บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลของปริมาณสตาร์ชทนย่อยในหัวเผือกสดที่มีสายพันธุ์และฤดูกาลเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชทนย่อยในหัวเผือกสด 4 สายพันธุ์ ได้แก่เผือกหอม (PH), เผือกหอมเชียงใหม่ (PHC), เผือกตาแดง (PT) และเผือกไม้ (PM) ที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ก่อนนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการทำผงเผือกพบว่า สายพันธุ์เผือกและฤดูกาลมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณความชื้นและปริมาณสตาร์ชทนย่อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$; ตารางที่ 3) โดยเผือกไม้ เผือกหอมเชียงใหม่ เผือกหอมและเผือกตาแดงที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อนมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงที่สุด (ร้อยละ 49.97, 48.76, 48.02 และ 47.45 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ขณะที่เผือกไม้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝนมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยน้อยที่สุด (ร้อยละ 22.80 โดยน้ำหนักแห้ง) และเผือกตาแดงที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝนมีปริมาณความชื้นมากที่สุด (ร้อยละ 85.50 โดยน้ำหนักเปียก) ส่วนใหญ่หัวเผือกสดในฤดูฝนและฤดูหนาวมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยน้อยกว่าฤดูร้อน อาจเนื่องจากปริมาณความชื้นของหัวเผือกสดที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝนและฤดูหนาวมีปริมาณที่สูง ทำให้มีการสร้างยอดและใบใหม่จึงเกิดการดึงแป้งในหัวไปใช้ ดังนั้นปริมาณสตาร์ชทนย่อยจึงมีปริมาณลดลง และตามที่มีการแบ่งประเภทของแป้งทนย่อยเป็น 4 ประเภท พบว่าสตาร์ชทนย่อยที่พบตามธรรมชาติมี 2 ประเภท ได้แก่ แป้งทนย่อยชนิดที่ 1 เกิดจากลักษณะทางกายภาพของพืชโดยมีผนังเซลล์ห่อหุ้มอย่างแข็งแรงทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปย่อยได้ ส่วนสตาร์ชทนย่อยชนิดที่ 2 เป็นแป้งที่มีคุณสมบัติเป็นสตาร์ชทนย่อยโดยธรรมชาติ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับผลึกที่มีตามธรรมชาติ พบในสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชกล้วยดิบ มีความทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (Englyst and others 1992) ซึ่งสตาร์ชทนย่อยในหัวเผือกสดจึงจัดเป็นสตาร์ชทนย่อยชนิดที่ 2

PH **PHC** **PM** **PT**

ภาพที่ 13 หัวเผือกสดสายพันธุ์ต่างๆที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อน

(PH: เผือกหอม, PHC: เผือกหอมเชียงใหม่, PM: เผือกไม้และ PT: เผือกตาแดง)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 3 ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก) และปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของหัวเผือกสดในแต่ละสายพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลต่างๆ

สายพันธุ์	ฤดูกาล	ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
เผือกหอม	ฝน	76.60 ± 0.17^{f}	45.44 ± 0.02^{b}
	ร้อน	75.07 ± 0.37^{g}	48.02 ± 1.16^{ab}
	หนาว	79.78 ± 0.35^{de}	31.24 ± 0.18^{de}
เผือกหอมเชียงใหม่	ฝน	81.70 ± 0.16^{c}	33.48 ± 0.34^{cde}
	ร้อน	79.11 ± 0.56^{e}	48.76 ± 0.38^{a}
	หนาว	75.56 ± 0.82^{fg}	$33.78\pm2.24c^{d}$
เผือกตาแดง	ฝน	85.80 ± 0.02^{a}	31.02 ± 0.36^{e}
	ร้อน	74.41 ± 0.01^{g}	47.45 ± 0.48^{ab}
	หนาว	71.92 ± 0.04^{h}	34.85 ± 0.03^{c}
เผือกไม้	ฝน	80.89 ± 0.03^{cd}	22.80 ± 1.05^{g}
	ร้อน	75.07 ± 1.25^{g}	49.97 ± 2.70^{a}
	หนาว	83.39 ± 0.59^{b}	27.48 ± 0.91^{f}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองนี้ได้ทำการคัดเลือกเผือกสดที่มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูง 3 สายพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อน คือ เผือกหอม เผือกหอมเชียงใหม่และเผือกไม้ ไปทำการเตรียมผงเผือกในการทดลองต่อไป ทั้งนี้เผือกตาแดงที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อนมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงเช่นกัน แต่ไม่ทำการคัดเลือกไปทำการเตรียมผงเผือกในการทดลองขั้นต่อไป เพราะเผือกตาแดงมีลักษณะหัวเล็กมากและมีเมือกเหนียวทำให้เกิดอาการคันมือระหว่างการแปรรูป ซึ่งยากต่อการเตรียมตัวอย่างในการนำไปแปรรูป

4.2 ผลของวิธีการโม่ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยในแป้งและสตาร์ชจากเผือก

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของแป้งและสตาร์ชจากเผือกต่างสายพันธุ์ที่ผ่านการโม่วิธีต่างกัน

จากงานวิจัยนี้ทำการผลิตแป้งด้วยวิธีโม่แห้งและผลิตสตาร์ชด้วยวิธีโม่เปียกจากเผือกสด 3 สายพันธุ์ (เผือกหอม เผือกหอมเชียงใหม่ และเผือกไม้) ที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อน ควบคุมปริมาณ

ความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 10-11 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 13 ตามมาตรฐานกำหนด (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546) และจากการทดลองนี้พบว่าชนิดของพันธุ์เผือกและวิธีการโม่มีอิทธิพลร่วมเนื่องต่อปริมาณไขมัน โปรตีนและเถ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$; ตารางที่ 4) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณความชื้นของแป้งและสตาร์ชจากเผือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$; ตารางที่ 4) สตาร์ชจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ผ่านการโม่เปียกมีปริมาณไขมัน โปรตีน เถ้าน้อยกว่าแป้งที่ผ่านการโม่แห้ง โดยแป้งจากเผือกไม้ มีปริมาณไขมัน โปรตีนและเถ้าสูงที่สุด (ร้อยละ 0.48, 10.54 และ 4.0 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งและสตาร์ชของเผือกพันธุ์อื่นๆ ($P \leq 0.05$) จากปริมาณโปรตีนในสตาร์ชจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์น้อยกว่าปริมาณโปรตีนในแป้งจากเผือกซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Aprianita and others (2009) and Tattiyakul and others (2006) ได้รายงานว่าการสกัดสตาร์ชจากเผือกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง ซึ่ง Watson (1984 อ้างถึงในมนทกานต์ เบญจพลากร 2549) ได้อธิบายว่าอาจเกิดจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนที่จับกันระหว่างโปรตีนจึงทำให้สกัดโปรตีนออกมาได้

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของแป้งที่ผ่านการโม่แห้งและสตาร์ชที่ผ่านการโม่เปียกของเผือกต่างสายพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อน

ชนิดแป้งเผือก		ความชื้น	ไขมัน	โปรตีน	เถ้า
แป้ง	PH	10.17±0.55	0.26±0.02^{b}	8.52±0.09^{b}	2.66±0.06^{c}
	PHC	10.96±0.09	0.25±0.01^{b}	8.10±0.74^{b}	3.14±0.01^{b}
	PM	10.29±0.79	0.48±0.07^{a}	10.54±0.07^{a}	4.00±0.01^{a}
สตาร์ช	PH	11.04±0.26	0.18±0.11^{bc}	0.07±0.06^{c}	0.45±0.03^{d}
	PHC	10.01±0.67	0.05±0.01^{cd}	0.15±0.04^{c}	0.40±0.01^{de}
	PM	10.77±0.95	0.01±0.00^{d}	0.26±0.05^{c}	0.35±0.06^{e}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(PH: เผือกหอม, PHC: เผือกหอมเชียงใหม่ และ PM: เผือกไม้)

จากการวัดคุณภาพด้านสีของแป้งและสตาร์ชจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าชนิดของพันธุ์เผือกและวิธีการโม่มีอิทธิพลร่วมต่อค่าความสว่าง (L*) ความเป็นสีแดง (a*) ความเป็นสีเหลือง (b*) และดัชนีความขาว (whiteness) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$; ตารางที่ 5) โดยสตาร์ชจากเผือก

ทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ผ่านการโม่เปียกมีค่าดัชนีความขาวและความสว่างสูงกว่าแต่มีค่าความเป็นสีแดงและความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าแป้งที่ผ่านการโม่แห้ง กล่าวคือสตาร์ชจากเผือกมีสีขาวเพิ่มขึ้นเนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งใช้เป็นสารสกัดสตาร์ชมีสมบัติเป็นสารฟอกสี (bleaching agent) (Freeman and Watson 1971) สอดคล้องกับผลทดลองของขจี บุญดี (2543 อ้างถึงในมนทกานต์ เบญจพลากร 2549) ที่พบว่าสตาร์ชจากกระจับที่ได้จากการโม่เปียกโดยการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าแป้งจากกระจับที่ได้จากการโม่แห้ง แป้งจากเผือกไม้มีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด (4.17) และแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่มีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด (2.50) เมื่อเทียบกับแป้งและสตาร์ชของเผือกพันธุ์อื่นๆ

ตารางที่ 5 ค่าสีของแป้งที่ผ่านการโม่แห้งและสตาร์ชที่ผ่านการโม่เปียกของเผือกต่างสายพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อน

ชนิดแป้งเผือก		ความสว่าง (L*)	ความเป็นสีแดง (a*)	ความเป็นสีเหลือง (b*)	ดัชนีความขาว (whiteness)
แป้ง	PH	72.01±0.36^{d}	1.75±0.05^{b}	3.68±0.04^{c}	71.71±0.36^{d}
	PHC	71.74±0.23^{d}	2.50±0.10^{a}	3.89±0.08^{b}	71.36±0.24^{d}
	PM	73.34±0.37^{c}	1.05±0.10^{c}	4.17±0.11^{a}	73.00±0.38^{c}
สตาร์ช	PH	78.68±0.90^{b}	0.16±0.08^{d}	1.68±0.12^{e}	78.61±0.90^{a}
	PHC	79.60±0.49^{a}	0.24±0.07^{d}	1.99±0.08^{d}	79.50±0.49^{b}
	PM	79.83±0.18^{a}	-0.04±0.03^{e}	1.99±003^{d}	79.73±0.18^{a}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(PH: เผือกหอม, PHC: เผือกหอมเชียงใหม่ และ PM: เผือกไม้)

4.2.2 คุณสมบัติความหนืดของแป้งและสตาร์ชจากเผือกต่างสายพันธุ์ที่ผ่านการโม่วิธีต่างกัน

คุณสมบัติความหนืดของแป้งและสตาร์ชวัดโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่าชนิดของพันธุ์เผือกและวิธีการโม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าเบรกดาวน์ (breakdown) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดที่ต่ำสุด หรือ ค่าการคืนตัว (setback from trough) และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$; ตารางที่ 6) เมื่อแป้งได้รับ

ความร้อนจะดูดน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบๆเม็ดแป้งจะลดลง ทำให้แป้งเคลื่อนไหวได้ยากเกิดความหนืดขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นน้ำแป้งจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด ซึ่งเป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบแป้งและสตาร์ชจากเผือกทั้งสามสายพันธุ์ที่ผ่านการโม่แห้งและโม่เปียกตามลำดับ ค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชสูงกว่าแป้งจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์ ($p \leq 0.05$) ความหนืดสูงสุดของสารละลายแป้งในระหว่างการเจลาติไนซ์จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของแป้ง (รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์ 2546) แป้งที่มีค่าความหนืดสูงสุดสูง แสดงว่าเม็ดแป้งสามารถดูดซึมน้ำเข้าไปได้มากและมีการพองตัวสูงก่อนที่เม็ดแป้งจะแตกออก

เมื่อโครงสร้างภายในแตกออก ความหนืดจะลดลง ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุดหรือเบรกดาวน์(breakdown) เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงและทนต่อการให้ความร้อนและแรงที่ใช้ในการกวน ซึ่งค่าเบรกดาวน์สูง หมายถึงเม็ดแป้งมีความแข็งแรงและทนทานต่อการให้ความร้อนและแรงที่ใช้กวนต่ำ จากการทดลองนี้พบว่า สตาร์ชมีค่าเบรกดาวน์สูงกว่าแป้งจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์ ($p \leq 0.05$)

ความหนืดสุดท้าย เกิดจากการเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลแอมิโลส และแอมิโลเพคตินที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้งแตก จากการทดลองนี้ ความหนืดสุดท้ายของสตาร์ชสูงกว่าแป้งจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์ ($p \leq 0.05$)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของแอมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวโมเลกุลของแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดซึมน้ำเข้ามาอีก มีความคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก ปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (set back) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546) ในการทดลองพบว่า สตาร์ชมีค่าการคืนตัวสูงกว่าแป้งจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์ แป้งแต่ละชนิดจึงมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546) โดยสตาร์ชจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์ (เผือกหอม เผือกหอมเชียงใหม่ และเผือกไม้) มีค่าการคืนตัวสูงใกล้เคียงกัน (51.54, 47.54, และ 49.92 RVU ตามลำดับ) ขณะเดียวกันแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่มีค่าการคืนตัวที่น้อยที่สุด (0.37 RVU)

อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด เป็นค่าที่แสดงถึงอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ใช้ในการหุงต้มตัวอย่าง โดยแป้งจากเผือกไม้และเผือกหอมมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดสูงสุดที่ 85.10 และ 84.65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ รองลงมาคือแป้งและสตาร์ชจากเผือกหอมเชียงใหม่ 84.37 และ 83.10

องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์ (2546) ที่รายงานไว้ว่าแป้งเผือกเริ่มเกิดการพองตัวที่อุณหภูมิสูง (83.55 องศาเซลเซียส) เนื่องจากแป้งเผือกมีส่วนประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น เส้นใยหยาบ และโปรตีนที่มีมาก โดยจะดูดซับน้ำไว้ ทำให้สตาร์ชของเผือกมีน้ำไม่เพียงพอในการพองตัว และอาจเกิดจากการที่โปรตีนสามารถสร้างพันธะระหว่างร่างแหไมเซล (micelles) ภายในเม็ดแป้ง ทำให้โมเลกุลแป้งแข็งแรงขึ้น การพองตัวจึงเกิดได้ยาก

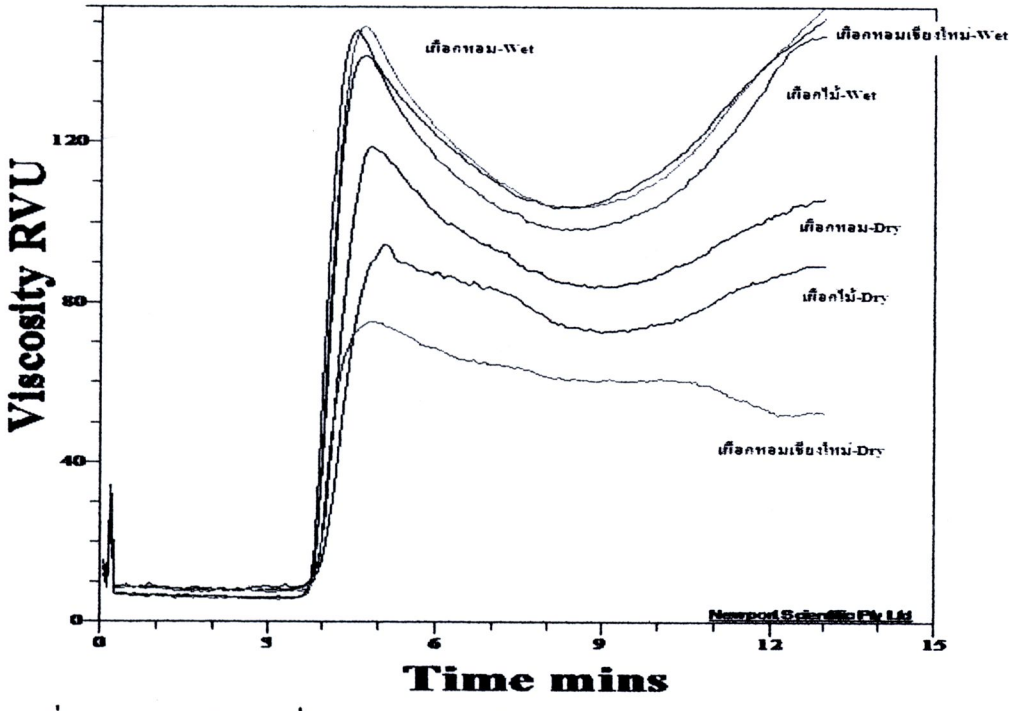
กราฟความหนืดเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในขณะให้ความร้อนและลดความร้อนจาก RVA ในแป้งและสตาร์ชแต่ละชนิด (ภาพที่ 14) พบว่าแป้งและสตาร์ชแต่ละชนิดมีลักษณะของกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด ได้แก่ องค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ระดับการเกิดการเสียหายของเม็ดแป้ง (starch damage) ระหว่างกระบวนการผลิต ปริมาณไขมัน สัดส่วนแอมิโลสและแอมิโลเพคติน การจัดเรียงและขนาดของเม็ดแป้ง ส่งผลให้แป้งชนิดต่างๆกัน มีคุณลักษณะความหนืดที่ต่างกันด้วย (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปียะจอมขวัญ 2546)

ตารางที่ 6 คุณสมบัติด้านหนืดของแป้งที่ผ่านการโม่แห้งและสตาร์ชที่ผ่านการโม่เปียกของเผือกสายพันธุ์ต่างๆที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อน

ชนิดแป้งเผือก		ความหนืดสูงสุด (RVU)	เบรกดาวน์ (RVU)	ความหนืดสุดท้าย (RVU)	การคืนตัว (RVU)	อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (^{o}C)
แป้ง	PH	101.46±24.57^{b}	26.62±11.73^{bc}	93.29±17.97^{b}	18.45±5.12^{b}	84.65±1.20^{a}
	PHC	70.58±6.48^{b}	21.21±1.82^{c}	49.25±4.12^{c}	0.37±0.17^{c}	84.37±0.53^{ab}
	PM	80.17±20.15^{b}	15.37±9.12^{c}	79.33±14.26^{b}	14.54±3.23^{b}	85.10±0.49^{a}
สตาร์ช	PH	148.17±1.41^{a}	46.12±0.77^{a}	153.58±0.23^{a}	51.54±1.94^{a}	82.30±1.13^{b}
	PHC	141.54±0.05^{a}	38.12±0.17^{ab}	150.96±0.29^{a}	47.54±0.05^{a}	83.10±0.00^{ab}
	PM	150.25±3.18^{a}	51.41±2.35^{a}	148.75±2.94^{a}	49.92±2.12^{a}	82.30±1.20^{b}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(PH: เผือกหอม, PHC: เผือกหอมเชียงใหม่ และ PM: เผือกไม้)



ภาพที่ 14 คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผ่านการโม่แห้ง (dry milling) และสตาร์ชผ่านการโม่เปียก (wet milling) ของเผือกสายพันธุ์ต่างๆ โดยใช้เครื่อง RVA

4.2.3 ปริมาณสตาร์ชทนย่อยและปริมาณสตาร์ชทั้งหมดของแป้งที่ผ่านการโม่แห้งและสตาร์ชที่ผ่านการโม่เปียกจากเผือกต่างสายพันธุ์

จากการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชทนย่อยและปริมาณสตาร์ชทั้งหมดของแป้งที่ผ่านการโม่แห้งและสตาร์ชที่ผ่านการโม่เปียกจากเผือก 3 สายพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อน พบว่าชนิดของพันธุ์เผือกและวิธีการโม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณแป้งทนย่อยและปริมาณสตาร์ชทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$; ตารางที่ 7) โดยแป้งจากเผือกไม้มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยมากที่สุด (ร้อยละ 49.68 โดยน้ำหนักแห้ง) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งและสตาร์ชพันธุ์อื่นๆ และแป้งจากเผือกมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (total starch) น้อยกว่าสตาร์ชจากเผือกทั้งสามสายพันธุ์ โดยสตาร์ชจากเผือกหอมมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดสูงที่สุด (ร้อยละ 90.09 โดยน้ำหนักแห้ง)

ตารางที่ 7 ปริมาณสตาร์ชทนย่อยและปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของแป้งที่ผ่านการโม่แห้งและสตาร์ชที่ผ่านการโม่เปียกของเผือกต่างสายพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อน

ชนิดแป้งเผือก		ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
แป้ง	PH	66.86±0.38^{e}	46.42±0.60^{c}
	PHC	70.16±2.04^{d}	48.14±1.27^{b}
	PM	65.29±0.85^{e}	49.68±0.28^{a}
สตาร์ช	PH	90.08±1.17^{a}	17.28±0.18^{e}
	PHC	82.05±0.97^{c}	11.55±0.05^{f}
	PM	84.13±0.79^{b}	19.34±0.29^{d}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(PH: เผือกหอม, PHC: เผือกหอมเชียงใหม่ และ PM: เผือกไม้)

4.3 ผลของการใช้แป้งและสตาร์ชจากเผือกในผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด

4.3.1 ผลการศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งและสตาร์ชจากเผือกในการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด

4.3.1.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งและสตาร์ชจากเผือก

ในการทดลองนี้ได้นำแป้งและสตาร์ชจากเผือกหอม เผือกหอมเชียงใหม่ และเผือกไม้มาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนแป้งข้าวบางส่วนในการทำผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด ซึ่งทำการศึกษาผลของการทดแทนด้วยแป้งและสตาร์ชจากเผือกในเส้นเล็กสดที่ระดับต่างๆ คือร้อยละ 10, 20 และ 30 แล้วนำเส้นเล็กสดที่ได้มาวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยดูค่าความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยใช้แรงดึง (tensile strength) และความนุ่มแบบวิธีการใช้แรงกด (compression) โดยใช้ Texture Analyzer ผลแสดงดังตารางที่ 8 และ 9

ผลของการทดแทนแป้งและสตาร์ชจากเผือกในเส้นเล็กสดที่ระดับต่างๆ คือร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยใช้แรงดึงซึ่งเป็นการวัดค่าแรงที่ใช้ดึงตัวอย่างให้แยกออกจากกันด้วยการออกแรงไปในทิศทางตรงกันข้ามกันจนเส้นขาด ถ้าใช้แรงมากหรือค่า g สูง หมายถึงเส้นก๋วยเตี๋ยวมีความเหนียวมาก ผลการทดลองพบว่าชนิดแป้งและสตาร์ชจากเผือกและระดับการทดแทนมีอิทธิพลร่วมต่อค่าแรงดึงของเส้นเล็กสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$; ตารางที่ 8) โดยเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมร้อยละ 10, 20 และ 30 และเผือกไม้ร้อยละ 10 มีค่าแรงดึงสูงที่สุด (35.89, 34.79, 33.62 และ 32.46 g ตามลำดับ) เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนจากร้อยละ 10 เป็น ร้อยละ 20 และ 30 เส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้ง

เผือกมีค่าแรงดึงลดลงแต่เส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยสตาร์ชจากเผือกมีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากสตาร์ชจากเผือกมีค่าความหนืดสุดท้ายสูงกว่าแป้งจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์ (ตารางที่ 6) โดยแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่มีค่าความหนืดสุดท้ายน้อยที่สุด (49.25 RVU) เมื่อนำไปทดแทนในระดับร้อยละ 10 20 และ 30 ในเส้นเล็กสด พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทน เส้นเล็กสดมีค่าแรงดึงลดลงจาก 20.91 เป็น 15.10 และ 16.48 g ตามลำดับ และสตาร์ชจากเผือกหอมมีค่าความหนืดสุดท้ายสูงที่สุด (153.58 RVU) เมื่อนำไปทดแทนในระดับร้อยละ 10 20 และ 30 ในเส้นเล็กสด พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทน เส้นเล็กสดมีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นจาก 21.70 เป็น 30.27 และ 31.22 g ตามลำดับ กล้าณรงค์ ศรีรอต และคณะ (2539) ได้รายงานว่า RVA สามารถตรวจวัดค่าความหนืดต่างๆของน้ำแป้งหรือแป้งเหลวที่จะนำมาทำก๋วยเตี๋ยวได้และสามารถประเมินคุณลักษณะของเส้นก๋วยเตี๋ยวได้จากคุณสมบัติของน้ำแป้ง โดยเฉพาะถ้าค่าความหนืดสุดท้ายสูงอาจทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวเหนียวขึ้นหรือยากต่อการฉีกขาด

ตารางที่ 8 ค่าแรงดึง (tensile strength, g) ของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดที่มีการทดแทนด้วยแป้งเผือกต่างชนิดในระดับต่างๆกัน

ชนิดแป้งเผือก		ระดับ (ร้อยละ)	แรงดึง (g)
แป้ง	PH	10	35.89±1.64[a]
		20	34.79±1.66[ab]
		30	33.62±1.69[abc]
	PHC	10	20.91±3.30[e]
		20	15.10±0.63[f]
		30	16.48±3.70[f]
	PM	10	32.46±1.51[abc]
		20	31.43±2.05[bc]
		30	30.92±3.09[bc]
สตาร์ช	PH	10	21.70±3.41[de]
		20	30.27±2.02[c]
		30	31.22±3.01[bc]
	PHC	10	15.43±1.52[f]
		20	23.11±1.11[de]
		30	31.89±2.72[bc]
	PM	10	16.70±3.37[f]
		20	23.21±1.94[de]
		30	24.86±2.78[d]

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (PH: เผือกหอม, PHC: เผือกหอมเชียงใหม่ และ PM: เผือกไม้)

ตารางที่ 9 ค่าเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดที่มีการทดแทนด้วยแป้งเผือกต่างชนิดที่ระดับต่างๆ

ชนิดแป้งเผือก		ระดับ (ร้อยละ)	ความแข็ง (hardness ,g)	ความเหนียวหนืบ (adhesiveness ,g)	ความสามารถในการยึดเกาะกัน (cohesiveness)	ความยืดหยุ่น (springiness)	ความติดเหนียว (gumminess ,g)	ความคงทนเมื่อถูกเคี้ยว (chewiness ,g)
แป้ง	PH	10	7,193.73±124.03^{c}	1,594.73±0.17^{def}	0.17±0.01^{h}	0.40±0.08^{e}	1,230.13±101.53^{e}	493.98±105.19^{e}
		20	7,636.33±2013.06^{b}	1,920.03±0.16^{cdef}	0.25±0.01^{efgh}	0.50±0.23^{cde}	1,894.93±321.55^{cd}	987.83±573.95^{cde}
		30	5,637.63±226.07^{ef}	2,403.13±0.08^{cde}	0.24±0.04^{efgh}	0.35±0.05^{e}	1,356.23±211.16^{de}	483.47±153.78^{e}
	PHC	10	5,679.43±301.18^{ef}	1,989.43±0.22^{cdef}	0.45±0.03^{ab}	0.89±0.19^{b}	2,551.63±120.19^{ab}	2,280.33±545.27^{b}
		20	4,856.43±200.21^{g}	2,153.73±0.10^{cdef}	0.40±0.09^{ab}	0.90±0.04^{b}	2,199.93±179.33^{ab}	1,983.03±445.77^{b}
		30	5,481.83±109.15^{efg}	3,114.53±0.32^{bc}	0.51±0.09^{a}	1.25±0.64^{a}	2,806.23±215.27^{a}	3,402.43±1375.93^{a}
	PM	10	6,405.53±270.27^{d}	736.97±0.10^{f}	0.19±0.05^{fgh}	0.66±0.22^{bcde}	1,242.43±218.23^{e}	873.96±603.81^{de}
		20	5,824.33±310.13^{de}	875.42±2.05^{f}	0.19±0.02^{gh}	0.70±0.20^{bcde}	1,099.43±241.04^{e}	763.01±191.08^{de}
		30	5,079.73±120.28^{fg}	2,349.73±3.21^{cde}	0.27±0.04^{defg}	0.57±0.26^{bcde}	1,359.13±128.64^{de}	814.45±509.46^{de}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(PH: เผือกหอม, PHC: เผือกหอมเชียงใหม่ และ PM: เผือกไม้)

ตารางที่ 9 ค่าเนื้อสัมผัสของเส้นเล็กสดที่มีการทดแทนด้วยแป้งเผือกต่างชนิดที่ระดับต่างๆ (ต่อ)

ชนิดแป้งเผือก		ระดับ (ร้อยละ)	ความแข็ง (hardness ,g)	ความเหนียวหนืบ (adhesiveness ,g)	ความสามารถในการยึดเกาะกัน (cohesiveness)	ความยืดหยุ่น (springiness)	ความติดเหนียว (gumminess ,g)	ความคงทนเมื่อถูกเคี้ยว (chewiness ,g)
สตาร์ช	PH	10	4,952.73±200.17^{g}	3,221.83±2.24^{bc}	0.28±0.05^{def}	0.67±0.23^{bcde}	1,379.73±236.29^{de}	891.25±195.52^{de}
		20	5,592.23±146.21^{ef}	5,050.53±0.14^{a}	0.44±0.07^{ab}	0.85±0.12^{bc}	2,461.93±124.13^{abc}	2,127.23±634.08^{b}
		30	6,132.93±123.08^{de}	4,813.23±0.04^{a}	0.38±0.03^{bc}	0.76±0.15^{bcd}	2,353.03±256.73^{abc}	1,845.13±684.72^{bc}
	PHC	10	3,600.73±278.20^{h}	1,350.73±0.22^{ef}	0.52±0.04^{a}	0.90±0.14^{b}	1,884.73±178.22^{cd}	1,692.03±354.45^{bcd}
		20	7,235.13±165.08^{c}	4,101.03±0.33^{ab}	0.32±0.03^{cde}	0.80±0.05^{bc}	2,293.53±224.50^{abc}	1,827.53±77.38^{bc}
		30	7,896.23±227.33^{ab}	3,065.63±0.05^{bcd}	0.26±0.07^{defgh}	0.81±0.19^{bc}	2,046.73±198.57^{bc}	1,665.73±649.85^{bcd}
	PM	10	7,993.53±145.19^{ab}	702.96±4.25^{f}	0.34±0.06^{cd}	0.94±0.09^{b}	2,741.13±247.25^{a}	2,606.03±884.86^{ab}
		20	8,324.93±268.23^{a}	2,912.23±1.51^{bcd}	0.27±0.05^{defg}	0.42±0.08^{de}	2,225.03±193.90^{abc}	955.13±340.31^{cde}
		30	8,234.93±147.26^{ab}	3,421.33±1.71^{bc}	0.28±0.05^{def}	0.84±0.13^{bc}	2,302.83±148.02^{abc}	1,962.93±548.61^{b}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(PH: เผือกหอม, PHC: เผือกหอมเชียงใหม่ และ PM: เผือกไม้)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

จากการวัดเนื้อสัมผัสของเส้นเล็กสดโดยใช้แรงกดที่ระยะการกดร้อยละ 70 ของความสูงของตัวอย่างเส้นสด ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงที่เกิดจากการกดลึกลงไปถึงผิวภายในของเส้นเล็กสด พบว่าชนิดแป้งและสตาร์ชจากเผือกและระดับการทดแทนมีอิทธิพลร่วมต่อค่าเนื้อสัมผัสของเส้นเล็กสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$; ตารางที่ 9) โดยก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดทดแทนด้วยสตาร์ชจากเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ30 และสตาร์ชจากเผือกไม้ร้อยละ 10-30 มีค่าความแข็ง (7,896.23, 7,993.53, 8,324.93 และ 8,234.93 g ตามลำดับ) สูงที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นเล็กสดสูตรอื่นๆ ค่าความแข็งเป็นแรงสูงสุดของการกดครั้งแรกซึ่งค่าความแข็งของเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับการทดแทน จากการอธิบายของชุติมา อัศวเสถียรและนิลศิริ นิลเนตร (2548) รายงานว่าเนื่องจากเส้นก๋วยเตี๋ยวทั่วไปผลิตจากแป้งข้าวเจ้า ซึ่งแป้งข้าวเจ้ามีสัดส่วนของแอมิโลสค่อนข้างสูงประมาณร้อยละ 19 ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งข้าวเจ้าจนสุก เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีลักษณะใสและเหนียว แต่เมื่อผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งข้าวเจ้าจะทำให้ก๋วยเตี๋ยวมีลักษณะขุ่น มีความเหนียวลดลงและขาดง่าย เนื่องจากปริมาณแอมิโลสน้อยลงจึงทำให้แรงที่ใช้ในการกดลดลงด้วย เส้นเล็กสดทดแทนด้วยสตาร์ชเผือกหอมร้อยละ 20, 30 และเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 20 มีความเหนียวหนืบสูงที่สุด (5,050.53, 4,813.23 และ 4,101.03 g ตามลำดับ) และค่าความยืดหยุ่นของเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 มีค่าสูงที่สุด (1.25) และเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 และเส้นเล็ดสกทดแทนด้วยสตาร์ชจากเผือกไม้ร้อยละ 10 มีค่าความคงทนเมื่อถูกเคี้ยวสูงที่สุด (3,402.43 และ 2,606.03 g ตามลำดับ)

4.3.1.2 ค่าสีของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งและสตาร์ชจากเผือก

จากการทดแทนด้วยแป้งและสตาร์ชจากเผือกในเส้นเล็กสดที่ระดับต่างๆ คือร้อยละ 10 20 และ 30 ได้มีการวัดคุณภาพด้านสีของเส้นเล็กสด ผลแสดงดังตารางที่ 11 พบว่าชนิดแป้งและสตาร์ชจากเผือกและระดับการทดแทนมีอิทธิพลร่วมต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และดัชนีความขาว (whiteness) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$; ตารางที่ 10) เส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งและสตาร์ชจากเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 10 มีค่าความสว่าง (69.25 และ 68.88 ตามลำดับ) และดัชนีความขาว (68.90 และ 68.79 ตามลำดับ) สูงที่สุด และเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกหอมและเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 มีค่าความเป็นสีแดงสูงที่สุด (2.66 และ 2.53 ตามลำดับ) โดยส่วนใหญ่เส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งมีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงสูงกว่าเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยสตาร์ชจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์ เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนด้วยแป้งจากเผือกในเส้นเล็กสดจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 และ 30 ทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a*) ในเส้นเล็กสดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากแป้ง

เผือกมีค่าความเป็นสีแดง (a*) มากกว่าสตาร์ชจากเผือก โดยแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่มีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด (2.50) (ตารางที่ 5) เมื่อนำไปทดแทนในเส้นเล็กสด พบว่าเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 มีค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงที่สุด (2.53) และจากการเพิ่มระดับการทดแทนทำให้ค่าความสว่าง (L*) ของเส้นเล็กสดลดลง โดย L* แสดงค่าความสว่างของสีซึ่งมีค่า 0-100 ที่ 0 แสดงถึงสีดำ และ 100 แสดงถึงสีขาว ซึ่งแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่มีค่าความสว่างน้อยที่สุด (71.74) (ตารางที่5) เมื่อนำไปทดแทนในเส้นเล็กสดที่ระดับร้อยละ 10 20 และ 30 พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนเส้นเล็กสดมีค่าความสว่างลดลงจาก 69.25 เป็น 65.96 และ 65.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ค่าสีของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งและสตาร์ชจากเผือกต่างชนิดที่ระดับต่างๆ

ชนิดของแป้งเผือก		ระดับ (ร้อยละ)	ความสว่าง (L*)	ความเป็นสีแดง (a*)	ความเป็นสีเหลือง (b*)	ดัชนีความขาว (whiteness)
แป้ง	PH	10	66.33±0.30^{b}	0.31±0.02^{f}	6.94±0.21^{abc}	65.62±0.32^{b}
		20	65.23±0.28^{c}	1.68±0.16^{c}	7.21±0.19^{ab}	64.45±0.26^{c}
		30	63.27±0.38^{d}	2.66±0.08^{a}	6.48±0.16^{bc}	62.61±0.37^{d}
	PHC	10	69.25±0.38^{a}	-0.29±0.14^{g}	4.64±0.35^{d}	68.90±0.38^{a}
		20	65.96±0.08^{bc}	1.37±0.10^{e}	3.53±0.24^{e}	65.74±0.11^{b}
		30	65.20±0.25^{c}	2.53±0.03^{a}	4.67±0.09^{d}	64.80±0.26^{c}
	PM	10	65.45±0.36^{c}	0.39±0.09^{f}	6.70±0.43^{bc}	64.80±0.43^{c}
		20	65.72±0.17^{bc}	1.51±0.06^{d}	6.75±0.16^{bc}	65.02±0.19^{bc}
		30	63.81±0.05^{d}	2.12±0.08^{b}	6.40±0.37^{b}	63.18±0.12^{d}
สตาร์ช	PH	10	62.27±0.17^{e}	-1.05±0.03^{kl}	7.04±0.11^{abc}	61.60±0.19^{e}
		20	59.46±0.39^{g}	-0.73±0.07^{i}	6.33±0.34^{c}	58.96±0.43^{g}
		30	57.28±0.19^{h}	-0.58±0.01^{h}	6.60±0.34^{bc}	56.77±0.13^{h}
	PHC	10	68.88±0.30^{a}	-1.49±0.05^{m}	1.75±0.09^{f}	68.79±0.29^{a}
		20	59.59±0.25^{g}	-0.93±0.03^{jk}	5.30±0.48^{d}	59.23±0.31^{g}
		30	59.43±1.36^{g}	-0.39±0.04^{g}	6.95±1.14^{abc}	58.82±1.20^{g}
	PM	10	63.79±0.34^{d}	-1.11±0.05^{l}	7.58±0.41^{a}	62.98±0.41^{d}
		20	61.46±0.60^{f}	-1.08±0.10^{l}	6.93±0.26^{abc}	60.83±0.54^{f}
		30	56.73±0.24^{h}	-0.86±0.07^{ij}	6.39±0.30^{c}	56.25±0.21^{h}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (PH: เผือกหอม, PHC: เผือกหอมเชียงใหม่ และ PM: เผือกไม้)

4.3.1.3 ปริมาณสตาร์ชทนย่อยของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งและสตาร์ชจากเผือก

จากการทดแทนแป้งและสตาร์ชจากเผือกในเส้นเล็กสดที่ระดับต่างๆ คือร้อยละ 10 20 และ 30 แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชทนย่อย พบว่าชนิดแป้งและสตาร์ชจากเผือกและระดับการทดแทนมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$; ตารางที่ 11) เส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงกว่าเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยสตาร์ชจากเผือกทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 10 มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงที่สุด (ร้อยละ 1.83 โดยน้ำหนักแห้ง) และสูงกว่าสูตรควบคุม (ร้อยละ 0.72 โดยน้ำหนักแห้ง) ($p \leq 0.05$; ตารางที่ 12)

ตารางที่ 11 ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งเผือกต่างชนิดที่ระดับต่างๆ

ชนิดของแป้งเผือก		ระดับ (ร้อยละ)	ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
แป้ง	PH	10	1.49 ± 0.00^{b}
		20	1.53 ± 0.02^{b}
		30	1.42 ± 0.02^{bc}
	PHC	10	1.83 ± 0.06^{a}
		20	1.54 ± 0.05^{b}
		30	1.46 ± 0.07^{bc}
	PM	10	1.32 ± 0.03^{d}
		20	1.30 ± 0.07^{cd}
		30	1.30 ± 0.22^{cd}
สตาร์ช	PH	10	0.94 ± 0.05^{fgh}
		20	0.97 ± 0.06^{fgh}
		30	0.81 ± 0.05^{h}
	PHC	10	0.99 ± 0.10^{efg}
		20	1.29 ± 0.08^{cd}
		30	1.08 ± 0.03^{ef}
	PM	10	1.11 ± 0.03^{ef}
		20	1.14 ± 0.01^{ed}
		30	0.89 ± 0.05^{gh}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (PH: เผือกหอม, PHC: เผือกหอมเชียงใหม่ และ PM: เผือกไม้)

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งจากเผือกที่สูงที่สุดกับสูตรควบคุม

ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด	ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
สูตรควบคุม	0.72 ± 0.04^{b}
แป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 10	1.83 ± 0.07^{a}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3.1.4 การคัดเลือกตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดสำหรับนำไปศึกษาการทำก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง

จากตารางที่ 11 ส่วนใหญ่เส้นเล็กสดที่มีการทดแทนด้วยแป้งจากเผือกทั้ง 3 ชนิดและในทุกระดับการทดแทนมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยมากกว่าเส้นเล็กสดที่มีการทดแทนด้วยสตาร์ชจากเผือก จึงเห็นสมควรว่าเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกทั้ง 3 ชนิดเหมาะแก่การนำไปผลิตเป็นเส้นเล็กแห้งต่อไป จากนั้นพิจารณาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือก จากตารางที่ 8 แสดงค่าแรงดึงของเส้นเล็กสด โดยส่วนใหญ่เส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกจะมีค่าแรงดึงมากกว่าเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยสตาร์ชจากเผือก โดยเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกหอมร้อยละ 10, 20 และ 30 และเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไม้ที่ร้อยละ 10 มีค่าแรงดึงสูงที่สุด จากตารางที่ 9 แสดงค่าแรงกดร้อยละ 70 ซึ่งเป็นระยะการกดร้อยละ 70 ของความสูงของตัวอย่างเส้นสด ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงที่เกิดจากการกดลึกลงไปถึงผิวภายในของเส้นสด พบว่าเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 10-30 มีค่าความสามารถในการยึดเกาะกัน (cohesiveness) และค่าความติดเหนียว (gumminess) สูงที่สุด ถึงแม้ว่ามีเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยสตาร์ชจากเผือกจะมีค่าเนื้อสัมผัสสูง แต่ได้ทำการผลิตเส้นเล็กสดทดแทนด้วยสตาร์ชจากเผือกเบื้องต้นแล้วพบว่า เส้นเล็กสดที่ได้ลอกเป็นแผ่นออกจากถาดยากและขาดง่าย

จากคุณภาพเส้นเล็กสดด้านเนื้อสัมผัสและปริมาณสตาร์ชทนย่อยได้ทำการคัดเลือกเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไปศึกษาการอบแห้งในขั้นตอนต่อไป ตัวอย่างเส้นเล็กสดที่คัดเลือกได้ดังต่อไปนี้

1. ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไม้ร้อยละ 10 เพราะมีค่าแรงดึงสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นเล็กสดสูตรอื่นๆ

2. ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งจากเผือกหอมร้อยละ 20 เพราะมีค่าแรงดึงสูงที่สุดเช่นกัน

3. ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดทดแทนแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 เพราะมีค่า ค่าความสามารถในการยึดเกาะกัน (cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (gumminess) ค่าความติดเหนียว (gumminess) และความคงทนเมื่อถูกเคี้ยว (chewiness) สูงที่สุด

4.3.2 ศึกษาผลของการอบแห้งต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยว

4.3.2.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งที่มีการทดแทนด้วยแป้งเผือก

ในการทดลองนี้จะนำก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดจากข้อ 4.3.1.4 โดยคัดเลือกชนิดเส้นเล็กสดจากคุณภาพของเนื้อสัมผัสและปริมาณสตาร์ชทนย่อย นำไปอบแห้งโดยใช้ Cabinet tray dryer ที่อุณหภูมิ 45 กับ 55 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วลม 0.4 กับ 0.6 เมตรต่อวินาที แล้วนำเส้นเล็กแห้งที่ได้ไปทำการคืนรูปโดยการแช่น้ำนาน 3 นาทีและนำไปทำให้สุกโดยการลวกในน้ำเดือดนาน 1 นาที เพื่อวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยดูค่าความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยใช้แรงดึง (tensile strength) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer

จากการใช้แรงดึงซึ่งเป็นการวัดค่าแรงที่ใช้ดึงตัวอย่างให้แยกออกจากกันด้วยการออกแรงไปในทิศทางตรงกันข้ามกันจนเส้นขาด ถ้าใช้แรงมากหรือค่า g สูง หมายถึงเส้นก๋วยเตี๋ยวความเหนียวมาก พบว่าชนิดของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด อุณหภูมิและความเร็วลมในการอบแห้งมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าแรงดึงของเส้นเล็กแห้งอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของชนิดก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดและอุณหภูมิในการอบแห้ง (ตารางที่ 13) หรืออิทธิพลของชนิดก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดและความเร็วลมในการอบแห้ง (ตารางที่ 14)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 13 ค่าแรงดึงของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกชนิดต่างๆผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิระดับต่างๆ

ชนิดก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด	อุณหภูมิ (^{o}C)	แรงดึง (g)
เผือกไม้ร้อยละ 10	45	16.13±3.45^{b}
	55	18.58±1.18^{b}
เผือกหอมร้อยละ 20	45	24.08±3.34^{a}
	55	22.45±2.43^{a}
เผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30	45	12.43±0.67^{c}
	55	24.17±1.21^{a}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 13 เส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมร้อยละ 20 ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียส และเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีค่าแรงดึง (24.17, 24.08 และ 22.45 g ตามลำดับ) สูงกว่าเส้นเล็กแห้งสูตรอื่นๆ โดยส่วนใหญ่แต่ละอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อค่าแรงดึงของเส้นเล็กแห้งไม่แตกต่างกันหรือแตกต่างกันน้อยมาก

ตารางที่ 14 ค่าแรงดึงของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกต่างชนิดผ่านการอบแห้งที่ความเร็วลมระดับต่างๆ

ชนิดก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด	ความเร็วลม (m/s)	แรงดึง (g)
เผือกไม้ร้อยละ 10	0.4	16.13±3.45^{b}
	0.6	18.58±1.18^{b}
เผือกหอมร้อยละ 20	0.4	25.84±1.55^{a}
	0.6	20.69±0.57^{b}
เผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30	0.4	18.18±5.87^{b}
	0.6	18.42±7.06^{b}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 14 เส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมร้อยละ 20 ผ่านการอบแห้งที่ความเร็วลม 0.4 เมตรต่อวินาทีมีค่าแรงดึงสูงที่สุด (25.84 g) และแต่ละความเร็วลมในการอบแห้งมีผลต่อค่าแรงดึงของเส้นเล็กแห้งไม่แตกต่างกัน

การวัดความแข็งแบบวิธีการใช้แรงกดและมีระยะการกดร้อยละ 70 ของความสูงของตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวซึ่งเป็นการวัดค่าแรงที่เกิดจากการกดลึกลงไปถึงผิวภายในของเส้นก๋วยเตี๋ยวพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด อุณหภูมิและความเร็วลมในการอบแห้งต่อค่าเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ชนิดของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดและอุณหภูมิในการอบแห้งมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความแข็งและความติดเหนียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$; ตารางที่ 15) ส่วนปัจจัยของความเร็วลมในการอบแห้งมีผลต่อค่าความเหนียวหนึบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$; ตารางที่ 16) ปัจจัยของชนิดก๋วยเตี๋ยวสดมีผลต่อค่าความเหนียวหนึบ ความยืดหยุ่น และความคงทนเมื่อถูกเคี้ยวของเส้นเล็กแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$; ตารางที่ 17) และปัจจัยของอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อค่าความเหนียวหนึบ และความคงทนเมื่อถูกเคี้ยวของเส้นเล็กแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$; ตารางที่ 18)

ตารางที่ 15 ค่าความแข็งและค่าความติดเหนียวของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกต่างชนิดผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิระดับต่างๆ

ชนิดก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความแข็ง (hardness, g)	ความติดเหนียว (gumminess, g)
เผือกไม้ร้อยละ 10	45	4,403.23±678.50^{d}	3,262.53±475.14^{d}
	55	5,888.53±410.89^{c}	4,350.93±503.58^{c}
เผือกหอมร้อยละ 20	45	6,538.33±307.42^{b}	5,011.23±409.01^{bc}
	55	7,609.43±413.99^{a}	6,248.23±980.51^{a}
เผือกหอมเชียงใหม่ ร้อยละ 30	45	7,272.23±777.41^{a}	5,849.73±842.14^{a}
	55	7,309.23±531.17^{a}	5,710.13±610.26^{ab}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 15 เส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมร้อยละ 20 ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งและความติดเหนียวสูงที่สุด (7,609.43 และ6, 248.23 g

ตามลำดับ) และเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็ง (7,272.23 และ 7, 309.23 g ตามลำดับ) และความติดเหนียว (5,849.73 และ 5,710.13 g ตามลำดับ) สูงที่สุดเช่นกัน

ตารางที่ 16 ค่าความเหนียวหนืบของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกผ่านการอบแห้งที่ความเร็วลมระดับต่างๆ

ความเร็วลม (m/s)	ค่าความเหนียวหนืบ (adhesiveness, g)
0.4	172.50±85.87[a]
0.6	118.12±59.64[b]

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 16 ความเหนียวหนืบของเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกผ่านการอบแห้งที่ความเร็วลม 0.4 เมตรต่อวินาที (172.50 g) มีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่ความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาที (118.12 g)

ตารางที่ 17 ค่าความเหนียวหนืบ ความยืดหยุ่นและความคงทนเมื่อถูกเคี้ยวของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งจากเผือกชนิดต่างๆ

ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด	ความเหนียวหนืบ (adhesiveness, g)	ความยืดหยุ่น (springiness)	ความคงทนเมื่อถูกเคี้ยว (chewiness, g)
เผือกไม้ร้อยละ 10	74.90±38.57[b]	0.71±.11[b]	2,760.73±838.09[b]
เผือกหอมร้อยละ 20	172.80±75.57[a]	0.83±.07[a]	4,727.73±1194.14[a]
เผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30	188.23±62.26[a]	0.69±.09[b]	4,004.33±617.62[a]

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 17 เส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งจากเผือกหอมร้อยละ 20 และเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 มีค่าความเหนียวหนืบ (172.80 และ 188.23 g ตามลำดับ) และความคงทนเมื่อถูกเคี้ยว (4,727.73 และ 4,004.33 g ตามลำดับ) สูงที่สุด

ตารางที่ 18 ค่าความเหนียวหนึบและความคงทนเมื่อถูกเคี้ยวของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิระดับต่างๆ

อุณหภูมิ (^{o}C)	ความเหนียวหนึบ (adhesiveness, g)	ความคงทนเมื่อถูกเคี้ยว (chewiness, g)
45	125.47±71.96^{b}	3,470.13±1101.10^{b}
55	165.15±80.53^{a}	4,191.63±1238.29^{a}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 18 เส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็ง ความเหนียวหนึบและความคงทนเมื่อถูกเคี้ยวสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

4.3.2.2 ค่าสีของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกหลังผ่านกระบวนการลวก

จากการศึกษาผลการอบแห้งเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไม้ร้อยละ 10 เผือกหอมร้อยละ 20 และเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 อบแห้งที่อุณหภูมิ 45 กับ 55 องศาเซลเซียสและที่ความเร็วลม 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที ทำการวิเคราะห์ค่าสีของเส้นเล็กแห้งหลังผ่านการลวก พบว่าชนิดของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด อุณหภูมิและความเร็วลมในการอบแห้งมีอิทธิพลร่วมต่อค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และดัชนีความขาว (whiteness) (ตารางที่ 19) ยกเว้นค่าความสว่าง (L*) ซึ่งมีอิทธิพลร่วมเนื่องจากอุณหภูมิและความเร็วลมในการอบแห้งเท่านั้น (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 19 ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งหลังการลวกที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกชนิดต่างๆผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วลมระดับต่างๆ

ชนิดก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	ค่าความเป็นสีแดง (a*)	ค่าความเป็นสีเหลือง(b*)	ดัชนีความขาว (whiteness)
เผือกไม้ร้อยละ 10	45	0.4	2.09±0.19^{bc}	13.79±0.36^{a}	64.77±0.93^{cde}
		0.6	1.09±0.14^{de}	8.54±0.94^{bc}	67.21±0.89^{bc}
	55	0.4	0.96±0.07^{e}	12.61±0.85^{a}	62.89±0.59^{e}
		0.6	1.16±0.47^{de}	12.71±0.11^{a}	64.74±2.26^{cde}
เผือกหอมร้อยละ 20	45	0.4	2.04±0.13^{bc}	7.75±0.41^{c}	69.36±0.37^{b}
		0.6	2.39±0.37^{b}	8.29±1.24^{bc}	66.22±1.02^{cd}
	55	0.4	1.67±0.21^{cd}	7.75±0.35^{c}	64.96±0.59^{cde}
		0.6	1.98±0.12^{bc}	9.93±0.55^{b}	65.07±1.24^{cde}
เผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30	45	0.4	3.14±0.27^{a}	8.01±0.70^{bc}	71.87±0.60^{a}
		0.6	3.18±0.68^{a}	8.04±1.61^{bc}	67.00±1.34^{bcd}
	55	0.4	3.54±0.46^{a}	8.92±1.27^{bc}	64.41±2.35^{de}
		0.6	3.27±0.64^{a}	9.11±1.99^{bc}	65.91±2.30^{cd}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 19 พบว่าอุณหภูมิและความเร็วลมในการอบแห้ง 2 ระดับของเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 มีค่าความเป็นสีแดงสูงที่สุด เส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกไม้ร้อยละ 10 ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสและมีความเร็วลม 0.4 เมตรต่อวินาทีกับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสและมีความเร็วลม 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุด (13.79, 12.61 และ 12.71 ตามลำดับ) และเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสและมีความเร็วลม 0.4 เมตรต่อวินาทีมีดัชนีความขาวสูงที่สุด (71.87)

ตารางที่ 20 ค่าความสว่าง (L*) ของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งที่มีการทดแทนด้วยแป้งเผือกผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วลมระดับต่างๆ (หลังการลวก)

อุณหภูมิ (^{o}C)	ความเร็วลม (m/s)	ค่าความสว่าง (L*)
45	0.4	70.43±2.47^{a}
	0.6	67.96±0.84^{b}
55	0.4	65.58±1.43^{c}
	0.6	67.03±1.83^{bc}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 20 เส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสและความเร็วลม 0.4 เมตรต่อวินาที มีค่าความสว่าง (70.43) สูงกว่าเส้นเล็กแห้งสูตรอื่นๆ

การวัดการสูญเสียของแข็งขณะลวก (cooking loss) พบว่าชนิดของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด อุณหภูมิและความเร็วลมในการอบแห้งไม่มีอิทธิพลร่วมต่อค่าการสูญเสียของแข็งขณะลวก ($p>0.05$) แต่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของชนิดของเส้นเล็กสดและความเร็วลมในการอบแห้ง (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 ร้อยละการสูญเสียของแข็งขณะลวกของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกชนิดต่างๆผ่านการอบแห้งที่ความเร็วลมระดับต่างๆ

ชนิดก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด	ความเร็วลม (m/s)	ร้อยละการสูญเสียของแข็งขณะลวก (cooking loss, %)
เผือกไม้ร้อยละ 10	0.4	7.73±0.58^{a}
	0.6	7.17±0.18^{b}
เผือกหอมร้อยละ 20	0.4	6.12±0.31^{cd}
	0.6	6.19±0.17^{cd}
เผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30	0.4	5.74±0.44^{d}
	0.6	6.43±0.35^{c}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 21 เส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไม้ร้อยละ 10 ผ่านการอบแห้งที่ความเร็วลม 0.4 เมตรต่อวินาทีมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียไปขณะลวกสูงที่สุด (ร้อยละ 7.73) ขณะเดียวกันเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 ผ่านการอบแห้งที่ความเร็วลม 0.4 เมตรต่อวินาทีมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียไปขณะลวก (ร้อยละ 5.74) น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นเล็กแห้งสูตรอื่นๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการให้ความร้อนแล้วมีของแข็งที่ละลายได้ละลายออกมาจากตัวอย่าง (Mestres and others 1988)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชทนย่อยของเส้นเล็กแห้งพบว่าอิทธิพลของชนิดของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด อุณหภูมิและความเร็วลมในการอบแห้งไม่มีผลต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นเล็กสดเท่านั้น (ตารางที่ 22) โดยเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกไม้ร้อยละ 10 และเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงที่สุด (ร้อยละ 2.05 และ 1.83 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ) ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรควบคุม (ร้อยละ 1.43 โดยน้ำหนักแห้ง) ($p>0.05$; ตารางที่ 23)

ตารางที่ 22 ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกชนิดต่างๆ

ชนิดก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด	ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
เผือกไม้ร้อยละ 10	2.05 ± 0.43^{a}
เผือกหอมร้อยละ 20	1.55 ± 0.25^{b}
เผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30	1.83 ± 0.18^{ab}

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งจากเผือกที่สูงที่สุดกับสูตรควบคุม

ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง	ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
เผือกไม้ร้อยละ 10	2.05±0.43
เผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30	1.83±0.18
สูตรควบคุม	1.43±0.03

a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

4.3.3 ผลโดยรวมของการทำแห้งผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด

จากการศึกษาผลของการอบแห้งก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง โดยคัดเลือกเส้นเล็กสด 3 ชนิด (ทดแทนด้วยแป้งเผือกไม้ร้อยละ 10 เผือกหอมร้อยละ 20 และเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30) นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที พบว่าชนิดเส้นเล็กสดและ/หรืออุณหภูมิและ/หรือความเร็วลมในการอบแห้งมีผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับเส้นเล็กสด เช่น ค่าแรงดึง ความแข็งและความเหนียวหนืบลดลง และค่าความเป็นสีแดงและเหลืองเพิ่มขึ้น แป้งเผือกที่ต่างชนิดกัน อุณหภูมิ และความเร็วลมในการอบแห้งมีผลให้ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งมีค่าการสูญเสียของแข็งขณะต้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นเล็กสด โดยที่แป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่ที่ระดับการทดแทนร้อยละ 30 สูญเสียของแข็งน้อยกว่าสูตรอื่นๆ ซึ่งผลการทำผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งจากเส้นเล็กสดนั้น ทำให้มีปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชทนย่อยเพิ่มขึ้นในก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง จึงได้แสดงผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่เด่นชัดของเส้นเล็กแห้งในรูปแบบร้อยละของการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 24 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงของเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกและเส้นเล็กแห้งที่ผ่านการอบแห้ง ณ อุณหภูมิระดับต่างๆ

ชนิดแป้ง	อุณหภูมิ (^{o}C)	แรงดึง (g)		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
		เส้นเล็กสด	เส้นเล็กแห้ง	
เผือกไม้ร้อยละ 10	45	32.46	16.13	50.31
	55		18.58	42.76
เผือกหอมร้อยละ 20	45	34.79	24.08	30.78
	55		22.45	35.47
เผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30	45	16.48	12.43	24.58
	55		24.17	46.66

จากตารางที่ 24 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงของเส้นเล็กแห้งจากการอบแห้งเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกต่างชนิด ณ อุณหภูมิระดับต่างๆ พบว่าจากการอบแห้งเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงของเส้นเล็กแห้งลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 24.58-50.31 ยกเว้นเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 ผ่านการอบแห้งที่ 55 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 46.66

ตารางที่ 25 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงของของเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกและเส้นเล็กแห้งที่ผ่านการอบแห้ง ณ ความเร็วลมระดับต่างๆ

ชนิดแป้ง	ความเร็วลม (m/s)	แรงดึง		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
		เส้นเล็กสด	เส้นเล็กแห้ง	
เผือกไม้	0.4	32.46	16.13	50.31
ร้อยละ 10	0.6		18.58	42.76
เผือกหอม	0.4	34.79	25.84	25.73
ร้อยละ 20	0.6		20.69	40.53
เผือกหอมเชียงใหม่	0.4	16.48	18.18	10.32
ร้อยละ 30	0.6		18.42	11.77

จากตารางที่ 25 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงของเส้นเล็กแห้งจากการอบแห้งเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกต่างชนิด ณ ความเร็วลมระดับต่างๆ พบว่าจากการอบแห้งเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงของเส้นเล็กแห้งลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 25.73-50.31 ยกเว้นเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 ผ่านการอบแห้งที่ความเร็วลม 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที มีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.32-11.77

ตารางที่ 26 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกและเส้นเล็กแห้งที่ผ่านการอบแห้ง ณ อุณหภูมิระดับต่างๆ

ชนิดแป้ง	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ค่าความแข็ง		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
		เส้นเล็กสด	เส้นเล็กแห้ง	
เผือกไม้	45	6,405.53	4,403.23	31.26
ร้อยละ 10	55		5,888.53	8.07
เผือกหอม	45	7,636.33	6,538.33	14.38
ร้อยละ 20	55		7,609.43	0.35
เผือกหอมเชียงใหม่	45	5,481.83	7,272.23	32.66
ร้อยละ 30	55		7,309.23	33.34

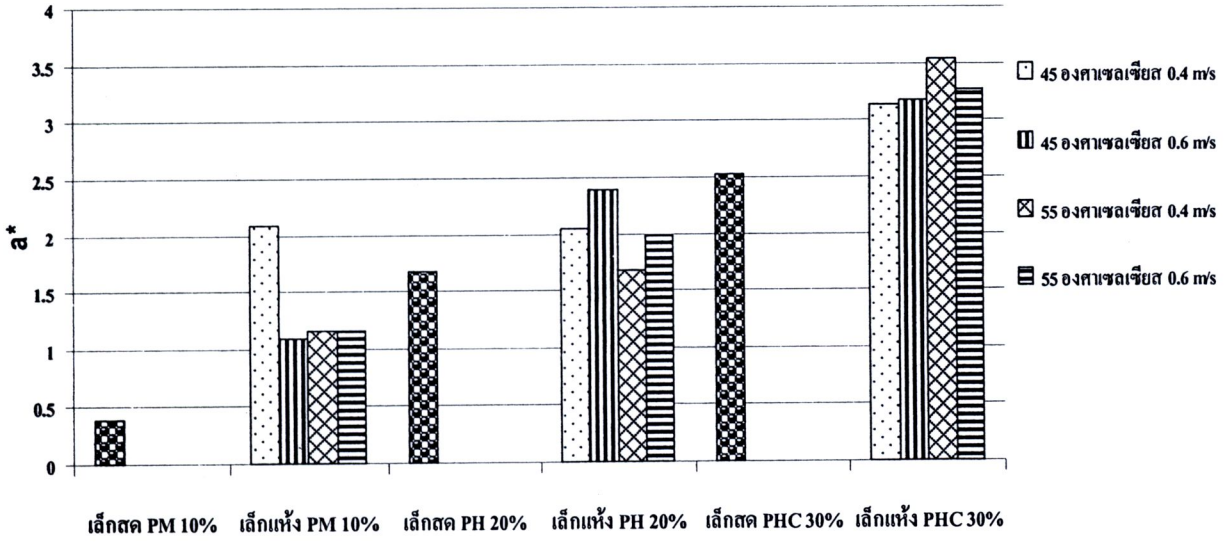
จากตารางที่ 26 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของเส้นเล็กแห้งจากการอบแห้งเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งจากเผือกต่างชนิด ณ อุณหภูมิระดับต่างๆ พบว่าจากการอบแห้งเส้นเล็กสดที่

ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของเส้นเล็กแห้งลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 0.35-31.26 ยกเว้นเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 ผ่านการอบแห้งที่ 45 และ 55 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งเพิ่มขึ้นร้อยละ 32.66-33.34

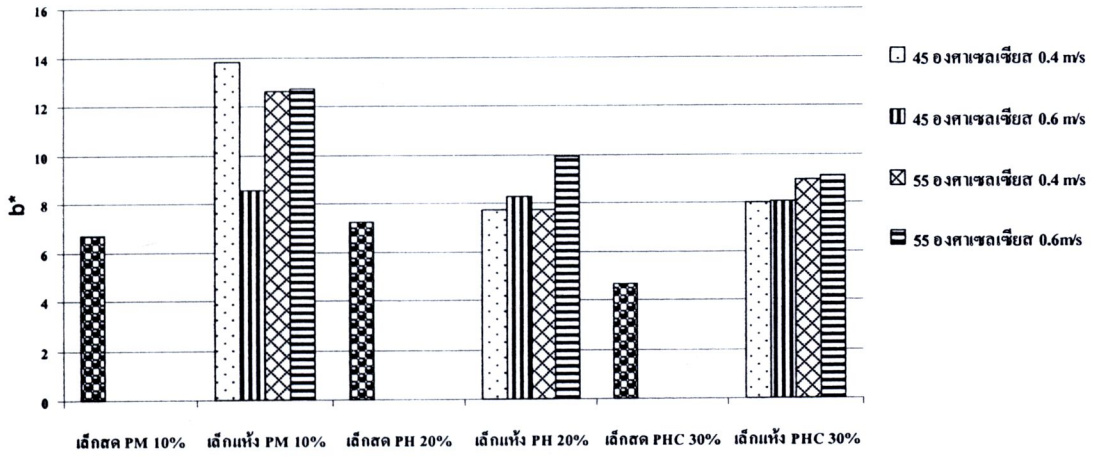
ตารางที่ 27 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวหนึบของเส้นเล็กสดและเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกชนิดต่างๆ

ชนิดก๋วยเตี๋ยวสด	ค่าความเหนียวหนึบ		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	เส้นเล็กสด	เส้นเล็กแห้ง	
เผือกไม้ร้อยละ 10	736.97	74.91	89.83
เผือกหอมร้อยละ 20	1,920.03	172.80	91.00
เผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30	3,114.53	188.23	93.95

จากตารางที่ 27 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวหนึบของเส้นเล็กแห้งจากการอบแห้งเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งจากเผือกชนิดต่างๆ พบว่าจากการอบแห้งเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งจากเผือกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวหนึบของเส้นเล็กแห้งลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 89.83-93.95



ภาพที่ 15 กราฟแท่งเปรียบเทียบค่าความเป็นสีแดง (a*) ของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดและเส้นเล็กแห้งหลังการลวกที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือก



ภาพที่ 16 กราฟแท่งเปรียบเทียบค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดและเส้นเล็กแห้งหลังการลวกที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือก

จากภาพที่ 15 และ 16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเป็นสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) ของเส้นเล็กสดและเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือก พบว่าจากการอบแห้งผลิตภัณฑ์เส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือก ที่ อุณหภูมิและความเร็วลมระดับต่างๆ ทำให้ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ พรพิศ โพธิสุข (2548) พบว่าค่าสีเหลือง (b*) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้งมีค่าสูง อาจเกิดขึ้นจากความร้อนในการอบแห้งทำให้หมู่ไฮดอกซิล (hydroxyl group) ระหว่างโมเลกุลภายในน้ำตาลหลุดออกจากกันกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลต่ำๆและสุดท้ายกลายเป็นคีโตน (ketone) ที่ทำให้มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น และอาจเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) เนื่องจากมีสารประกอบไนโตรเจนอยู่มาก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณโปรตีนที่มีในแป้งเผือก โดยแป้งจากเผือกไม้มีปริมาณโปรตีนมากที่สุด (ร้อยละ 10.54 โดยน้ำหนักแห้ง) เมื่อทำการอบแห้งเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไม้ที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วลม 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที ทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองของเส้นเล็กแห้งเพิ่มขึ้นมากที่สุด (13.79, 8.54, 12.61 และ 12.71 ตามลำดับ) จากเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไม้ (6.7)

ตารางที่ 28 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาณสตาร์ชทนย่อยของของเส้นเล็กสดและเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกชนิดต่างๆ

ชนิดแป้ง	ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)		ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง
	เส้นเล็กสด	เส้นเล็กแห้ง	
เผือกไม้ร้อยละ 10	1.32	2.05	55.30
เผือกหอมร้อยละ 20	1.53	1.55	1.31
เผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30	1.46	1.83	25.34

จากตารางที่ 28 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสตาร์ชทนย่อยของเส้นเล็กแห้งจากการอบแห้งเส้นเล็กสดทดแทนด้วยแป้งจากเผือกชนิดต่างๆ พบว่าการอบแห้งเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสตาร์ชทนย่อยของเส้นเล็กแห้งเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1.31-55.30 จากปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้ง อาจเกิดจากกระบวนการเกิดสตาร์ชทนย่อยชนิดที่ 3 ซึ่งเกิดจากกระบวนการให้ความร้อนในการนึ่งและการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว เมื่อแป้งได้รับความร้อนจะเกิดการเจลาติไนซ์เซชั่น จากนั้นจะเกิดจากการคืนตัว แล้วเมื่อแป้งเย็นตัวลง แอมิโลสและแอมิโลเพคตินจะจัดเรียงตัวกันอีกครั้งเป็นโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง จึงมีความทนต่อการย่อยของเอนไซม์มากขึ้น (Englyst and others 1992)

4.3.4 ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งที่ใช้สตาร์ชทนย่อยจากเผือกทดแทนแป้งข้าว

จากการทำแห้งผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสดที่ทดแทนด้วยสตาร์ชทนย่อยจากเผือกไม้ร้อยละ 10 เผือกหอมร้อยละ 20 และเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิ 45 กับ 55 องศาเซลเซียสและความเร็วลม 0.4 กับ 0.6 เมตรต่อนาที จากนั้นทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.4 เมตรต่อนาที เนื่องจากเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งจากเผือกผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสมีค่าความเหนียวหนืบและความคงทนเมื่อถูกเคี้ยวสูง (ตารางที่ 18) และผ่านการอบแห้งที่ความเร็วลม 0.4 เมตรต่อวินาทีมีค่าความเหนียวหนืบสูงเช่นกัน (ตารางที่ 16) นำมาทดสอบความชอบของผู้บริโภค 100 คน เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (ไม่มีแป้งเผือก) และผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งทางการค้า 2 ชนิด ออกแบบการทดลองแบบ latin square วางแผนการทดสอบชิมแบบ Balance first order carry-over effects เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากกลิ่นรส และความเข้มข้นใดๆที่ตกค้างมาจากตัวอย่างที่ถูกชิมก่อนหน้าซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการรับรู้ทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างที่กำลังทดสอบชิมอยู่ โดยการวาง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

แผนการทดสอบชิมแบบนี้ สามารถเกลี่ยผลตกค้างนี้ได้ (วิลัศนา โพธิ์ศรี และคณะ 2548)ผลการทดสอบชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งในกลุ่มผู้บริโภค 100 คน (ตารางที่ 29) พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนเฉลี่ยความชอบต่อเนื้อสัมผัส สี และความชอบโดยรวมแต่ละสูตรแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ส่วนคะแนนเฉลี่ยความชอบต่อกลิ่นผู้บริโภคให้คะแนนในแต่ละสูตรแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยผู้บริโภคให้ค่าคะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมของเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไม้ร้อยละ 10 และเผือกหอมร้อยละ 20 (6.07และ 6.03 ตามลำดับ) ใกล้เคียงสูตรควบคุม (6.46) ซึ่งมีค่าคะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบ

สำหรับความชอบต่อเนื้อสัมผัส พบว่าเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไม้ร้อยละ 10 (6.07) มีค่าคะแนนใกล้เคียงกับสูตรควบคุม (6.23) ($p > 0.05$) ส่วนแป้งเผือกหอมร้อยละ 20 และเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 มีค่าคะแนน 5.97 และ 5.73 ตามลำดับ ซึ่งคะแนนความชอบต่อเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบ

ส่วนความชอบด้านสีพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนเส้นเล็กแห้งสูตรควบคุม และทางการค้า 2 ชนิด (7.26, 7.21 และ 6.93 ตามลำดับ) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ($p > 0.05$) ส่วนเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกไม้ร้อยละ 10 เผือกหอมร้อยละ 20 และเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 มีค่าคะแนนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าคะแนนเป็น 5.80, 5.62 และ 5.51 ตามลำดับ คะแนนอยู่ในระดับค่อนข้างชอบเล็กน้อย

ส่วนความชอบด้านกลิ่น ผู้บริโภคให้คะแนนเส้นเล็กแห้งในแต่ละสูตรไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 5.89-6.29 จัดอยู่ในค่อนข้างชอบเล็กน้อยถึงชอบ

ตารางที่ 29 ค่าคะแนนเฉลี่ยความชอบของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งที่ใช้แป้งทนย่อยจากเผือกทดแทนแป้งข้าวบางส่วน

สูตร	ความชอบ			
	เนื้อสัมผัส	สี	กลิ่น	ความชอบโดยรวม
เส้นเล็กแห้งทดแทนด้วย PM 10%	6.07±1.74^{ab}	5.80±1.52^{b}	6.16±1.87	6.07±1.51^{bc}
เส้นเล็กแห้งทดแทนด้วย PH 20%	5.94±1.81^{b}	5.62±1.68^{b}	6.29±1.68	6.03±1.58^{bc}
เส้นเล็กแห้งทดแทนด้วย PHC 30%	5.73±1.72^{b}	5.51±1.74^{b}	6.09±1.68	5.84±1.49^{c}
เส้นเล็กแห้งสูตรควบคุม	6.23±1.93^{ab}	7.26±1.10^{a}	5.93±1.65	6.46±1.55^{ab}
เส้นเล็กแห้งทางการค้าชนิดที่ 1	6.50±1.521^{a}	6.93±1.17^{a}	5.89±1.78	6.47±1.27^{ab}
เส้นเล็กแห้งทางการค้าชนิดที่ 2	6.54±1.76^{a}	7.21±.99^{a}	6.17±1.62	6.65±1.29^{a}

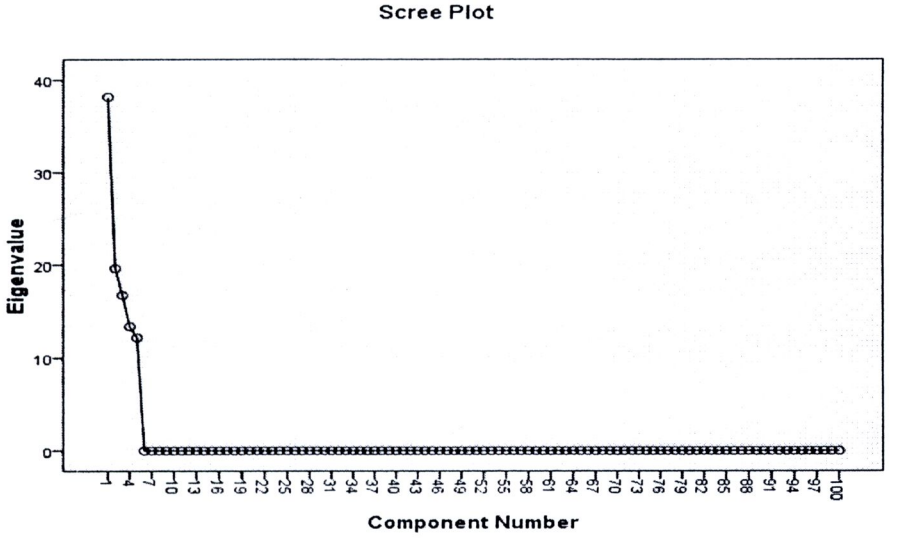
a, b..ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (PH: เผือกหอม, PHC: เผือกหอมเชียงใหม่ และ PM: เผือกไม้)

เนื่องจากค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งจากเผือก มีความแตกต่างในด้านความชอบโดยรวม เนื้อสัมผัส และสี เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ดังนั้นจึงทำการจัดกลุ่มรูปแบบความชอบโดยรวมและเนื้อสัมผัสของผู้บริโภคโดยใช้เทคนิค Principal Component Analysis (PCA) เพื่อให้เห็นภาพรวมของข้อมูลให้ชัดเจนมากขึ้น ซึ่งการสร้าง PCA เป็นการทำเพื่อลดจำนวนตัวแปรหรือจัดกลุ่มตัวแปร 100 ตัว ซึ่งก็คือผู้บริโภค 100 คน ผลการจัดกลุ่มรูปแบบความชอบโดยรวมและเนื้อสัมผัสเพื่อลดจำนวนตัวแปรผู้บริโภค (100 คน) จะได้การจัดกลุ่ม 5 กลุ่ม (5 PC_s) (ร้อยละความแปรปรวนทั้ง 5PC ของความชอบโดยรวม ได้แก่ PC1= 38.16, PC2= 19.61, PC3= 16.72, PC4=13.37 และ PC5= 12.13 และความชอบด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ PC1=29.48, PC2=21.84, PC3=17.82, PC4=15.85 และ PC5= 15.01) ซึ่งแสดงถึงความแปรปรวนของข้อมูลความชอบโดยรวมได้เกือบ 100% กราฟที่แสดงจำนวนที่เหมาะสมของ PC_s ที่ใช้ในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลชุดนี้เรียกว่า “Scree plot” (ภาพที่ 17 และ 18)

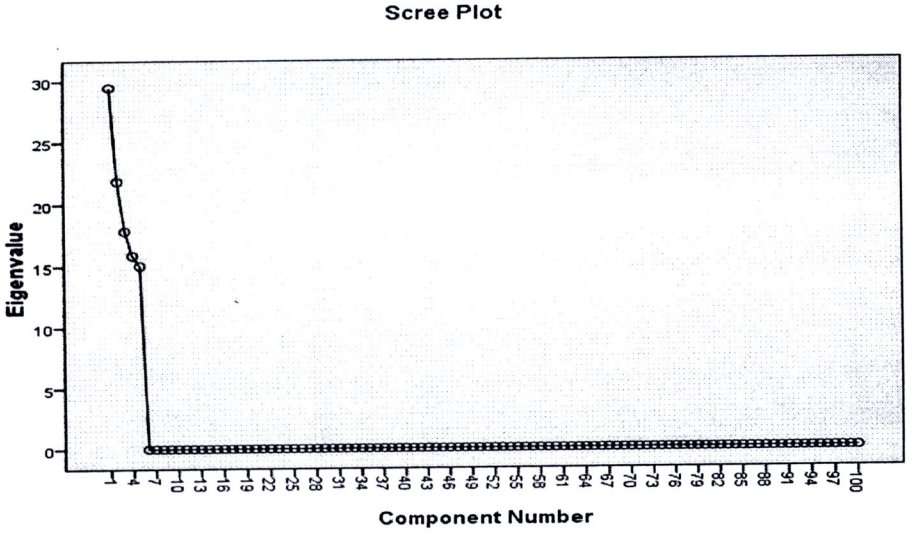
ผลการวิเคราะห์ PCA พบว่าอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลความชอบโดยรวมด้วย PC1 เท่ากับ ร้อยละ 38.16, PC2 เท่ากับร้อยละ 19.61 หมายถึงแกน PC1-PC2 (ภาพที่ 19) โดยอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลความชอบโดยรวมจากผู้บริโภค 100 คน ได้ร้อยละ 57.77 และอีกร้อยละ 16.73 ถูกอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลด้วย PC3 หมายถึงแกน PC1- PC3 อธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลความชอบจากผู้บริโภค 100 คน ได้ ร้อยละ 74.50 ซึ่งกราฟของ PC1-PC3 เป็นภาพสามมิติซึ่งยากต่อการจัดกลุ่มผู้บริโภค จึงได้ทำการจัดกลุ่มจากกราฟ PC1-PC2 (ภาพที่ 19) โดยที่แต่ละจุดแสดงถึงส่วนปลายทิศทางเวคเตอร์ความชอบจากผู้ชิมแต่ละคน สามารถจัดกลุ่มตามความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้ง 6 ชนิด ได้เป็นกลุ่มใหญ่ 3 กลุ่ม จากนั้นพิจารณาว่ากลุ่มความชอบของผู้บริโภคทั้งสามกลุ่มนั้นว่าชอบผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งสูตรใดบ้าง สามารถทำได้โดยการสร้าง interactive graph จากค่า co-ordinators ของแกน PC1 และ PC2 ที่เป็นค่าจากการทำรีเกรสชั่น และบันทึกไว้เป็นตัวแปรใหม่ ได้เป็นผังของผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งที่ตอบสนองต่อผังความชอบโดยรวมของผู้บริโภค (ดังภาพที่ 20) การแปลความหมายของผังที่ 19 และ 20 คือ การกำหนดตรงตำแหน่งของผลิตภัณฑ์และผู้บริโภคให้อยู่ใน quadrant เดียวกัน และตำแหน่งตรงกัน (วิลัศนา โพธิ์ศรี และคณะ 2548) สามารถอธิบายได้ว่ามีกลุ่มผู้บริโภคมีความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งแตกต่างกัน 3 กลุ่ม คือกลุ่มที่หนึ่งชอบผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งสูตรควบคุมและเส้นเล็กแห้งทางการค้าชนิดที่ 1 ซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่ที่สุด กลุ่มที่สอง คือกลุ่มที่ชอบผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไม้ร้อยละ 10 และเผือกหอมร้อยละ 20 และกลุ่มที่สามคือกลุ่มที่ชอบผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30

ผลการวิเคราะห์ PCA พบว่าอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลความชอบด้านเนื้อสัมผัสด้วย PC1 เท่ากับ ร้อยละ 29.48, PC2 เท่ากับร้อยละ 21.84 หมายถึงแกน PC1-PC2 (ภาพที่ 21) โดยอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลความชอบด้านเนื้อสัมผัสจากผู้บริโภค 100 คน ได้ร้อยละ 51.32 และอีกร้อยละ 17.82 ถูกอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลด้วย PC3 หมายถึงแกน PC1-PC3 อธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลความชอบด้านเนื้อสัมผัสจากผู้บริโภค 100 คน ได้ ร้อยละ 69.14 ซึ่งกราฟของ PC1-PC3 เป็นภาพสามมิติซึ่งยากต่อการจัดกลุ่มผู้บริโภค จึงได้ทำการจัดกลุ่มจากกราฟ PC1-PC2 (ภาพที่ 21) โดยที่แต่ละจุดแสดงถึงส่วนปลายทิศทางเวคเตอร์ความชอบด้านเนื้อสัมผัสจากผู้ชิมแต่ละคน สามารถจัดกลุ่มตามความชอบด้านเนื้อสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้ง 6 ชนิด ได้เป็นกลุ่มใหญ่ 3 กลุ่ม จากนั้นพิจารณาว่ากลุ่มความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผู้บริโภคทั้งสามกลุ่มนั้นว่าชอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งสูตรใดบ้าง สามารถทำได้โดยการสร้าง interactive graph จากค่า co-ordinators ของแกน PC1 และ PC2 ที่เป็นค่าจากการทำรีเกรสชั่น และบันทึกไว้เป็นตัวแปรใหม่ ได้เป็นผังของผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งที่ตอบสนองต่อผังความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผู้บริโภค (ดังภาพที่ 21) การแปลความหมายของผังที่ 21 และ 22 คือ การกำหนดตรงตำแหน่งของผลิตภัณฑ์และผู้บริโภคให้อยู่ใน quadrant เดียวกัน และตำแหน่งตรงกัน (วิลัศนา โพธิ์ศรี และคณะ 2548) สามารถอธิบายได้ว่ามีกลุ่มผู้บริโภคมีความชอบด้านเนื้อสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งแตกต่างกัน 3 กลุ่ม คือกลุ่มที่หนึ่งชอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งทางการค้าชนิดที่ 1,2 และเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งเผือกไม้ร้อยละ 10 ซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่ที่สุด กลุ่มที่สอง คือกลุ่มที่ชอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งสูตรควบคุม และกลุ่มที่สาม คือกลุ่มที่ชอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกหอมร้อยละ 20 และเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30

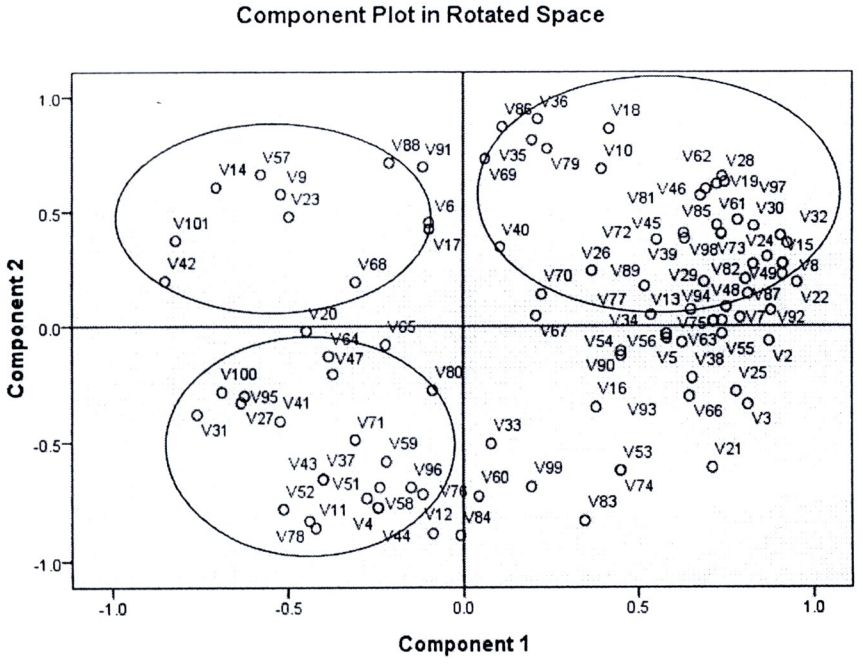
อย่างไรก็ตามจากผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไม้ร้อยละ 10 เผือกหอมร้อยละ 20 และเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 ให้ผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งที่จัดกลุ่มจากความชอบโดยรวมของผู้บริโภค ถึงแม้ว่าไม่ได้อยู่กลุ่มเดียวกับเส้นเล็กแห้งสูตรควบคุม แต่ยังมีผู้บริโภคกลุ่มที่สองและสามที่มีความชอบต่อผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งจากเผือกและจากการจัดกลุ่มความชอบด้านเนื้อสัมผัส ผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือกไม้ร้อยละ 10 จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งทางการค้า นอกจากนี้ค่าคะแนนความชอบโดยรวมของเส้นเล็กแห้งทดแทนด้วยแป้งเผือกไม้ร้อยละ 10 และเผือกหอมร้อยละ 20 มีค่าใกล้เคียงสูตรควบคุม ดังนั้นเส้นเล็กแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งจากเผือก จึงมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้งใยอาหารเชิงการค้าได้



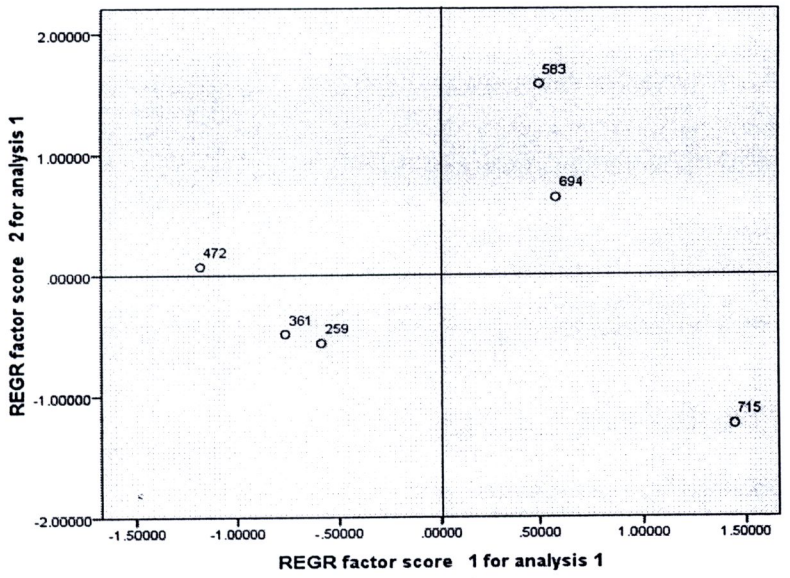
ภาพที่ 17 Scree plot ของข้อมูลความชอบโดยรวมจากผู้บริโภค 100 คน



ภาพที่ 18 Scree plot ของข้อมูลความชอบต่อเนื้อสัมผัสจากผู้บริโภค 100 คน

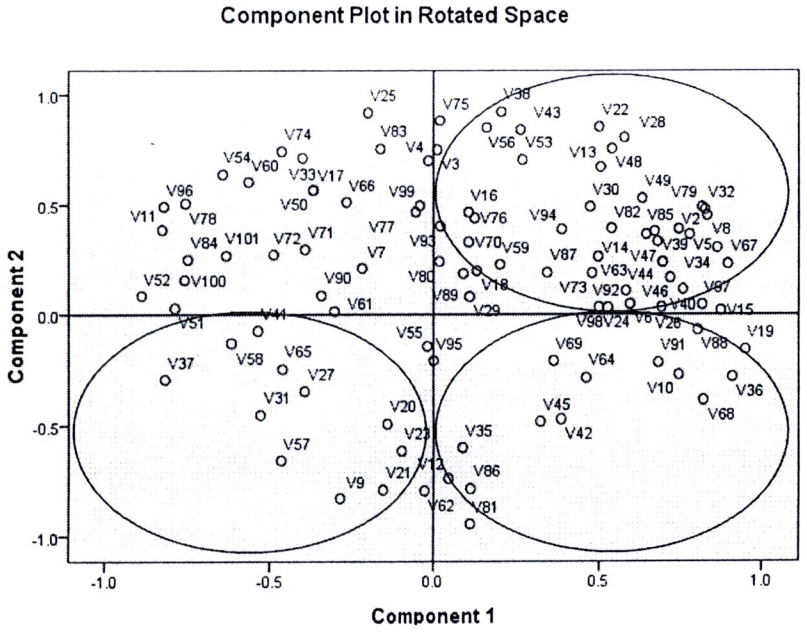


ภาพที่ 19 Principle Component Analysis (PCA) แสดงความชอบโดยรวมต่อผู้บริโภค 100 คน

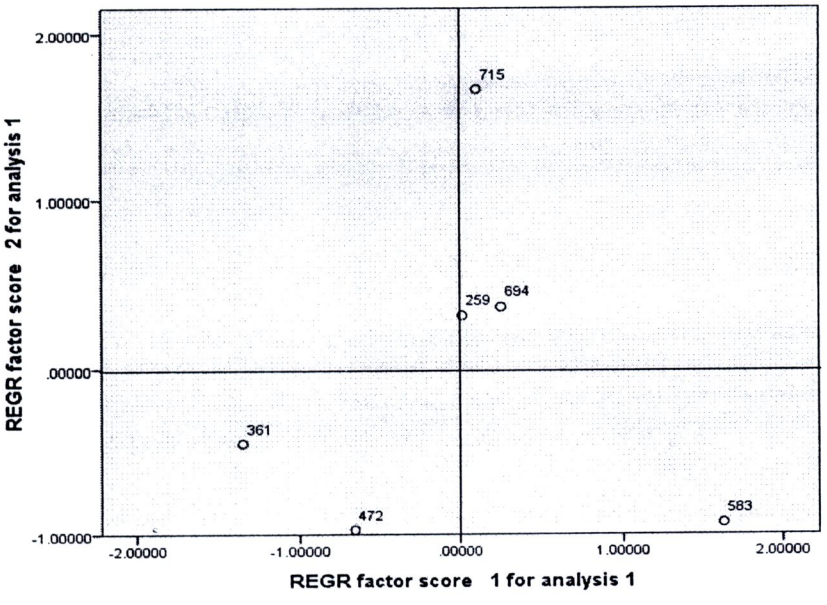


ภาพที่ 20 Principle Component Analysis (PCA) แสดงความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้ง 6 สูตร

หมายเหตุ : 259 คือสูตรผสมแป้งเผือกไม้ร้อยละ 10 361 คือสูตรผสมแป้งเผือกหอมร้อยละ 20
472 คือสูตรผสมแป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 583 คือสูตรควบคุม
694 คือเส้นเล็กแห้งทางการค้าชนิดที่ 1 715 คือเส้นเล็กแห้งทางการค้าชนิดที่ 2



ภาพที่ 21 Principle Component Analysis (PCA) แสดงความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผู้บริโภค 100 คน



ภาพที่ 22 Principle Component Analysis (PCA) แสดงความชอบด้านเนื้อสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์เส้นเล็กแห้ง 6 สูตร

หมายเหตุ : 259 คือสูตรผสมแป้งเผือกไม้ร้อยละ 10 361 คือสูตรผสมแป้งเผือกหอมร้อยละ 20
472 คือสูตรผสมแป้งเผือกหอมเชียงใหม่ร้อยละ 30 583 คือสูตรควบคุม
694 คือเส้นเล็กแห้งทางการค้าชนิดที่ 1 715 คือเส้นเล็กแห้งทางการค้าชนิดที่ 2