $2.9x10^3$ ซึ่งมีปริมาณไม่เกิน $5x10^4$ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำหรับเต้าหู้หลอด (มอก.1004-2533 ข้อ 6.2.1) และไม่พบยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ทั้งหมด แสดงว่ายังไม่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์เมื่อเก็บรักษาครบ 7 วัน จึงทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในเต้าหู้แข็ง ไม่ว่าจะเป็นร้อยละของน้ำที่ถูกขับออกจากก้อนเต้าหู้ ค่าความเป็นกรด-ด่างของเต้าหู้แข็ง ลักษณะทางกายภาพได้แก่ค่าความแข็ง ความเหนียว และค่าสีของเต้าหู้แข็ง รวมถึงการยอมรับทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4.45, 4.49 และ 4.53 พบว่าร้อยละของน้ำที่ถูกขับออกจากก้อนเต้าหู้ (% Syneresis) เมื่อวันที่ 1 ถึงวันที่ 7 ของเก็บรักษานั้นไม่มีความแตกต่างกัน โดยจะสังเกตพบว่ามีน้ำที่บริเวณผิวด้านบนของเต้าหู้แข็ง และที่ด้านล่างของถาดที่บรรจุ จากการที่มีน้ำที่ด้านล่างของถาดนั้น สันนิษฐานว่าอาจเนื่องมาจากโครงสร้างของก้อนเต้าหู้แข็งที่ผลิตได้นั้นไม่แน่น จึงมีน้ำแทรกตัวอยู่มาก เมื่อทิ้งไว้น้ำก็จะไหลลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนน้ำที่ผิวของผลิตภัณฑ์นั้นเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำในอากาศเมื่อสัมผัสกับพื้นผิวที่เย็นกว่าก็จะควบแน่นลงมา และเหตุที่ร้อยละของน้ำที่ถูกขับออกมาจากก้อนเต้าหู้เมื่อเก็บตั้งแต่วันที่ 1 ถึง วันที่ 7 ไม่แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากฟิล์มที่ใช้ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำไม่ดี เมื่อน้ำในเต้าหู้ไหลออกมา ก็จะมีน้ำจากบรรยากาศถูกดูดซึมกลับเข้าไปในก้อนเต้าหู้จนเกิดภาวะสมดุล (Equilibrium) และเต้าหู้ยังไม่มีการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์จึงยังไม่มีการสูญเสียโครงสร้างน้ำจึงไม่ออกมามากขึ้น สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์เต้าหู้แข็งนั้นพบว่าไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 7 วัน และมีค่าประมาณ 5.8 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วง 5.5 ถึง 6.0 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำหรับเต้าหู้หลอด (มอก.1004-2533 ข้อ 3.4) และเนื่องจากยังไม่มีการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ค่าความเป็นกรด-ด่างจึงไม่เปลี่ยนแปลง

จากผลการทดลองในขั้นนี้จึงสรุปได้ว่า สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้แข็งที่ใช้น้ำมะนาว น้ำส้มจี๊ด และน้ำส้มเขียวหวานเป็นตัวตกตะกอน ที่บรรจุในถาดพลาสติก PS ขนาด 12.5 x12.5 x 2 cm^3 และหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก PVC เก็บที่อุณหภูมิ 4-10°C ได้นาน 7 วันโดยยังไม่มี

การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้นี้เป็นเพียงอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ทำในห้องปฏิบัติการ ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาจเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับสุขลักษณะ และการสุขาภิบาลของโรงงานนั้น ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย