บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย *Coix lacryma-jobi* Linn. (ตารางที่ 4.1) พบว่า ลูกเดือยมีปริมาณความชื้น 9.26% โปรตีน 12.93% ไขมัน 9.15% คาร์โบไฮเดรต 62.99% เส้นใย 0.41% และเถ้า 5.27% ซึ่งมีปริมาณไขมัน เส้นใย และเถ้าสูงกว่า โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่ารายงานของศิริพร จันทนา (2529) และ ทัศนีย์ พรกิจประสาน (2530) ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากแตกต่างกันขึ้นกับสภาพแวดล้อมของสถานที่เพาะปลูก และการดูแลรักษา

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
ความชื้น	9.26±0.06
โปรตีน	12.93±0.17
ไขมัน	9.15±0.03
คาร์โบไฮเดรต	62.99±0.25
เส้นใย	0.41±0.02
เถ้า	5.27±0.02

4.2 การศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ลูกเดือย

การแช่ลูกเดือยในน้ำเป็นการทำให้ลูกเดือยนิ่มและง่ายต่อการนำไปบดทำน้ำลูกเดือยต่อไป ส่วนอุณหภูมิในการแช่ลูกเดือยที่สูงขึ้นอาจช่วยลดระยะเวลาในการแช่ลูกเดือย ซึ่งมีผลทางอ้อมในการลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามิน โปรตีน ที่ละลายได้ในน้ำ จากการทดลองแช่ลูกเดือยในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ($27\pm1^{\circ}C$) เป็นเวลา 1–6 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.2) พบว่า ลูกเดือยมีปริมาณความชื้นสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น และเมื่อแช่ลูกเดือยเป็นเวลา 2 ชั่วโมง การเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นของลูกเดือยจะลดลง จนกระทั่งปริมาณความชื้นเริ่มคงที่ แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกลูกเดือยซึ่งมีปริมาณความชื้น

ภายในต่ำจะสามารถดูดซับน้ำเข้าไปได้ดี และเมื่อความชื้นภายในลูกเดือยสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำจะเริ่มลดลงจนในที่สุดจะไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Pan และ Tangratanavalee (2003) ที่พบว่า อัตราการดูดซับน้ำของถั่วเหลืองจะสูงในช่วง 30 นาทีแรก หลังจากนั้นจะลดลง และอัตราการดูดซับน้ำของถั่วเหลืองจะลดลงหลังจากแช่ถั่วเหลืองเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ Muramatsu และคณะ (2006) ที่พบว่า ในช่วงแรกของการแช่ข้าว ปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นจะค่อยๆ ลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเริ่มอิ่มตัว และเมื่อวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำที่ใช้แช่ลูกเดือย พบว่า ในช่วงแรกของการแช่ลูกเดือยจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งเข้าสู่ชั่วโมงที่ 3 อัตราการละลายของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งคงที่ โดยของแข็งที่ละลายในน้ำที่ใช้แช่ลูกเดือยส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต (Pan and Tangratanavalee, 2003)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของลูกเดือยและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำแช่ที่อุณหภูมิห้อง ($27\pm1^{\circ}C$)

ระยะเวลาแช่ลูกเดือย (ชม.)	ความชื้น (%db)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$Brix)
0	$46.38^{c}\pm1.76$	$0.00^{d}\pm0.00$
1	$66.86^{b}\pm0.76$	$0.35^{c}\pm0.71$
2	$71.29^{a}\pm0.90$	$0.75^{b}\pm0.71$
3	$71.62^{a}\pm0.80$	$0.80^{ab}\pm0.00$
4	$72.16^{a}\pm0.17$	$0.85^{ab}\pm0.71$
5	$72.39^{a}\pm0.97$	$0.95^{a}\pm0.71$
6	$72.54^{a}\pm0.60$	$0.95^{a}\pm0.71$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เช่นเดียวกับการแช่ลูกเดือยในน้ำอุณหภูมิ $40\pm1^{\circ}C$ เป็นเวลา 15–120 นาที ซึ่งพบว่าปริมาณความชื้นของลูกเดือยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก และอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นจะลดลงจนเริ่มคงที่ (ตารางที่ 4.3) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของลูกเดือยแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง กับปริมาณความชื้นของลูกเดือยแช่น้ำที่อุณหภูมิ

40±1°C เป็นเวลา 60 และ 120 นาทีตามลำดับ พบว่า ปริมาณความชื้นของลูกเดือยไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดได้ในน้ำที่ใช้แช่ลูกเดือยที่อุณหภูมิห้องต่ำกว่าตัวอย่างที่แช่ที่อุณหภูมิ 40±1°C ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Pan และ Tangratanavalee (2003) ที่พบว่า น้ำที่แช่ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 40°C มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ละลายออกมาสูงกว่าน้ำที่แช่ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 10 20 และ 30°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ผนังเซลล์อ่อนตัว ส่งผลให้น้ำสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในถั่วเหลืองมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้จึงสามารถละลายออกมากับน้ำที่ใช้แช่ได้มากขึ้น ซึ่งการที่ของแข็งที่ละลายได้ละลายออกมาในระหว่างการแช่มากขึ้น อาจมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตสุดท้ายลดลง และอาจมีผลกระทบต่อคุณค่าทางอาหารของลูกเดือย เช่น เกิดการสูญเสียวิตามินหรือโปรตีนที่ละลายน้ำได้ นอกจากนี้การแช่ลูกเดือยในน้ำอุณหภูมิ 40±1°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิด อาจมีผลให้จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ (Pan and Tangratanavalee, 2003) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกแช่ลูกเดือยในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 ปริมาณความชื้นของลูกเดือยและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำแช่ที่อุณหภูมิ 40±1°C

ระยะเวลาแช่ลูกเดือย (นาที)	ความชื้น (%db)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)
0	44.83^{e}±2.93	0.00^{e}±0.00
15	55.89^{d}± 1.61	0.25^{d}±0.81
30	60.62^{cd}±2.82	0.30^{cd}±0.00
45	63.27^{bc}±1.91	0.35^{cd}±0.21
60	66.79^{abc}±2.21	0.45^{cd}±0.21
75	67.84^{ab}±2.98	0.65^{bc}±0.21
90	69.83^{ab}±3.03	0.70^{ab}±0.14
105	70.23^{a}±2.98	0.85^{a}±0.07
120	70.88^{a}±3.61	0.90^{a}±0.14

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 การทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

จากการทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย (ตารางที่ 4.4) พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนต่อน้ำลูกเดือยเพิ่มขึ้น น้ำลูกเดือยจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 75±1°C น้ำลูกเดือยจะมีความหนืดสูงมากจนไม่สามารถป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายได้ เนื่องจากอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของลูกเดือยอยู่ในช่วง 64-73°C (ทัศนีย์ พรกิจประสาน, 2530) การให้ความร้อนต่อน้ำลูกเดือยที่อุณหภูมิ 75±1°C จึงทำให้เม็ดแป้งในน้ำลูกเดือยเกิดการเจลาติไนซ์อย่างสมบูรณ์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 17-22°Brix มีลักษณะเป็นเจล จับตัวกันเป็นก้อน และมีความหนืดสูงมากจนไม่สามารถป้อนเข้าเครื่องทำแห้งได้ เช่นเดียวกับรายงานของ พิมพรรณ รัตนพฤกษานนท์ (2526) ที่พบว่านมถั่วเหลืองที่ระเหยน้ำออกภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 65°C จนมีปริมาณของแข็งรวมทั้งหมดเป็นร้อยละ 25 ความหนืดของนมถั่วเหลืองจะสูงขึ้น มีลักษณะเป็นเจลจนไม่สามารถป้อนเข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายได้ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผงที่ได้ พบว่าการให้ความร้อนต่อน้ำลูกเดือยเพิ่มขึ้นจาก 65±1°C เป็น 70±1°C น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีปริมาณผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมีน้ำลูกเดือยบางส่วนติดที่ผนังของเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายในระหว่างการทำแห้ง สำหรับสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่า dispersibility ลดลง โดยเมื่อนำน้ำลูกเดือยผงมาละลายน้ำ จะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้การกระจายตัวของน้ำลูกเดือยลดลง ค่า bulk density เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากปริมาณของแข็งทั้งหมดและความหนืดของของเหลวที่เพิ่มขึ้น เมื่อป้อนเข้าสู่เครื่องทำแห้งจะทำให้ละอองฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจมีความชื้นเหลืออยู่ภายในอนุภาค ทำให้อนุภาคผงที่ได้จึงมีน้ำหนักมากขึ้น ส่งผลให้ค่า bulk density เพิ่มขึ้น ส่วน solubility และเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการให้ความร้อนต่อน้ำลูกเดือยที่อุณหภูมิ 65±1°C เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนซ์ของลูกเดือย เม็ดแป้งในน้ำลูกเดือยอาจเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยืดหยุ่นได้จำกัดความหนืดของน้ำลูกเดือยจึงยังไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัดเจน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ทำให้น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีลักษณะไม่คงตัวและตกตะกอนอย่างรวดเร็ว การให้ความร้อนต่อน้ำลูกเดือยที่อุณหภูมิ 70±1°C จะให้น้ำลูกเดือยผงที่มี solubility สูงที่สุด เนื่องจากเม็ดแป้งในน้ำลูกเดือยเกิดการเจลาติไนซ์ได้บางส่วน ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งอ่อนแอลง ความร้อนจึงสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนได้ง่ายขึ้น ทำให้กระจายตัวและแขวนลอยอยู่ในน้ำลูกเดือยได้มากขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของ Jha, Patel และ Singh (2002)

ที่พบว่า การให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าวเพื่อให้เกิดการสุกบางส่วนก่อนนำไปผสมเป็น Kheer mix ทำให้ข้าวเกิดการกระจายตัวและแขวนลอยอยู่ใน Kheer mix ได้ดีขึ้น ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกภาวะในการทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนที่อุณหภูมิ 70±1°C ก่อนป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

ตารางที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิในการทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผง

สมบัติ	65±1°C	70±1°C	75±1°C *
ความหนืดของน้ำลูกเดือย (cP)	58.99^{c}±0.69	1506.00^{b}±51.86	3117.34^{a}±241.36
ปริมาณผลผลิต (%)	48.77^{a}±1.94	39.04^{b}±0.98	-
ความชื้น (%)^{ns}	3.09±0.16	3.00±0.98	-
Bulk density (g/ml)	0.50^{b}±0.01	0.59^{a}±0.04	-
Solubility (%)	41.00^{b}±1.05	52.53^{a}±0.24	-
Wettability (min)	14.3^{b}±0.27	23.3^{a}±0.42	-
Dispersibility (%)	76.68^{a}±0.86	60.25^{b}±0.71	-

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ไม่มีผลการทดลอง เพราะน้ำลูกเดือยมีลักษณะเป็นเจลจับตัวกันเป็นก้อน จนไม่สามารถป้อนเข้าสู่เครื่องทำแห้งได้

4.4 การศึกษาผลของปริมาณสารช่วยทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผง

จากการเติมมอลโตเดกซ์ทรินในน้ำลูกเดือย (ตารางที่ 4.5) พบว่า เมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นจาก 5%(w/v) เป็น 10%(w/v) ปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผงที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ ข.1) และการใช้มอลโตเดกซ์ทริน 15%(w/v) จะได้ปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผงสูงที่สุด คือ 61.15% ซึ่งการเติมมอลโตเดกซ์ทรินลงในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำแห้ง จะส่งผลให้มีปริมาณของแข็งโดยรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารที่ช่วยเพิ่มเนื้อให้แก่ผลิตภัณฑ์ ปริมาณผลผลิตจึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผง

สมบัติทางกายภาพ	ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (%w/v)				
	0	5	10	15	20
ปริมาณผลผลิต (%)	$40.84^{d}\pm1.26$	$44.34^{c}\pm1.35$	$44.49^{c}\pm1.77$	$61.15^{a}\pm1.24$	$56.72^{b}\pm1.16$
ความชื้น (%)	$3.16^{a}\pm0.35$	$3.14^{a}\pm0.25$	$2.32^{b}\pm0.35$	$2.21^{b}\pm0.10$	$2.24^{b}\pm0.35$
Bulk density (g/ml)	$0.59^{d}\pm0.01$	$0.58^{d}\pm0.01$	$0.61^{c}\pm0.01$	$0.63^{b}\pm0.01$	$0.66^{a}\pm0.01$
Solubility (%)	$49.29^{d}\pm0.12$	$51.95^{d}\pm0.34$	$54.68^{c}\pm0.40$	$56.12^{b}\pm0.74$	$60.53^{a}\pm0.28$
Wettability (min)	$25.9^{a}\pm0.55$	$23.5^{b}\pm0.59$	$18.6^{c}\pm1.28$	$5.5^{d}\pm0.21$	$5.6^{d}\pm0.22$
Dispersibility (%)	$64.60^{e}\pm2.83$	$76.39^{d}\pm0.40$	$80.10^{c}\pm0.21$	$83.62^{b}\pm0.59$	$87.97^{a}\pm1.07$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผง พบว่า เมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผงมีแนวโน้มลดลง โดยการใช้มอลโตเดกซ์ทริน 5%(w/v) น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีความชื้นไม่แตกต่างจากน้ำลูกเดือยผงที่ไม่เติมมอลโตเดกซ์ทรินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่การเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินจาก 5%(w/v) เป็น 10%(w/v) และ 15%(w/v) ปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผงจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และเมื่อใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน 15%(w/v) น้ำลูกเดือยผงที่ได้จะมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือ 2.21% โดยความชื้นของน้ำลูกเดือยผงที่ได้เมื่อใช้มอลโตเดกซ์ทริน 10-20%(w/v) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเติมมอลโตเดกซ์ทรินลงในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำแห้ง อาจเกิดการปรับด้าน hydrophilic และ hydrophobic ให้สมดุลกัน ช่วยให้เกิดการดูดซับน้ำได้ลดลง (Gabas *et al.*, 2007) มอลโตเดกซ์ทรินจะช่วยลดสมบัติในการดูดความชื้นเข้าหาตัว ทำให้น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีปริมาณความชื้นลดลง ซึ่งสมบัติด้านการดูดความชื้นของมอลโตเดกซ์ทรินจะขึ้นกับค่า Dextrose Equivalent (DE) โดยมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำจะมีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อย ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่มี DE ไม่เกิน 20 ในปริมาณ 5-15%(w/v) (Abadio *et al.*, 2004) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ (2543) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน มีผลทำให้นมข้าวโพดผงที่ได้มีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้นลดลง

เมื่อพิจารณาค่า bulk density ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้ พบว่า เมื่อใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ค่า bulk density ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารเพิ่มเนื้อให้แก่ผลิตภัณฑ์ ทำให้อนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า bulk density เพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับ ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผง (Bhandari *et al.*, 1993) ผลิตภัณฑ์น้ำแพชชั่นฟรุตผง และน้ำสับปะรดผง (Borges *et al.*, 2002) ที่พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทริน จะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ส่วนค่า solubility และ dispersibility ของน้ำลูกเดือยผงจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์อาหารผง โดยเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น จะทำให้การทำแห้งเกิดได้ดีขึ้น ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำ อนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงสามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็ว จึงสามารถละลายและกระจายตัวได้ดีขึ้น (Sara and Gary, 1988) นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ (2543) พบว่าการใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น จะทำให้นมข้าวโพดผงที่ได้มีความสามารถในการละลายดีขึ้น ส่วน Abadio และคณะ (2004) พบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ทริน 10%(w/v) ร่วมกับความเร็วของ Atomizer ต่ำ จะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำสับปะรดผงได้ ส่วน Chopda และ Barrett (2005) พบว่า การใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน 20% จะช่วยปรับปรุงความสามารถในการละลายของน้ำฝรั่งได้ดีขึ้น เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมด (wettability) พบว่า การใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น น้ำลูกเดือยผงที่ได้จะใช้เวลาในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง ซึ่งเป็นผลจากปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผงต่ำ ทำให้สามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง ซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน 15%(w/v) เนื่องจากให้น้ำลูกเดือยผงที่มีความชื้นต่ำที่สุด และปริมาณผลผลิตสูงที่สุด สำหรับใช้ในการทดลองต่อไป

4.5 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย

จากการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต, ความชื้น, bulk density, solubility, dispersibility และ wettability ของน้ำลูกเดือยผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนต่างๆ (ตารางที่ 4.6) พบว่า ปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผงอยู่ในช่วง 49.65-59.08% ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 1.65-2.63% bulk density อยู่ในช่วง 0.61-0.66 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่วน solubility ของน้ำลูกเดือยผงอยู่ในช่วง 59.43-72.11% dispersibility อยู่ในช่วง 74.4-83.07% และ ค่า wettability อยู่ในช่วง 2.4-24.2 นาที เมื่ออุณหภูมิลมเข้าเพิ่มขึ้น ปริมาณผลผลิตจะเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้น, bulk density, solubility, dispersibility และเวลาที่ใช้ใน

การทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิลมเข้าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ได้เร็วและมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความโปร่งมากขึ้นและอนุภาคมีน้ำหนักน้อย (Masters, 1991) เมื่อนำไปละลายน้ำจึงเกิดการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ ทำให้ความสามารถในการละลายและการกระจายตัวลดลง (Nath and Satpathy, 1998) ส่วนเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง อาจเกิดจากอนุภาคของน้ำลูกเดือยผงมีปริมาณความชื้นต่ำ เมื่อนำไปละลายน้ำ จึงเกิดการดูดซับน้ำเข้าสู่อนุภาคของน้ำลูกเดือยผงได้ดี ทำให้ใช้เวลาในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง สอดคล้องกับภาวะในการผลิตนมถั่วเหลืองผง (พิมพรรณ รัตนพฤกษานนท์, 2526; สุพจน์ พินิตเกียรติสกุล, 2537) นมถั่วเหลืองผงเสริมแคลเซียม (ก้อง ไพฑูรย์เศกสิทธิ์, พรชัย กิตติภูมิวงศ์ และ พายศ อภิญญานุวัฒน์, 2542) และผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดผง (นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ, 2543) คือ เมื่ออุณหภูมิลมเข้าเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีปริมาณความชื้น, bulk density และความสามารถในการละลายลดลง ส่วน Goula, Konstantino และ Adamopoulos (2005) พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมเข้าสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศผงที่ได้มีปริมาณความชื้นและ bulk density ลดลง แต่มีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผง

อุณหภูมิลมเข้า (^{o}C)	อัตราการป้อน (l/h)	ปริมาณผลผลิต (%)	ความชื้น (%)	Bulk density (g/ml)	Solubility (%)	Wettability (min)	Dispersibility (%)
160	1.0	$55.46^{abc}\pm0.68$	$1.94^{e}\pm0.01$	$0.66^{a}\pm0.01$	$72.11^{a}\pm1.14$	$24.2^{a}\pm0.78$	$83.07^{a}\pm1.04$
160	1.5	$53.39^{c}\pm3.06$	$2.33^{c}\pm0.02$	$0.64^{bc}\pm0.00$	$67.33^{b}\pm0.53$	$17.8^{b}\pm0.23$	$82.27^{a}\pm1.03$
160	2.0	$49.65^{d}\pm0.99$	$2.63^{a}\pm0.01$	$0.64^{bc}\pm0.01$	$67.47^{b}\pm0.13$	$5.4^{d}\pm0.01$	$80.63^{b}\pm0.01$
180	1.0	$56.50^{abc}\pm0.36$	$1.82^{f}\pm0.02$	$0.65^{ab}\pm0.01$	$63.03^{c}\pm0.51$	$6.3^{c}\pm0.04$	$75.21^{cd}\pm0.56$
180	1.5	$58.01^{ab}\pm2.67$	$2.32^{c}\pm0.01$	$0.63^{cd}\pm0.00$	$60.78^{d}\pm0.15$	$2.4^{f}\pm0.06$	$75.83^{cd}\pm0.06$
180	2.0	$52.67^{cd}\pm0.84$	$2.60^{a}\pm0.03$	$0.62^{ef}\pm0.01$	$59.52^{d}\pm0.53$	$2.7^{f}\pm0.06$	$75.33^{cd}\pm0.40$
200	1.0	$59.08^{a}\pm1.07$	$1.65^{g}\pm0.04$	$0.63^{cd}\pm0.00$	$60.52^{d}\pm1.36$	$5.9^{cd}\pm0.08$	$76.61^{c}\pm0.76$
200	1.5	$56.74^{abc}\pm3.20$	$2.10^{d}\pm0.01$	$0.62^{ef}\pm0.00$	$60.15^{d}\pm1.07$	$5.7^{cd}\pm0.01$	$76.44^{c}\pm0.78$
200	2.0	$57.55^{ab}\pm2.16$	$2.41^{b}\pm0.01$	$0.61^{f}\pm0.01$	$59.43^{d}\pm0.51$	$4.5^{e}\pm0.24$	$74.48^{d}\pm0.37$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เมื่ออัตราการป้อนน้ำลูกเดือยเข้าเครื่องทำแห้งเพิ่มขึ้น น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีปริมาณผลผลิต, bulk density, solubility, dispersibility และเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง ส่วนปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากน้ำลูกเดือยจะสัมผัสกับความร้อนได้น้อยลง ทำให้น้ำลูกเดือยผงที่ได้ยังมีความชื้นเหลืออยู่มากและเกิดการติดที่ผนังของเครื่องทำแห้ง ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตลดลง และความชื้นของน้ำลูกเดือยผงสูงขึ้น เมื่อนำไปละลายจะเกิดการจับตัวเป็นก้อน ทำให้ละลายได้ยาก ส่วน bulk density มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากขนาดอนุภาคผงที่ใหญ่ขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคของน้ำลูกเดือยผงมากขึ้น ความหนาแน่นจึงลดลง และขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น ทำให้น้ำหนักอนุภาคมากขึ้น ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคผงเปียกทั้งหมดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ สรรชัย เทียมทวีสิน (2530) ซึ่งพบว่า เมื่ออัตราการป้อนน้ำนมเพิ่มขึ้น นมผงที่ได้จะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการละลายจะลดลง

เมื่อพิจารณาผลร่วมของอุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ตารางที่ ข.2-ข.7) พบว่า อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยไม่มีผลร่วมต่อปริมาณผลผลิต, bulk density และ dispersibility ของน้ำลูกเดือยผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่ออุณหภูมิลมเข้าเพิ่มขึ้นและอัตราการป้อนลดลง น้ำลูกเดือยผงมีปริมาณความชื้นลดลง และเมื่ออุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนลดลง น้ำลูกเดือยผงมี solubility เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ สรรชัย เทียมทวีสิน (2530) ที่พบว่า เมื่ออุณหภูมิลมเข้าเพิ่มขึ้นและอัตราการป้อนน้ำนมลดลง นมผงที่ได้จะมีปริมาณความชื้นลดลง เมื่ออุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำนมลดลง นมผงที่ได้จะมีค่าการละลายดีขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของ Goula และคณะ (2005) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมเข้าและลดอัตราการป้อนน้ำมะเขือเทศเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย น้ำมะเขือเทศผงที่ได้จะมีปริมาณความชื้นลดลง เมื่ออุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำมะเขือเทศลดลง จะได้น้ำมะเขือเทศผงที่มีความสามารถในการละลายดีขึ้น แต่พบว่าอุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อน น้ำลูกเดือยไม่มีผลร่วมต่อปริมาณผลผลิต, bulk density และ dispersibility ของน้ำลูกเดือยผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงหาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง โดยวิธี Response Surface Methodology จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น solubility และ wettability กับอุณหภูมิลมเข้า (x_1) และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย (x_2) (สมการที่ 1-3) (ตารางที่ ข.19-ข.21) ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.3

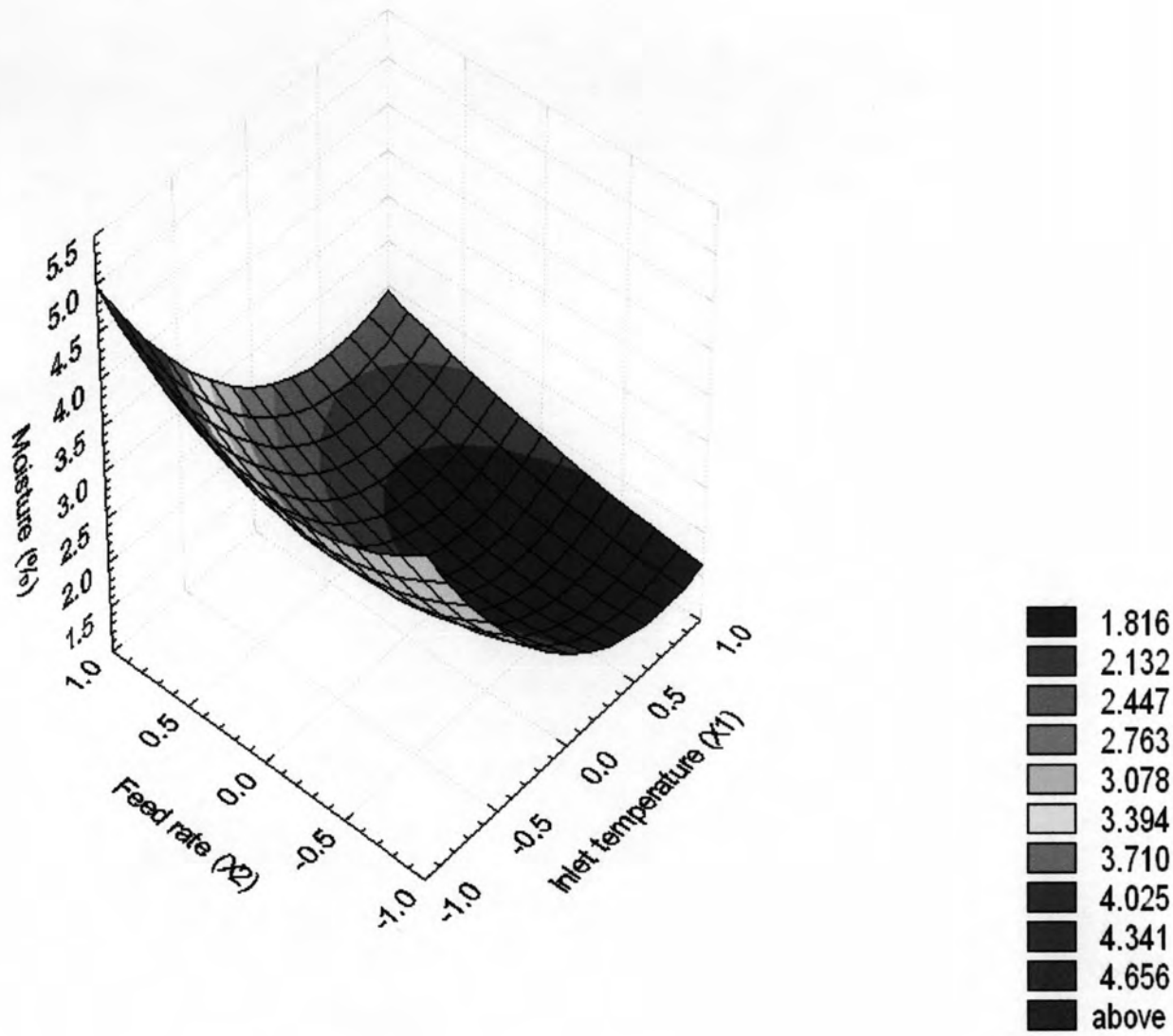
ความชื้น(%) $= 2.32 - 0.113X_1 + 0.393X_2 + 0.01875X_1X_2 - 0.108X_1^2 - 0.113X_2^2$
$- 0.02875X_1^2X_2 - 0.01375X_1X_2^2 + 0.05375X_12X_2^2$ .....(1)
$(R^2=0.996)$

Solubility (%) $= 60.775 - 3.59X_1 - 1.758X_2 + 0.887X_1X_2 + 2.96X_1^2 + 0.498X_2^2$
$+ 0.325X_1^2X_2 - 1.315X_1X_2^2 + 0.647X_1^2X_2^2$ .....(2)
$(R^2=0.969)$

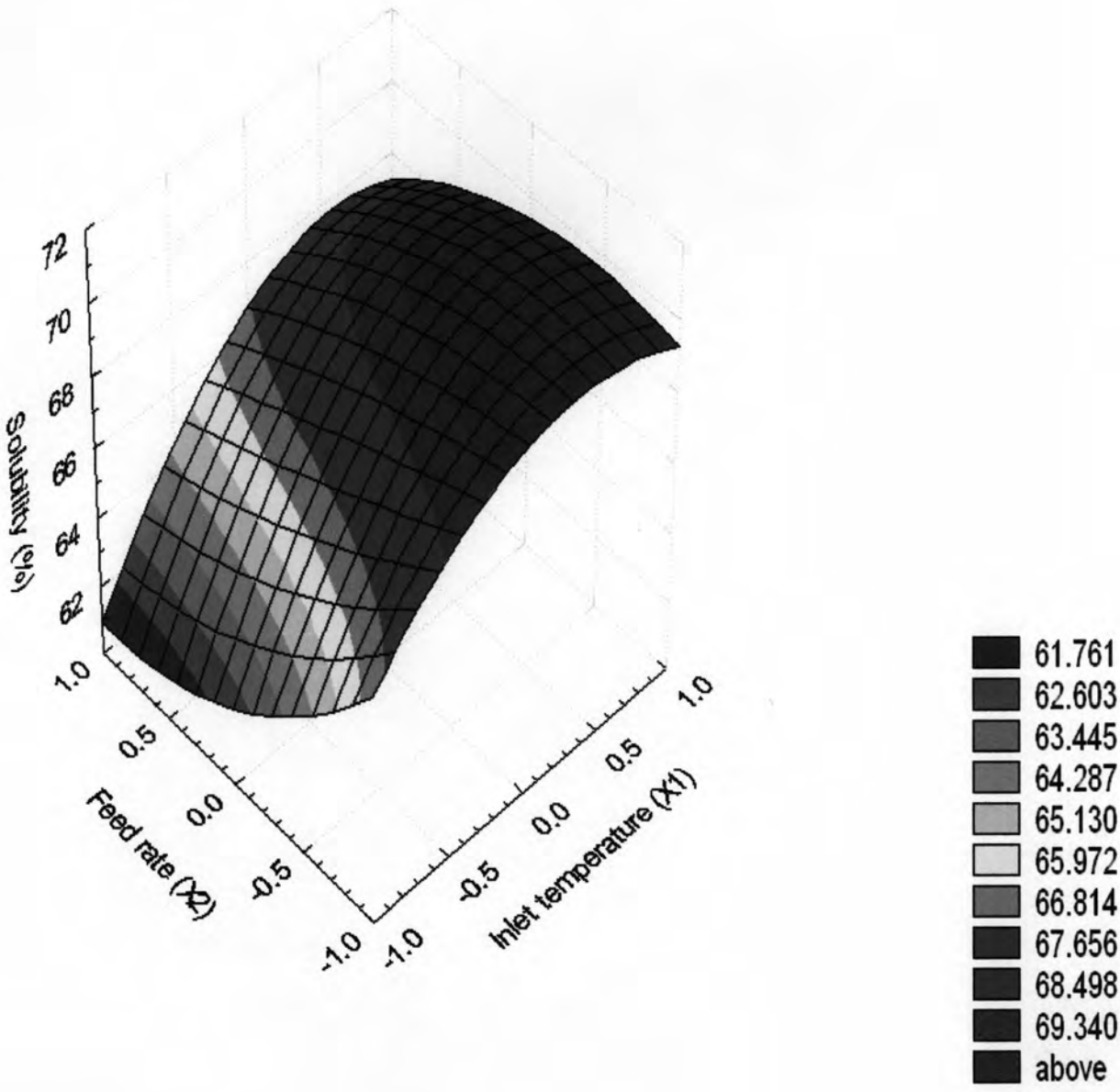
Wettability (min) $= 2.38 - 6.06X_1 - 1.83X_2 + 4.375X_1X_2 + 9.375X_1^2 + 2.12X_2^2$
$- 3.227X_1^2X_2 + 1.25X_1X_2^2 - 3.883X_1^2X_2^2$ .....(3)
$(R^2=0.998)$

โดยให้ $X_1 = (x_1 - 180)/20$
$X_2 = (x_2 - 1.5)/0.5$

เมื่อ x_1 คือ อุณหภูมิลมเข้า (^oC)
x_2 คือ อัตราการป้อนน้ำลูกเดือย (ลิตรต่อชั่วโมง)

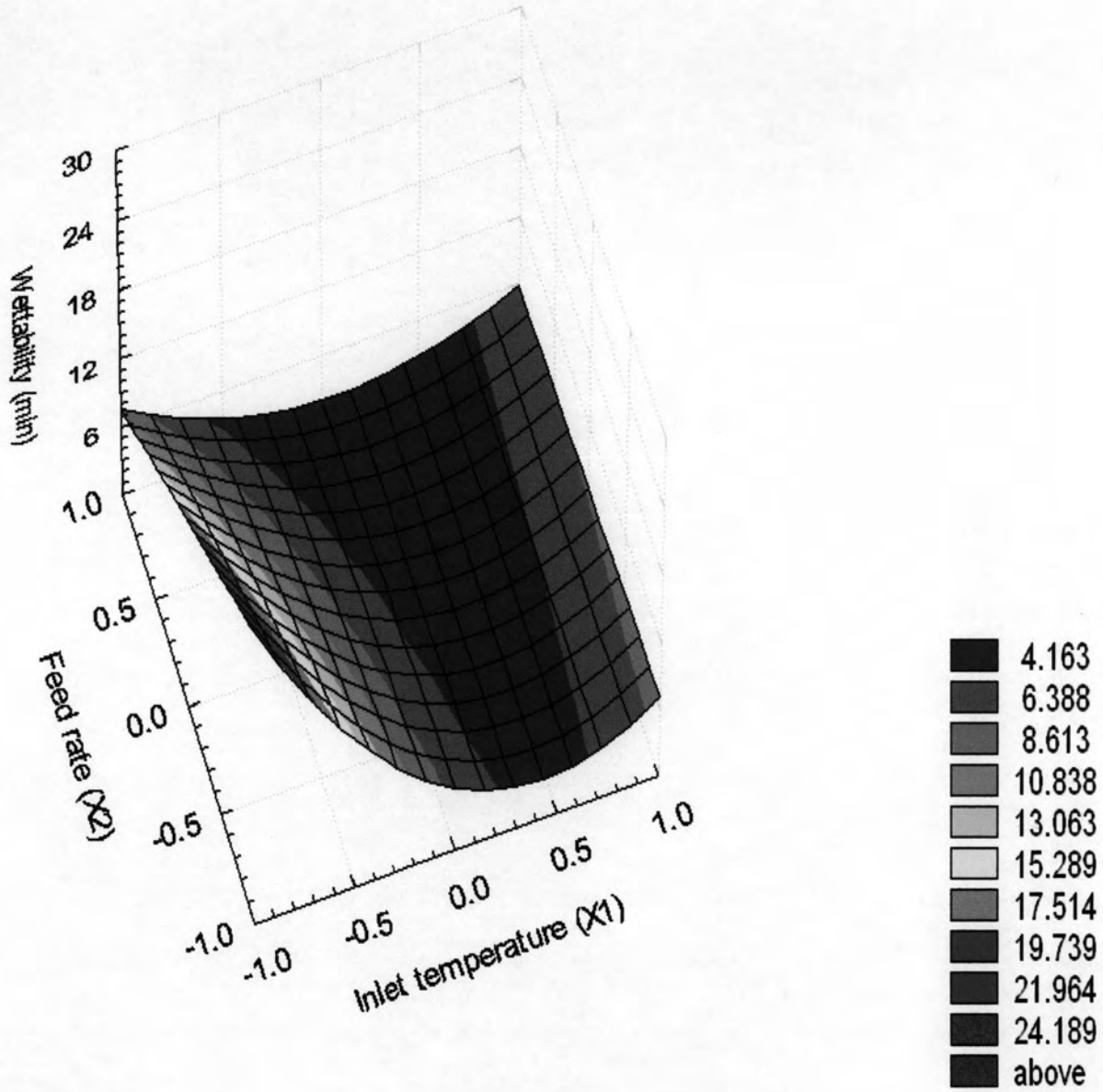


รูปที่ 4.1 Response Surface Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิลมเข้า และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย



รูปที่ 4.2 Response Surface Plot **แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง** solubility **กับอุณหภูมิลมเข้า และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย**

ห้องสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 Response Surface Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wettability กับอุณหภูมิลมเข้า และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย

จากสมการที่ 1 ถึง 3 พบว่า ทั้งสามสมการมีค่า R^2 อยู่ในระดับสูงใกล้เคียงกัน แสดงว่าสมการความชื้น solubility และ wettability มีความน่าเชื่อถือได้สูง และจากการคำนวณ (ภาคผนวก ค.) จะได้ว่า ภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย คือ อุณหภูมิลมเข้าอยู่ในช่วง 185.5 ถึง 191.2°C และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยอยู่ในช่วง 1.63 ถึง 1.71 ลิตรต่อชั่วโมง (ตารางที่ 4.7) ซึ่งเมื่อพิจารณาภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากสมการความชื้นและ solubility จะได้อุณหภูมิลมเข้า และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน แต่ต่างจากสมการ wettability ดังนั้นจึงเลือกใช้ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลูกเดือยผง เป็นอุณหภูมิลมเข้า เท่ากับ 190°C และอัตราการป้อน เท่ากับ 1.6±0.1 ลิตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4.7 ภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย

สมการ	อุณหภูมิลมเข้า (°C)	อัตราการป้อนน้ำลูกเดือย (ลิตรต่อชั่วโมง)
ความชื้น	189.8	1.63
Solubility	191.2	1.63
Wettability	185.5	1.71

4.6 การทำ Agglomeration เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำลูกเดือยผง

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น, bulk density, solubility, wettability และ dispersibility ของน้ำลูกเดือยผงที่ผ่านการทำ Agglomeration (ตารางที่ 4.8 และ ตารางที่ ข.8) พบว่า การทำ Agglomeration ทำให้ปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผงเพิ่มขึ้น โดยปริมาณความชื้นสูงสุดของ น้ำลูกเดือยผงได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด เท่ากับ 10:1 กรัมต่อมิลลิลิตร คือ 3.59% และมีค่ามากกว่าน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสดเท่ากับ 15:1 และ 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 10:1 กรัมต่อมิลลิลิตร ใช้น้ำลูกเดือยสดในการทำ Agglomeration มากกว่าน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนอื่น ทำให้อนุภาคของน้ำลูกเดือยผงถูกห่อหุ้มด้วยน้ำลูกเดือยสดบริเวณผิวของอนุภาคมากและเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของผลิตภัณฑ์ผง ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลง จึงเกิดการรวมกลุ่มของผลิตภัณฑ์ผงมากขึ้น ขนาดของอนุภาคที่ได้จะมีขนาดใหญ่ ทำให้สามารถกักเก็บของเหลวระหว่างอนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงได้มากขึ้น (Capes, 1987) อย่างไรก็ตาม

ปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผงที่ได้มีค่าต่ำกว่า 5% ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ผง (Singh, 1993) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ศุกฤตย์ ไทยอุดม (2538) และ นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ (2543) ที่พบว่า น้ำบัวบกผง และนมข้าวโพดผงที่ผ่านกระบวนการรวมกลุ่มจะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น แต่เมื่อพิจารณาค่า bulk density ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสดทั้ง 3 ระดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.8 สมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผงที่ผ่านการทำ Agglomeration

สมบัติทางกายภาพ	น้ำลูกเดือยผงที่ไม่ผ่านการทำ Agglomeration	อัตราส่วนน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด (กรัมต่อมิลลิลิตร)		
		10:1	15:1	20:1
ความชื้น (%)	$1.98^{d}\pm0.08$	$3.59^{a}\pm0.09$	$3.06^{b}\pm0.15$	$2.36^{c}\pm0.03$
Bulk density (g/ml)^{ns}	0.63 ± 0.01	0.61 ± 0.00	0.62 ± 0.01	0.63 ± 0.01
Solubility (%)	$69.30^{ab}\pm2.00$	$65.21^{b}\pm3.05$	$69.98^{ab}\pm1.23$	$71.27^{a}\pm0.23$
Wettability (min)	$7.89^{a}\pm0.04$	$7.30^{b}\pm0.01$	$7.28^{b}\pm0.01$	$5.73^{c}\pm0.35$
Dispersibility (%)	$78.16^{b}\pm0.50$	$79.06^{b}\pm0.46$	$79.11^{b}\pm0.37$	$82.57^{a}\pm0.92$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า solubility ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้ พบว่า น้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า solubility สูงที่สุด และใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ได้จากอัตราส่วน 15:1 กรัมต่อมิลลิลิตร และตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทำ Agglomeration โดย solubility ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 10:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าต่ำที่สุด อาจเนื่องจากน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วน 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำของอนุภาคน้ำลูกเดือยผงมากกว่า จึงมีความสามารถในการละลายดีกว่าน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วน 10:1 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของศุกฤตย์ ไทยอุดม (2538) ที่พบว่าน้ำบัวบกผงสำเร็จรูปที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำบัวบกผงต่อน้ำบัวบกสดเป็น 25:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความสามารถในการละลายดีกว่าน้ำบัวบกผงสำเร็จรูปที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำบัวบกผงต่อน้ำบัวบกสดเป็น 15:1 กรัมต่อมิลลิลิตร และ นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ (2543) ที่พบว่า

นมข้าวโพดผงชนิดละลายทันทีที่ได้จากอัตราส่วนของนมข้าวโพดผงต่อน้ำนมข้าวโพด 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีสมบัติการละลายดีกว่านมข้าวโพดผงชนิดละลายทันทีที่ได้จากอัตราส่วนของนมข้าวโพดผงต่อน้ำนมข้าวโพด 10:1 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่วน Omobuwajo, Busari และ Osemwegie (2000) พบว่าการทำ Agglomeration ของเครื่องดื่มช็อกโกแลตผงจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการละลาย โดยทำให้สามารถละลายน้ำกลับได้ง่าย และช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสด้วย

เมื่อพิจารณาค่า wettability ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมด พบว่าน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด เท่ากับ 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร จะใช้เวลาในการทำให้อนุภาคของน้ำลูกเดือยผงเปียกทั้งหมดน้อยที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับน้ำลูกเดือยผงอีก 2 ตัวอย่าง และน้ำลูกเดือยผงที่ไม่ผ่านการทำ Agglomeration อาจเนื่องจากพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำของน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีมากกว่าน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนอื่น จึงใช้เวลาในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดน้อยกว่า ส่วนน้ำลูกเดือยผงที่ไม่ผ่านการทำ Agglomeration จะใช้เวลาในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Shittu และ Lawal (2007) ที่พบว่าการทำ Agglomeration จะช่วยลดเวลาในการทำให้อนุภาคโกโก้ผงสำเร็จรูปเปียกทั้งหมด

สำหรับค่า dispersibility ซึ่งแสดงถึงสมบัติในการแพร่กระจายของน้ำลูกเดือยผงในน้ำ พบว่า น้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด เท่ากับ 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า dispersibiity สูงที่สุด และแตกต่างกับตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งอาจเนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าทำให้มีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำมากกว่า ทำให้เกิดการแพร่กระจายได้ดี (ศุกฤตย์ ไทยอุดม, 2538) ส่วนน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 10:1, 15:1 กรัมต่อมิลลิลิตร และน้ำลูกเดือยผงที่ไม่ผ่านการทำ Agglomeration มีค่า dispersibility ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นภาวะในการทำ Agglomeration ของน้ำลูกเดือยผงที่เลือกใช้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำลูกเดือยผงต่อไป คือ อัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร เพราะให้น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด, solubility สูงสุด นอกจากนี้ยังมี dispersibility สูงที่สุด และเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดน้อยที่สุด

4.7 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผง

จากการประเมินความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของเครื่องดื่มลูกเดือยผง (ตารางที่ 4.9) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ ข.9-ข.10) พบว่า ปริมาณน้ำตาลซูโครส

บดละเอียดและเกลือมีผลร่วมต่อคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเครื่องดื่มลูกเดือยผงสูตรที่เติมน้ำตาลซูโครสบดละเอียด 8% และเกลือ 0.7% ของน้ำหนักเครื่องดื่มลูกเดือยผง ได้รับคะแนนสูงที่สุดทั้งในด้านรสชาติและความชอบโดยรวม คือ 7.08 ± 0.86 และ 7.20 ± 0.87 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าผู้ทดสอบมีความชอบปานกลางในด้านรสชาติและความชอบโดยรวม ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงสูตรอื่นๆ ผู้ทดสอบไม่ชอบเล็กน้อยจนถึงเฉยๆ ทั้งในด้านรสชาติและความชอบโดยรวม ซึ่งเห็นได้จากคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 4.16 ± 1.57 ถึง 5.80 ± 0.96 และ 4.56 ± 1.58 ถึง 5.92 ± 0.91 ในการทดลองนี้จึงเลือกเครื่องดื่มลูกเดือยผงสูตรที่เติมน้ำตาลซูโครสบดละเอียด 8% และเกลือ 0.7% ของน้ำหนักเครื่องดื่มลูกเดือยผงเป็นสูตรสำหรับทำการศึกษาอายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผงต่อไป

ตารางที่ 4.9 คะแนนการทดสอบความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของเครื่องดื่มลูกเดือยผง

ปริมาณ		รสชาติ	ความชอบโดยรวม
น้ำตาล (%)	เกลือ (%)		
6	0.5	$4.16^{e} \pm 1.57$	$4.56^{d} \pm 1.58$
6	0.7	$4.40^{de} \pm 1.26$	$4.72^{cd} \pm 1.21$
6	0.9	$4.88^{cd} \pm 1.77$	$5.20^{bcd} \pm 1.44$
8	0.5	$5.52^{bc} \pm 1.08$	$5.68^{b} \pm 1.28$
8	0.7	$7.08^{a} \pm 0.86$	$7.20^{a} \pm 0.87$
8	0.9	$5.68^{b} \pm 1.14$	$5.84^{b} \pm 1.07$
10	0.5	$5.44^{bc} \pm 0.96$	$5.64^{b} \pm 0.99$
10	0.7	$5.80^{b} \pm 0.96$	$5.92^{b} \pm 0.91$
10	0.9	$5.08^{bcd} \pm 1.00$	$5.36^{bc} \pm 1.08$

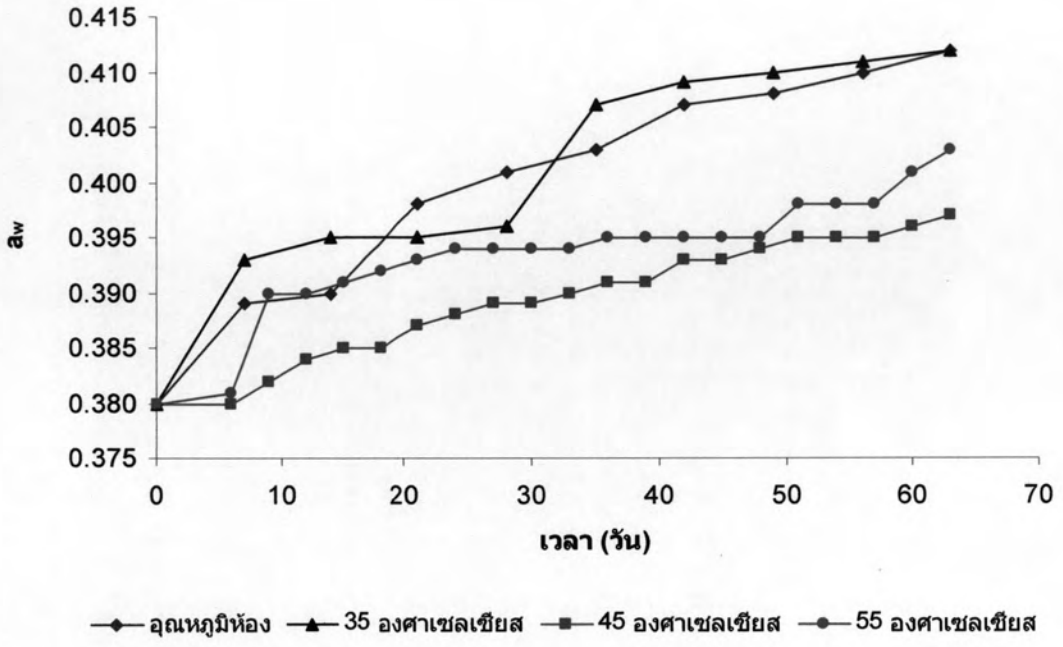
a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ: ช่วงคะแนนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสเท่ากับ 1-9 โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

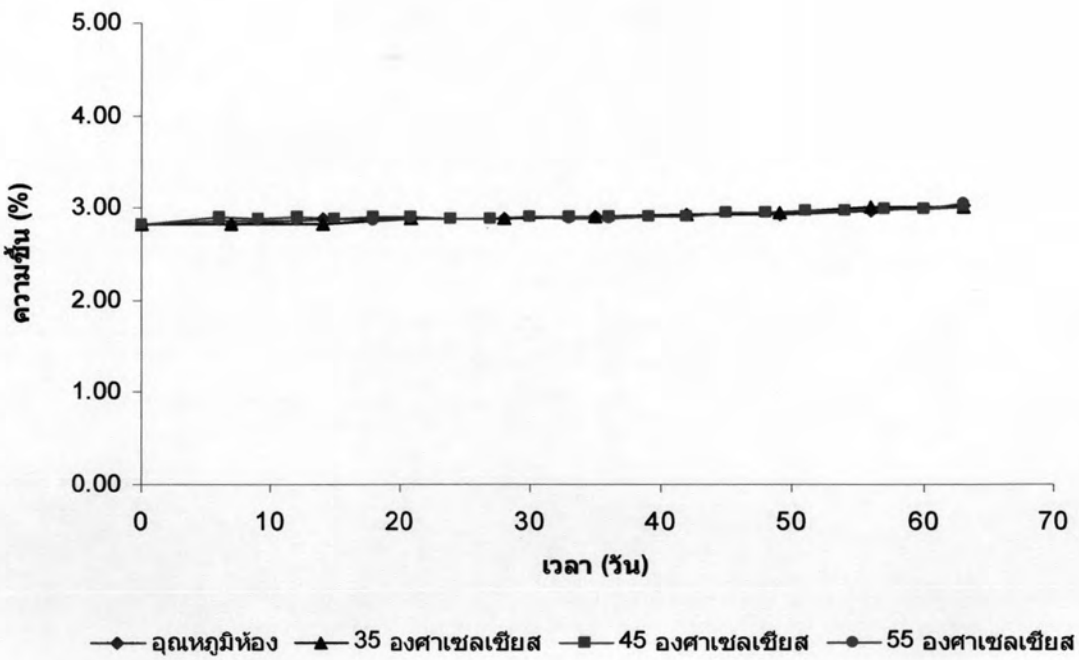
4.8 การศึกษาอายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผง

จากการศึกษาอายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผง (รูปที่ 4.4, ตารางที่ ข.11-ข.14 และ ตารางที่ จ.1-จ.4) พบว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) และ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์ มีค่า a_w เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.380-0.412 เช่นเดียวกับเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 45°C และ 55°C เป็นเวลา 63 วัน ซึ่งมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.380-0.397 และ 0.380-0.403 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น ค่า a_w มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากน้ำจะอยู่ในรูปของการรวมตัวยึดติดกับส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ในลักษณะโมเลกุลชั้นเดียว (monolayer) บนผิวหน้าอย่างหนาแน่น ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำได้น้อย ซึ่งจะเกิดในช่วงค่า a_w 0.1-0.5 โดยค่า a_w จะเพิ่มขึ้น ในขณะปริมาณความชื้นจะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (Fennema, 1985; Eskin and Robinson, 2000) ส่วนปริมาณความชื้นของเครื่องดื่มลูกเดือยผง (รูปที่ 4.5, ตารางที่ ข.11-ข.14 และ ตารางที่ จ.1-จ.4) พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C), 35°C, 45°C และ 55°C ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 2.82–3.04% ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Maillard ในระหว่างการเก็บ โดยในระหว่างการเกิดสารไกลโคซิลอะมีนหมู่เอมีนเข้าไปยึดกับ reducing sugar ในรูปของ open chain ทำให้มีน้ำเกิดขึ้น (Fennema, 1985) หรืออาจเกิดจากรอยรั่วจากการปิดผนึกด้วยภาวะสุญญากาศ ทำให้ปริมาณความชื้นของเครื่องดื่มลูกเดือยเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผสมชนิดผง (วันเพ็ญ ศิลาวานิชยกุล และอุตรานุช เปรมสมาน, 2533) และน้ำมะเขือเทศผง (เปาว์ คงสุนทรกิจกุล และคณะ, 2546) ที่พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่า L ซึ่งเป็นค่าความสว่างของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C), 35°C, 45°C และ 55°C (รูปที่ 4.6, ตารางที่ ข.11-ข.14 และ ตารางที่ จ.1-จ.4) พบว่าค่าความสว่างของเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่าเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีสีเข้มขึ้น โดยค่าความสว่างจะลดลงจาก 93.76 เป็น 92.00, 93.76 เป็น 91.87, 93.76 เป็น 91.53 และ 93.76 เป็น 89.38 เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C), 35°C, 45°C และ 55°C ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่ 55°C ลดลงมากที่สุด แสดงว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำมากขึ้น เนื่องจากมีการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (Kacem *et al.*, 1987) โดยในเครื่องดื่มลูกเดือยผงสามารถเกิดปฏิกิริยา Maillard ได้จากโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบใน

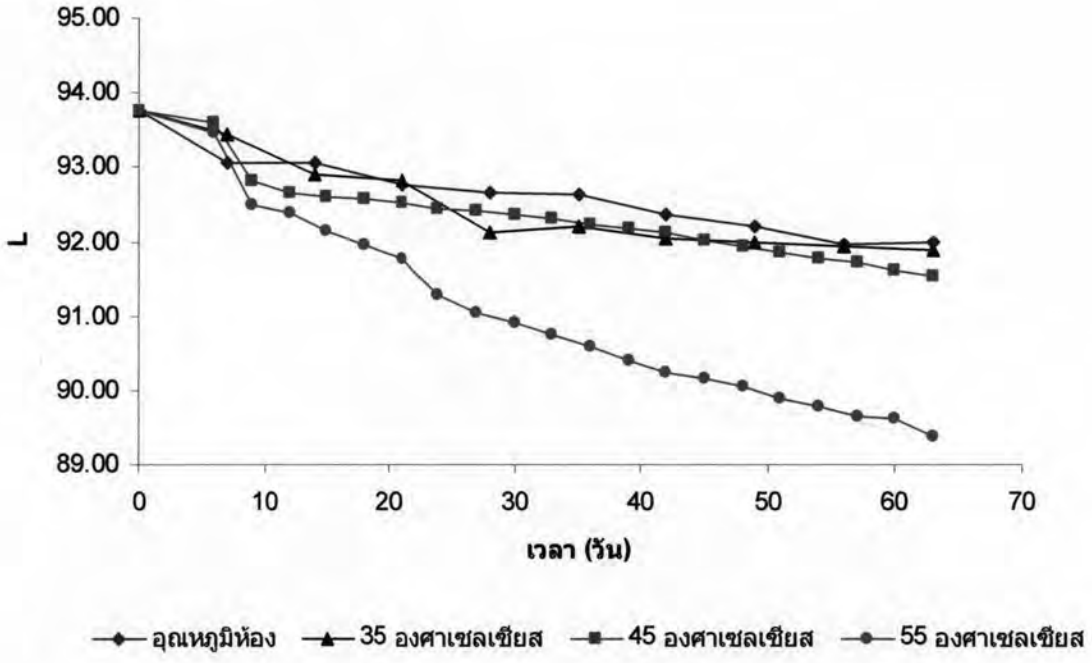


รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ

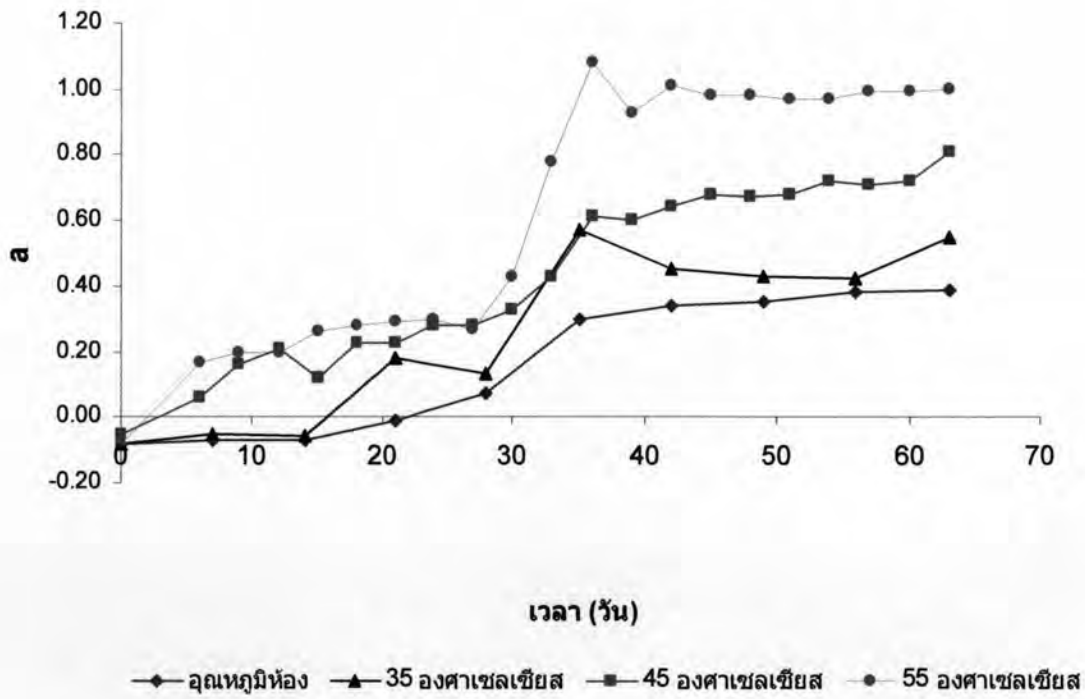
ผลิตภัณฑ์ อาจมีผลต่อสีและกลิ่นของอาหาร และอาจทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning จะขึ้นกับค่า a_w ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w และปริมาณความชื้นต่ำ จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้มาก ส่วนอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ให้เพิ่มขึ้นด้วย (Eskin and Robinson, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของพนิตา งามเชื้อชิต, นิภาพร สารเศวตร์ และ สรพัชร เสมอกาย (2548) ที่พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศผงเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความสว่างลดลง และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีเข้มหรือคล้ำมากขึ้น



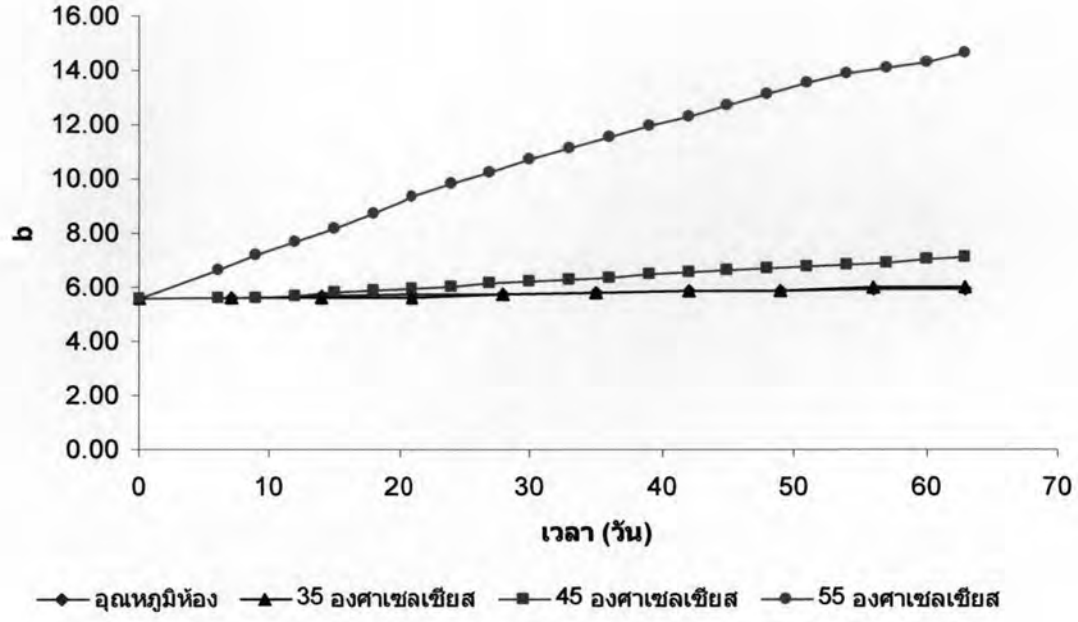
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า L ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ

ส่วนค่าสี a ซึ่งแสดงถึงสีเขียวและแดงของผลิตภัณฑ์ โดยค่าสี a ที่มีค่าเป็นลบ จะแสดงถึงผลิตภัณฑ์มีสีเขียว ส่วนค่าสี a ที่มีค่าเป็นบวก จะแสดงถึงผลิตภัณฑ์มีสีแดง (รูปที่ 4.7, ตารางที่ ข.11-ข.14 และ ตารางที่ จ.1-จ.4) พบว่า เมื่อระยะการเก็บนานขึ้น ค่าสี a ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$), $35^{\circ}C$, $45^{\circ}C$ และ $55^{\circ}C$ ค่าสี a จะเพิ่มขึ้นจาก -0.08 เป็น 0.39, -0.08 เป็น 0.55, -0.08 เป็น 0.81 และ -0.08 เป็น 1.00 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าระหว่างการเก็บเครื่องดื่มลูกเดือยผงเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี โดยมีสีแดงเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี b ที่แสดงถึงสีน้ำเงินและสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ โดยค่าสี b ที่มี

ค่าเป็นลบ แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีน้ำเงิน ส่วนค่าสี b ที่มีค่าเป็นบวก จะแสดงถึงผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง พบว่าค่าสี b ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะการเก็บนานขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C), 35°C, 45°C และ 55°C มีค่าสี b เพิ่มขึ้นจาก 5.58 เป็น 5.94, 5.58 เป็น 6.00, 5.57 เป็น 7.09 และ 5.58 เป็น 14.65 ตามลำดับ (รูปที่ 4.8, ตารางที่ ข.11-ข.14 และ ตารางที่ จ.1-จ.4) ค่าสี a และ b ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีสีแดงและสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งบ่งบอกว่ามีการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ขึ้นในระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ โดยเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C), และ 35°C มีค่าสีใกล้เคียงกัน แสดงว่ามีการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ใกล้เคียงกัน ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 55°C จะมีค่าสี a และ b สูงสุด แสดงว่ามีอัตราการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning สูงที่สุด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงและสีเหลืองมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของสรรชัย เทียมทวีสิน (2530) ที่พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บผลิตภัณฑ์นมผงนานขึ้น นมผงจะมีสีเหลือง และสีเหลืองแดงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browningในระหว่างการเก็บรักษา



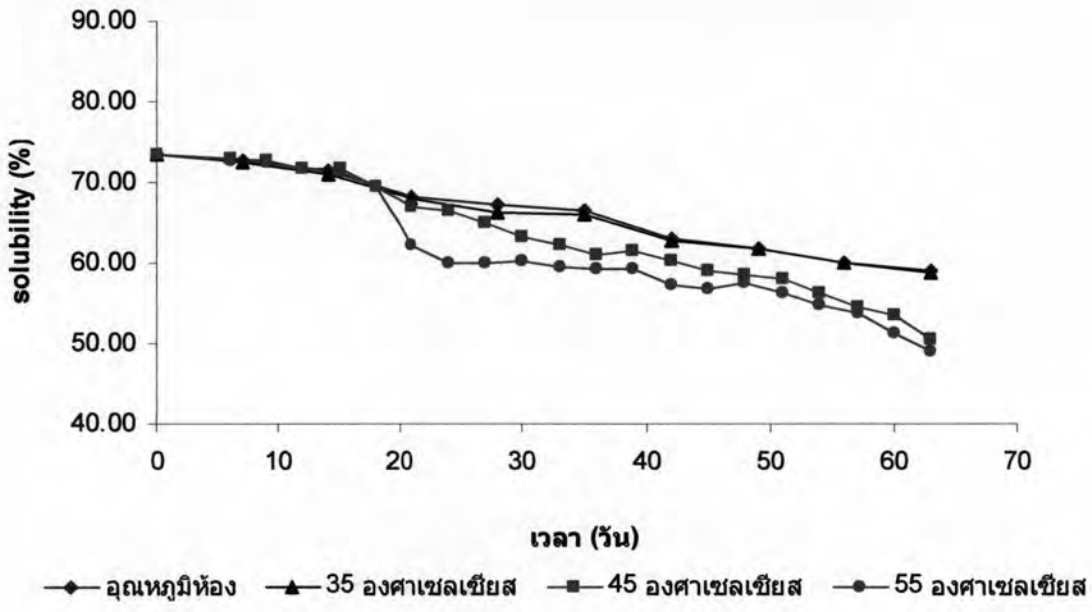
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า a ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า b ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ

จากการศึกษาค่า solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) (รูปที่ 4.9 และ ตารางที่ จ.1) พบว่า สัปดาห์ที่ 0 และ 1 ค่า solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงไม่แตกต่างกัน และ ค่า solubility จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในสัปดาห์ที่ 2 ถึง 3 และ 5 ถึง 8 ส่วนค่า solubility ในสัปดาห์ที่ 4 จะไม่แตกต่างจากสัปดาห์ที่ 3 และ 5 เมื่อเก็บเครื่องดื่มลูกเดือยผงเป็นเวลา 9 สัปดาห์ ค่า solubility จะลดลงจาก 73.59% เป็น 59.12% ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ $35^{\circ}C$ (ตารางที่ จ.2) ในสัปดาห์ที่ 0 ถึง 4 และ 6 ถึง 9 ค่า solubility จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และเมื่อเก็บเป็นเวลา 9 สัปดาห์ เครื่องดื่มลูกเดือยผงจะมีค่า solubility ลดลงจาก 73.59% เป็น 58.78% ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ $45^{\circ}C$ และ $55^{\circ}C$ (ตารางที่ จ.3 และ จ.4) ค่า solubility จะลดลงจาก 73.59% เป็น 50.65% และ 73.59% เป็น 48.89% ตามลำดับ ซึ่งค่า solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงจะลดลงไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบค่า solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่แต่ละอุณหภูมิ พบว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความสามารถในการละลายจะต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเห็นได้จากค่า solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ $55^{\circ}C$ จะต่ำที่สุด รองลงมา คือ เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ $45^{\circ}C$ และ $35^{\circ}C$ และเครื่องดื่ม

ลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีค่า solubility สูงที่สุด เนื่องจากเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผงซึ่งมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบอาจเกิดการละลาย ทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ละลายได้ยากขึ้น ทำให้ค่า solubility ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ พนิตา งามเชื้อชิต และคณะ (2548) ที่พบว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศผงไว้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ลดลง



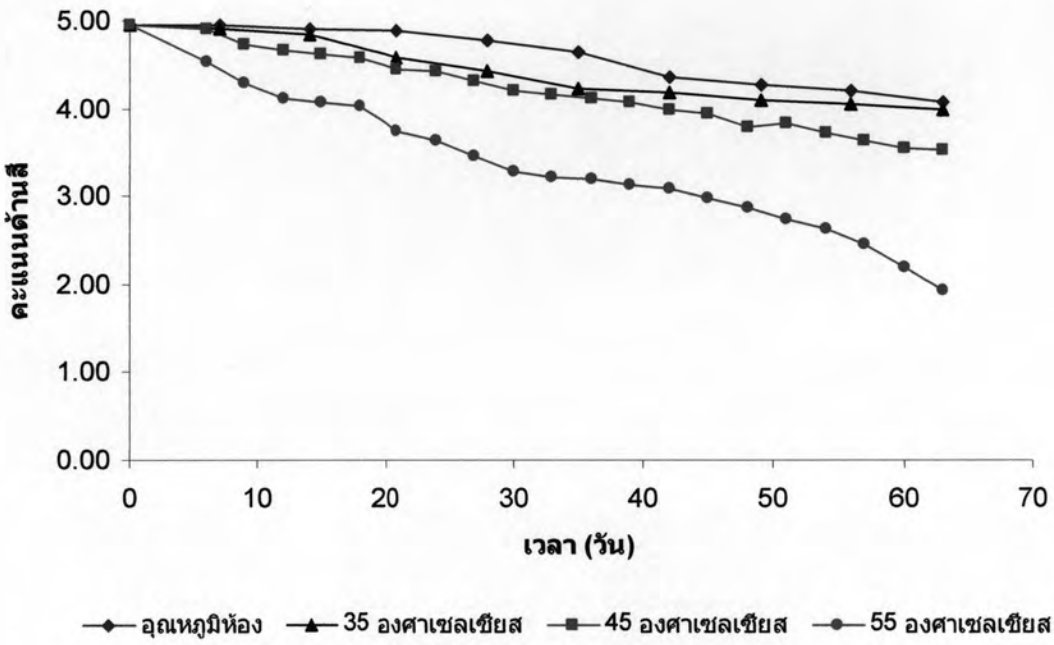
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลง solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ

เมื่อพิจารณาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (ตารางที่ จ.1-จ.4) พบว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง, 35°C, 45°C และ 55°C ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจำนวน จุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบอยู่ในช่วง 1.25×10^4 ถึง 2.25×10^4 CFU/g ซึ่งไม่เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับนมผง คือ 10^5 CFU/g เนื่องจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจายมีการใช้อุณหภูมิในการผลิตสูงมาก และได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำ ทำให้จุลินทรีย์เกิดการเจริญเติบโตได้ยาก (Chiou and Langrish, 2007) โดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตไม่ได้ที่ระดับ a_w ต่ำกว่า 0.8 (Eskin and Robison, 2000) ดังนั้นเครื่องดื่มลูกเดือยผงซึ่งมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.380-0.412 เชื้อจุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในระหว่างการเก็บ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ศุกฤตย์ ไทยอุดม (2538) ที่พบว่า น้ำบัวบกผงสำเร็จรูปชนิดละลาย

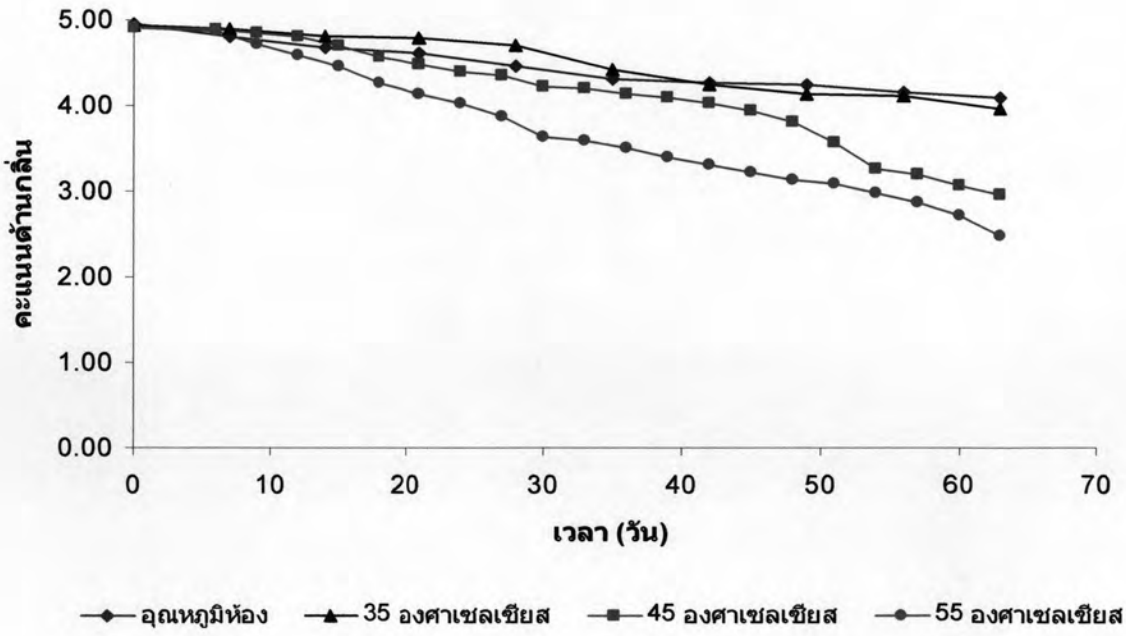
ทันทีที่เก็บไว้ที่ 35°C และ 45°C เป็นเวลา 11 สัปดาห์ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $4.15x10^3$ ถึง $5.60x10^3$ CFU/g

สำหรับการศึกษาอายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผงโดยการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านสี และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ พบว่า เมื่อเก็บเครื่องดื่มลูกเดือยผงไว้ที่อุณหภูมิห้อง และ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์ คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านสีจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.08-4.96 และ 4.00-4.96 ตามลำดับ (รูปที่ 4.10, ตารางที่ ข.15-ข.16 และ ตารางที่ จ.5-จ.6) โดยสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 3 คะแนนการประเมินผลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) หลังจากนั้นคะแนนจะลดลง และเมื่อเก็บเครื่องดื่มลูกเดือยผงเป็นเวลา 9 สัปดาห์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเพียงเล็กน้อย ซึ่งเห็นได้จากคะแนนการประเมินด้านสีอยู่ในช่วงสีขาวจนถึงสีขาวปนเหลือง ส่วนคะแนนการประเมินด้านกลิ่นจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.09-4.96 และ 3.96-4.94 (รูปที่ 4.11 และ ตารางที่ จ.5-จ.6) เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และ 35°C ตามลำดับ โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น จะได้รับคะแนนลดลง และเมื่อเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงเกิดขึ้น โดยคะแนนจะอยู่ในช่วงมีกลิ่นผิดปกติเล็กน้อย ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 45°C เป็นเวลา 63 วัน ได้รับคะแนนการประเมินด้านสีอยู่ในช่วง 3.52-4.96 (ตารางที่ ข.17 และ ตารางที่ จ.7) แสดงว่า มีการเปลี่ยนแปลงของสีของเครื่องดื่มลูกเดือยผงจากสีขาวเป็นสีขาวปนเหลืองจนถึงสีเหลือง เนื่องจากมีการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ในระหว่างการเก็บ ทำให้สีของเครื่องดื่มลูกเดือยผงเข้มขึ้น ส่วนคะแนนการประเมินด้านกลิ่น พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น จะได้รับคะแนนลดลง โดยมีคะแนนในช่วง 2.96-4.93 (ตารางที่ จ.7) แสดงว่า ระหว่างการเก็บรักษามีการเกิดกลิ่นผิดปกติขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาของไขมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w ต่ำ (Eskin and Robison, 2000) หรือปฏิกิริยา non-enzymatic browning ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ โดยสารที่ทำให้กลิ่นรสโดยรวมของผลิตภัณฑ์มีกลิ่นผิดปกติหรือกลิ่นเหม็นมักเป็นสารประกอบจำพวกอัลดีไฮด์ คีโตน และคาร์บอนิล (Minine, 1987) โดยเมื่อเวลาผ่านไป 63 วัน คะแนนการประเมินด้านกลิ่นจะอยู่ในช่วงมีกลิ่นผิดปกติปานกลาง ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 55°C พบว่า คะแนนการประเมินด้านสีอยู่ในช่วง 2.48-4.94 (ตารางที่ ข.18 และ ตารางที่ จ.8) แสดงว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีขาวจนเป็นสีเหลืองเข้มค่อนข้างมาก เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ซึ่งเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 55°C อาจเกิดปฏิกิริยานี้ได้มาก เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงซึ่งเป็นปัจจัยเร่งในการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สีของเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง, 35°C และ 45°C และคะแนนการประเมินด้านกลิ่น

จะอยู่ในช่วง 2.48-4.92 (ตารางที่ จ.8) แสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในระหว่างการเก็บรักษา และเมื่อเวลาผ่านไป 63 วัน คะแนนที่ได้รับจะอยู่ในช่วงมีกลิ่นผิดปกติค่อนข้างมากจนถึงมีกลิ่นผิดปกติปานกลาง



รูปที่ 4.10 คะแนนการประเมินด้านสีของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ



รูปที่ 4.11 คะแนนการประเมินด้านกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ

จากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผง พบว่า สมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่น เป็นปัจจัยหลักที่ใช้พิจารณาในการทำนายอายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผง โดยจำนวนผู้ทดสอบน้อยที่สุดที่ยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 45°C และ 55°C เท่ากับ 18 คน เมื่อเวลาผ่านไป 45 และ 21 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ จ.10) เมื่อนำไปคำนวณหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยการคำนวณหาค่า Q_{10} (ภาคผนวก ฉ) พบว่า อายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่อุณหภูมิห้อง (30°C) มีค่าประมาณ 20 สัปดาห์