

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การควบคุมเชื้อรา *A. flavus* ในเมล็ดข้าวโพดโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุในสภาพร้อนแห้งและร้อนชื้น โดยปลูกถ่ายเชื้อ *A. flavus* ลงบนเมล็ดข้าวโพด แล้วนำไปศึกษาการให้คลื่นความถี่วิทยุกับเมล็ดที่มีความชื้นเริ่มต้น 14% ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 3 ระดับ คือ 80, 90 และ 100 °C ในเวลา 1, 5 และ 10 นาที และศึกษาการให้คลื่นความถี่วิทยุกับเมล็ดที่มีความชื้นเริ่มต้น 25% และใช้อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 70, 80 และ 90 °C ในระยะเวลา 1, 5 และ 10 นาที เทียบกับชุดควบคุม ซึ่งเมล็ดไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ตรวจสอบการเหลือรอดของเชื้อ *A. flavus* การลดลงของความชื้นภายในเมล็ด การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนในเมล็ด การเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลส และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้ง ผลการทดลองเป็นดังนี้

4.1 การเหลือรอดของเชื้อรา *A. flavus* หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุ

ก. สภาพร้อนแห้ง

จากการใช้คลื่นความถี่วิทยุ(RF) ในระดับ 80, 90 และ 100 °C เป็นเวลา 1, 5 และ 10 นาทีกับข้าวเมล็ดโพดในสภาพความชื้นต่ำ (14%wb) พบว่าทั้ง 3 อุณหภูมิให้ผลต่างกันโดยที่อุณหภูมิต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์การเหลือรอดของเชื้อ *A. flavus* มากที่สุด และลดลงตามลำดับเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (ตารางที่ 4.1) ระยะเวลาในการให้ความร้อน 1 นาที จะมีเชื้อเหลือรอดมากกว่าระยะเวลา 5 และ 10 นาที ซึ่ง 2 ระยะเวลาหลังให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ

โดยภาพรวมการให้ความร้อน 100 °C นาน 10 นาที จะมีเชื้อเหลือรอด 0.56% ในขณะที่การใช้อุณหภูมิ 80 °C นาน 1 นาที จะมีเชื้อเหลือรอดสูงสุด 7.04% และตารางที่ 4.1 บอกให้รู้ว่าผลของอุณหภูมิ 90°C และ 100°C ไม่แตกต่างกันทางสถิติต่อการเหลือรอดของเชื้อ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีเชื้อเริ่มต้นอยู่ 100% พบว่า ในทุกกรรมวิธีสามารถกำจัดเชื้อได้ดี อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.2) จากการศึกษการใช้ RF ในสภาพร้อนแห้ง ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการกำจัดเชื้อรา *A. flavus*

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การเหลือรอดของเชื้อรา *A. flavus* ภายหลังจากการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนแห้ง

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
80 °C	7.04	4.16	3.47	4.89 A
90 °C	2.61	1.99	0.78	1.80 B
100 °C	1.29	0.99	0.56	0.95 B
ค่าเฉลี่ยเวลา	3.65 A	2.38 B	1.60 B	
C.V. (%)				76.97

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.2 การเหลือรอดของเชื้อรา *A. flavus* ภายหลังจากการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนแห้ง

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อ
80 °C	1 นาที	7.04*
	5 นาที	4.16*
	10 นาที	3.47*
90 °C	1 นาที	2.61*
	5 นาที	1.99*
	10 นาที	0.78*
100 °C	1 นาที	1.29*
	5 นาที	0.99*
	10 นาที	0.56*
ชุดควบคุม		100.00

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ก. สภาพร้อนชื้น

จากการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RF) ในระดับ 70, 80 และ 90 °C เป็นเวลา 1, 5 และ 10 นาที กับข้าวเมล็ดโพดในสภาพความชื้นสูง (25%wb) พบว่าทั้ง 3 อุณหภูมิให้ผลต่างกันโดยที่อุณหภูมิต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์การเหลือรอดของเชื้อ *A. flavus* มากที่สุด และลดลงตามลำดับเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (ตารางที่ 4.3) ระยะเวลาในการให้ความร้อน 1 นาที จะมีเชื้อเหลือรอดมากกว่าระยะเวลา 5 และ 10 นาที ซึ่งทั้ง 2 เวลาหลังให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับที่แบบในสภาพร้อนแห้ง

ที่ความร้อน 90 °C นาน 10 นาที จะมีเชื้อเหลือรอด 0.00% ในขณะที่การใช้อุณหภูมิ 70 °C นาน 1 นาที จะมีเชื้อเหลือรอดสูงสุด 2.80% อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีเชื้อเริ่มต้นอยู่ 100% พบว่า ในทุกกรณีวิธีสามารถกำจัดเชื้อได้ดี อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.4)

จากการศึกษาการใช้ RF ในสภาพร้อนชื้น ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการกำจัดเชื้อรา *A. flavus* เช่นเดียวกันกับในสภาพร้อนแห้ง

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การเหลือรอดของเชื้อรา *A. flavus* ภายหลังจากการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนชื้น

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
70 °C	2.80	1.16	1.05	1.67A
80 °C	0.90	0.27	0.12	0.43B
90 °C	0.27	0.11	0.00	0.13B
ค่าเฉลี่ยเวลา	1.32 A	0.52 B	0.39 B	
C.V. (%)				146.04

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.4 การเหลือรอดของเชื้อรา *A. flavus* ภายหลังจากการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนขึ้น

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อ
70 °C	1 นาที	2.80*
	5 นาที	1.16*
	10 นาที	1.05*
80 °C	1 นาที	0.90*
	5 นาที	0.27*
	10 นาที	0.12*
90 °C	1 นาที	0.27*
	5 นาที	0.11*
	10 นาที	0.00*
ชุดควบคุม		100.00

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการทดลองให้คลื่น RF ในสภาพร้อนแห้งและร้อนชื้น พบว่าการให้ RF แบบร้อนแห้ง เมื่อให้ความร้อนสูง 100°C เป็นเวลานานาน 10 นาทีสามารถลดเชื้อได้ดีที่สุด ให้เหลือเพียง 0.56% แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดให้หมดไปได้ แต่การให้ RF ในสภาพร้อนชื้น ให้ผลในการกำจัดเชื้อได้ดีสามารถทำให้เมล็ดปลอดเชื้อ *A. flavus* ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลานานาน 10 นาที การลดลงของเชื้อทั้ง 2 การทดลองมีผลมาจากระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ให้ RF เช่นเดียวกับการงานทดลองของ กรกิตต์ (2552) ที่ให้ความร้อนและระยะเวลาต่างๆกับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเพื่อการลดเชื้อ *A. flavus* แต่ไม่สามารถกำจัดเชื้อให้หมดไปได้ เนื่องจากเมล็ดมีความชื้นต่ำพลังงานจาก RF ที่ถ่ายทอดสู่เมล็ดทำให้เกิดความร้อนในสภาพร้อนแห้งมีผลต่อการกำจัดเชื้อที่ปนเปื้อนมากับเมล็ดน้อย จึงไม่สามารถกำจัดเชื้อให้หมดไปได้ ปรัชญาและคณะ (2549) ได้เสนองานทดลองที่เกี่ยวกับระดับความชื้นภายในเมล็ดที่มีผลต่อกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้ RF ใน

การกำจัดเชื้อ *F. semitectum* ซึ่งพบว่าที่ความชื้นสูงสามารถกำจัดเชื้อได้ดีกว่า เนื่องจากการเป็น dielectric power ของ RF คือพลังงานจะผ่านเข้าไปได้ต้องมีตัวกลางในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน Guo et al. (2008) และ Sacilik et al. (2007) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นภายในเมล็ดและระดับอุณหภูมิต่อการดูดซับพลังงานจาก RF กล่าวว่า ความชื้นในเมล็ดสูงสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่า ทำให้เมล็ดได้รับอุณหภูมิได้ดีกว่าในเมล็ดที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งในเมล็ดพืชต่าง ๆ มีน้ำเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่ เมื่อนำมาใช้ในการกำจัดเชื้อราในข้าวโพดสามารถลดจำนวนเชื้อลงได้ ซึ่งให้ผลดีกว่าการให้ RF ในข้าวโพดที่มีระดับความชื้นในเมล็ดต่ำ ทะนง (2524) รายงานว่า ความร้อนชื้นมีผลต่อการการทำลายเชื้อได้ดีกว่าความร้อนแห้งหลายสิบเท่า และในวัตถุแห้งจะต้องใช้ความร้อนเพื่อการทำเชื้อสูงกว่าและใช้เวลานานกว่าวัตถุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากด้วยเช่นกัน

4.2 การวัดการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ดหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุ

ก. สภาพร้อนแห้ง

เมื่อนำเมล็ดไปหาค่าความชื้นภายในหลังจากให้ RF ในสภาพร้อนแห้งที่กรรมวิธีต่างๆ พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการลดลงของความชื้นภายในเมล็ด เมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นภายในเมล็ดก็จะลดลง โดยที่อุณหภูมิ 100 °C ความชื้นเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 12.61% ซึ่งแตกต่างจากอุณหภูมิที่ 80 และ 90 °C (ตารางที่ 4.5)

ระยะเวลาของการให้ RF มีผลต่อการลดลงของความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เช่นเดียวกับที่เวลา 10 นาทีความชื้นเฉลี่ยลดลงสูงสุดเหลือเพียง 12.67% ใกล้เคียงกับการให้ RF เป็นเวลา 5 นาที (12.92%) ส่วนการให้ RF เป็นเวลา 1 นาทีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 13.06%

การให้ความร้อนเพิ่มขึ้นในระยะเวลาที่นานขึ้นมีแนวโน้มทำให้ความชื้นภายในเมล็ดลดลงเรื่อยๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 อย่างไรก็ตามพบว่าอุณหภูมิและเวลาไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน

ในทุกกรรมวิธีการทดลองมีความชื้นลดลงแตกต่างจากชุดควบคุม ซึ่งมีความชื้นเฉลี่ย 14.05%

ตารางที่ 4.5 ผลของการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพพร้อมแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ด

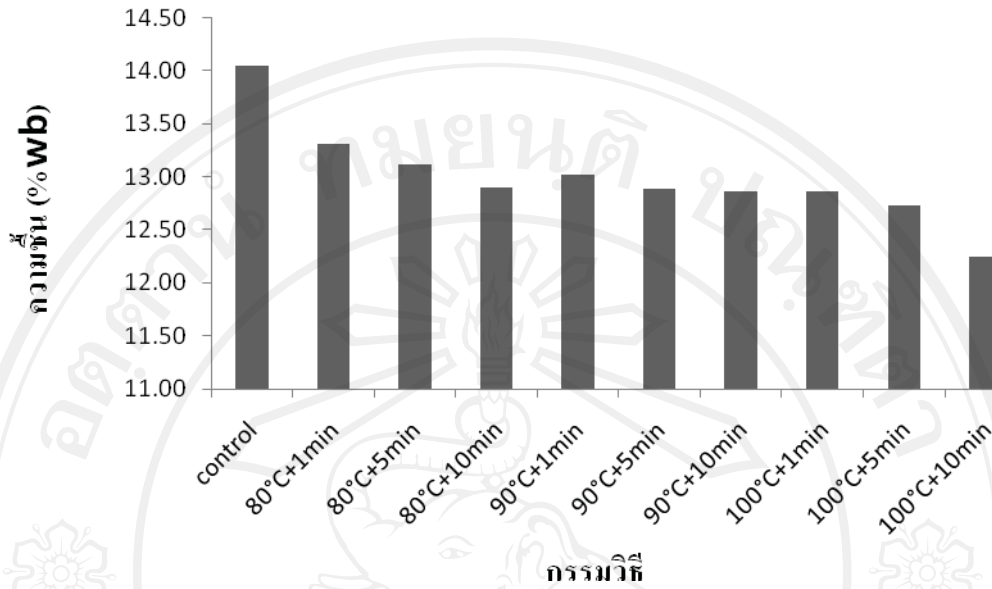
อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
80 °C	13.31	13.12	12.90	13.11 A
90 °C	13.02	12.89	12.86	12.92 A
100 °C	12.86	12.74	12.24	12.61 B
ค่าเฉลี่ยเวลา	13.06 A	12.92 AB	12.67 B	
C.V. (%)	4.60			

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.6 ผลของการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพพร้อมแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ดเทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	ความชื้นในเมล็ด (%wb)
80 °C	1 นาที	13.31*
	5 นาที	13.12*
	10 นาที	12.90*
90 °C	1 นาที	13.02*
	5 นาที	12.89*
	10 นาที	12.86*
100 °C	1 นาที	12.86*
	5 นาที	12.74*
	10 นาที	12.24*
ชุดควบคุม		14.05

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ดหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุในสภาพร้อนแห้ง

ก. สภาพร้อนชื้น

เมื่อนำเมล็ดไปหาค่าความชื้นภายหลังจากที่ให้ RF ในสภาพร้อนชื้น การเพิ่มเวลา มีผลทำให้ความชื้นลดลงว่าการเพิ่มอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ยของความชื้นที่เวลา 1, 5 และ 10 นาที เท่ากับ 24.14, 23.75 และ 23.50% ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยความชื้นที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 °C มีค่าเท่ากับ 24.0, 23.76 และ 23.63% (ตารางที่ 4.7)

ในทุกกรรมวิธีมีความชื้นลดลงแตกต่างจากชุดควบคุมที่มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 25.14% (ตารางที่ 4.8) เมื่อผ่านกรรมวิธีต่างๆจะพบว่าความชื้นมีแนวโน้มลดลงดังภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.7 ผลของการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ด

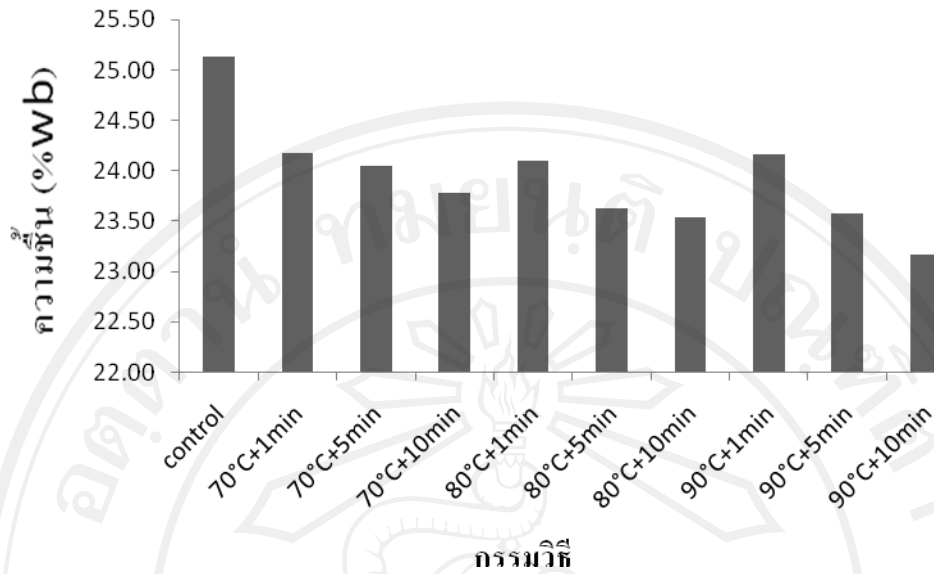
อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
70 °C	24.17	24.05	23.78	24.00 A
80 °C	24.10	23.63	23.54	23.76 AB
90 °C	24.16	23.57	23.17	23.63 B
ค่าเฉลี่ยเวลา	24.14 A	23.75 B	23.50 B	
C.V. (%)	2.32			

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.8 ผลของการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ดเทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	ความชื้นในเมล็ด (%wb)
70 °C	1 นาที	24.17*
	5 นาที	24.05*
	10 นาที	23.78*
80 °C	1 นาที	24.10*
	5 นาที	23.63*
	10 นาที	23.54*
90 °C	1 นาที	24.16*
	5 นาที	23.57*
	10 นาที	23.17*
ชุดควบคุม		25.14

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ดหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุในสภาพร้อนชื้น

ทั้งสองการทดลองสามารถอธิบายถึงการสูญเสียความชื้นได้ว่า เมล็ดมีน้ำเป็นองค์ประกอบภายใน เมื่อเมล็ดได้รับความร้อน ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังบริเวณผิวเกิดการระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่สถานะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าเมล็ดต่ำกว่าความดันไอด้านใน เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ ภายในเมล็ดชั้นด้านในจะมีความดันไอสองและค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อความดันไอน้ำในเมล็ดเข้าไปใกล้ความดันไอบรรยากาศ ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากเมล็ด ตัวเมล็ดเองก็เป็น hygroscopic กล่าวคือเมล็ดสามารถดูดหรือคายความชื้น จนกระทั่งเข้าสู่สมดุลกับบรรยากาศโดยรอบ (Hall, 1980) ความร้อนที่ได้จาก RF ทำให้น้ำภายในเมล็ดระเหยออกมา เมื่อใช้เวลานานการให้ RF นานขึ้นเท่าไร ปริมาณน้ำในเมล็ดก็ยิ่งระเหยออกมามากเท่านั้น ทั้งนี้พลังงานที่เมล็ดได้รับจากคลื่นยังขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นภายในเมล็ดอีกด้วย เมล็ดที่มีความชื้นสูงสามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นได้มากกว่าเมล็ดที่มีความชื้นต่ำ จึงเป็นเรื่องง่ายที่เมล็ดที่มีความชื้นสูงจะได้รับความร้อนจากพลังงานเร็วกว่า และลดความชื้นได้ดีกว่า เมล็ดที่มีความชื้นต่ำ (Sacilik *et al.*, 2007) ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้ RF เพื่อลดความชื้นในเมล็ดพืชต่างๆ เช่น Jumah (2005) ที่ได้ตัดแปลงการอบแห้งแบบ Fluidized bed ร่วมกับการใช้ RF ซึ่งให้ผลในการลดความชื้นกับเมล็ดพืชได้เป็นอย่างดี

4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนภายในเมล็ดหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุ

ก. สภาพร้อนแห้ง

จากการทดลองในสภาพร้อนแห้งพบว่าปริมาณ โปรตีนโดยรวมที่วัดได้เมื่อผ่านกรรมวิธีต่างๆ ผลจากระยะเวลาและอุณหภูมิไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณ โปรตีนโดยรวมภายในเมล็ดข้าวโพดแต่อย่างใด (ตารางที่ 4.9) เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดที่ไม่ผ่านกระบวนการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.51% ส่วนปริมาณโปรตีนทั้งหมดที่วัดได้ในแต่ละกรรมวิธีมีค่าอยู่ระหว่าง 10.46%-11.57% (ตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.3)

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพด หลังจากให้ RF ในสภาพร้อนแห้ง

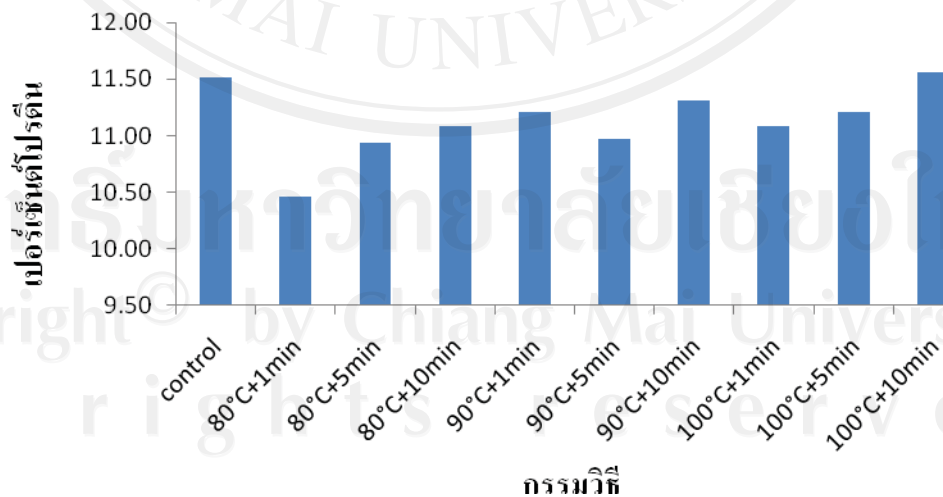
อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
80 °C	10.46	10.93	11.08	10.82 ^{ns}
90 °C	11.21	10.97	11.31	11.17 ^{ns}
100 °C	11.08	11.21	11.57	11.29 ^{ns}
X เวลา	10.92 ^{ns}	11.04 ^{ns}	11.32 ^{ns}	
C.V. (%)			8.05	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.10 ผลของการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนเทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	ความชื้นในเมล็ด (%wb)
80 °C	1 นาที	10.46 ^{ns}
	5 นาที	10.93 ^{ns}
	10 นาที	11.08 ^{ns}
90 °C	1 นาที	11.21 ^{ns}
	5 นาที	10.97 ^{ns}
	10 นาที	11.31 ^{ns}
100 °C	1 นาที	11.08 ^{ns}
	5 นาที	11.21 ^{ns}
	10 นาที	11.57 ^{ns}
ชุดควบคุม		11.51

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนในเมล็ดหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุในสภาพร้อนแห้ง

ข. สภาพร้อนขึ้น

ระดับอุณหภูมิจาก RF ที่ใช้ในการทดลองในสภาพร้อนขึ้น ไม่มีผลทำให้เมล็ดเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนทั้งหมด เช่นเดียวกับระยะเวลาที่ใช้ ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้ปริมาณโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.11) แตกต่างจากชุดควบคุม โดยชุดควบคุมมีปริมาณโปรตีนเริ่มต้นอยู่ที่ 11.67% เมื่อผ่านกระบวนการต่างๆแล้ว ปริมาณโปรตีนจะอยู่ระหว่าง 11.18-12.60% (ตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.4)

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดหลังการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้น

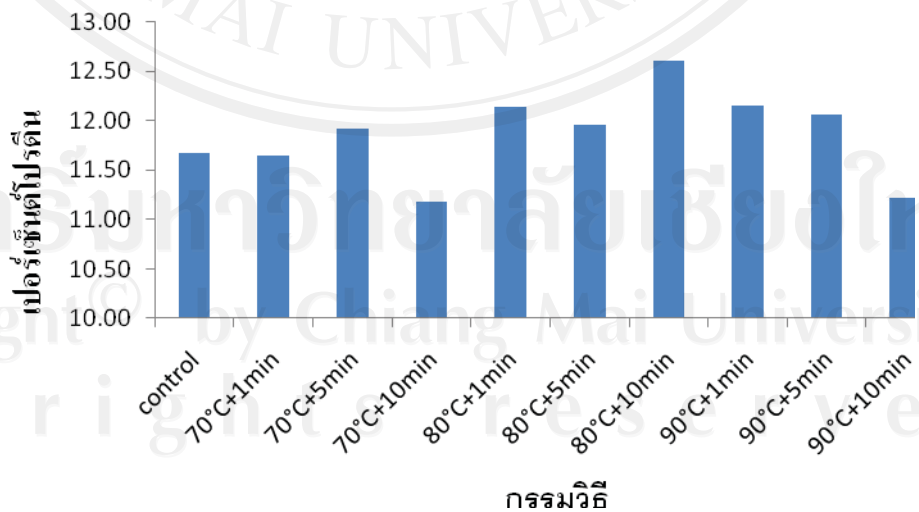
อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
70 °C	11.65	11.91	11.18	11.58 ^{ns}
80 °C	12.14	11.9	12.60	12.23 ^{ns}
90 °C	12.16	12.06	11.22	11.81 ^{ns}
X เวลา	11.98 ^{ns}	11.97 ^{ns}	11.67 ^{ns}	
C.V. (%)				14.33

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.12 ผลของการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	ความชื้นในเมล็ด (%wb)
70 °C	1 นาที	11.65 ^{ns}
	5 นาที	11.91 ^{ns}
	10 นาที	11.18 ^{ns}
80 °C	1 นาที	12.14 ^{ns}
	5 นาที	11.95 ^{ns}
	10 นาที	12.60 ^{ns}
90 °C	1 นาที	12.16 ^{ns}
	5 นาที	12.06 ^{ns}
	10 นาที	11.22 ^{ns}
ชุดควบคุม		11.67

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ โปรตีนภายในเมล็ดหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุในสภาพร้อนชื้น

จากการทดลองเมื่อให้ RF ที่สภาพร้อนแห้งและร้อนชื้นพบว่าปริมาณโปรตีนโดยรวมที่วัดได้ไม่มีความเปลี่ยนแปลงในทุกกรรมวิธี แม้ว่าข้าวโพดจะมีสภาพความชื้นที่แตกต่างกันเมื่อได้รับพลังงานจาก RF ไม่มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปแตกต่างจากชุดควบคุม ทั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองของกรกิตต์ (2552) ซึ่งพบว่า เมื่อทำการทดลองให้ RF กับข้าวเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ โปรตีนโดยรวมที่วัดได้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลดลงแต่อย่างใด เนื่องจากการดูดซับพลังงานจาก RF ในเมล็ดข้าวโพดไม่เพียงพอที่จะไปกระตุ้นจนทำให้องค์ประกอบเคมีภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการเสื่อมสลายได้

4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสภายในเมล็ดหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุ

ก. สภาพร้อนแห้ง

จากการทดลองพบว่าในสภาพเมล็ดที่มีความชื้นต่ำทั้งอุณหภูมิและเวลามีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสที่อุณหภูมิ 90 °C ขึ้นไปจะทำให้ปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนระยะเวลาการให้ความร้อนที่นานขึ้นทำให้ปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.13) แต่จะเห็นชัดเมื่อให้ความร้อนนาน 10 นาที

ปริมาณอะไมโลสของข้าวโพดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าเฉลี่ย 24.41% เมื่อผ่านการให้ความร้อน 90 °C นาน 10 นาที หรือให้ความร้อน 100 °C ตั้งแต่ 5 นาทีขึ้นไปจะทำให้ปริมาณอะไมโลสสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.5)

ตารางที่ 4.13 ผลของการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลส

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
80 °C	24.54	24.71	24.42	24.57B
90 °C	24.71	25.32	25.75	25.26A
100 °C	24.97	25.63	25.89	25.50A
X เวลา	24.74B	25.22AB	25.35A	
C.V. (%)			2.59	

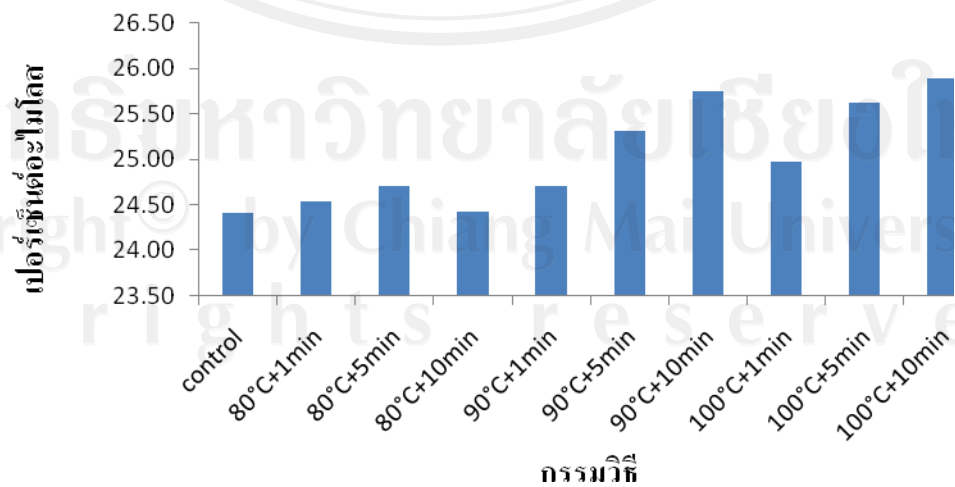
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.14 ผลของการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงอะไมโลส
เทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	อะไมโลส(%)
80 °C	1 นาที	24.54 ^{ns}
	5 นาที	24.71 ^{ns}
	10 นาที	24.42 ^{ns}
90 °C	1 นาที	24.71 ^{ns}
	5 นาที	25.32 ^{ns}
	10 นาที	25.75*
100 °C	1 นาที	24.97 ^{ns}
	5 นาที	25.63*
	10 นาที	25.89*
ชุดควบคุม		24.41

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสภายในเมล็ดหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุในสภาพร้อนแห้ง

ข. สภาพร้อนขึ้น

จากการทดลองพบว่าเมื่อให้ความร้อนที่ระยะเวลาต่างๆเมล็ดมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม แต่ไม่แตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธี (ตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16)

เมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นสูงเมื่อผ่านกระบวนการดังกล่าว มีผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอะไมโลสภายในเมล็ดให้สูงขึ้น (ตารางที่ 4.16) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา

ภายใต้สภาพเมล็ดที่มีความชื้นสูงเมื่อนำมาผ่าน RF ในแต่ละกรรมวิธีมีผลทำให้ปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นแตกต่างจากชุดควบคุมที่มีปริมาณอะไมโลสอยู่เพียง 24.28% (ตารางที่ 4.16) ปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 25.15-25.58% จากภาพที่ 4.6 จะเห็นว่าปริมาณอะไมโลสชุดควบคุมต่ำกว่าเมล็ดที่ผ่านกรรมวิธีอย่างมาก อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาของการให้ความร้อนมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะไมโลสไม่แตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธี (ตารางที่ 4.16) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเกิด gelatinization ในเมล็ดตั้งแต่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อ 4.5

ตารางที่ 4.15 ผลของการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลส

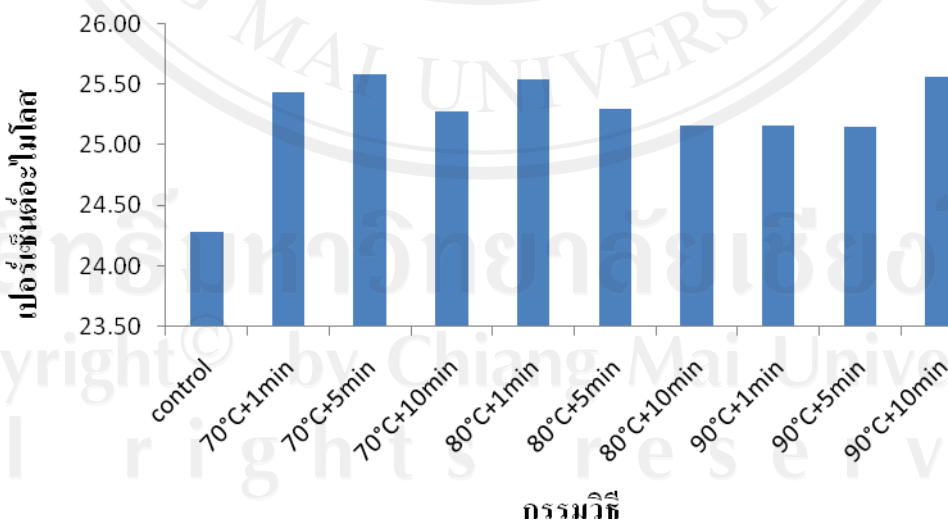
อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
70 °C	25.44	25.58	25.28	25.43 ^{ns}
80 °C	25.54	25.29	25.16	25.33 ^{ns}
90 °C	25.15	25.15	25.56	25.29 ^{ns}
X เวลา	25.38 ^{ns}	25.34 ^{ns}	25.33 ^{ns}	
C.V. (%)			1.90	

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.16 ผลของการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพร้อนชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงอะไมโลส เทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	อะไมโลส(%)
70 °C	1 นาที	25.44*
	5 นาที	25.58*
	10 นาที	25.28*
80 °C	1 นาที	25.54*
	5 นาที	25.29*
	10 นาที	25.16*
90 °C	1 นาที	25.15*
	5 นาที	25.15*
	10 นาที	25.56*
ชุดควบคุม		24.28

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะไมโลสภายในเมล็ดหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุในสภาพร้อนชื้น

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นสูง เมื่อได้รับความร้อนจาก RF จะทำให้ปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นได้ง่ายกว่าในข้าวโพดที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งเมล็ดที่มีความชื้นต่ำต้องได้รับอุณหภูมิสูงและระยะเวลาที่นานกว่า จึงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ที่ความชื้นสูงอะไมโลสเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าแม้จะได้รับอุณหภูมิต่ำและระยะเวลาที่สั้น ใจทิพย์และคณะ (2546) ได้ทำการศึกษากรรมวิธีในการเพิ่มคุณภาพข้าว โดยใช้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ความชื้นสูง 20% ออบในสภาพต่างๆ พบว่า เมื่อนำข้าวไปอบในตู้อบที่มีไอน้ำที่อุณหภูมิ 60°C นาน 40 นาที มีการเพิ่มขึ้นของอะไมโลส คล้ายกับการทดลองในสภาพพร้อมขึ้น มีการรายงานในการเพิ่มขึ้นของอะไมโลสจากการทดลองในสภาพพร้อมแห้งเช่นเดียวกับของณคณิน (2551) ที่พบว่า เมื่อทำการทดลองให้ RF กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ความชื้น 14% ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 40-60°C นาน 3 นาที เปอร์เซ็นต์อะไมโลสมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอะไมโลสที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ว่า แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิ่งไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิเจลลิ่งไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว อะไมโลสซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่า เมื่อโดนความร้อนอะไมโลสที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเกลียวของอะไมโลเพกตินอาจเกิดการแตกออกมา (อรอนงค์, 2532) เมื่อวัดปริมาณด้วยการทำปฏิกิริยากับสารเชิงซ้อนไอโอดีน จึงทำให้ปริมาณของอะไมโลสที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น

4.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งภายในเมล็ดภายหลังการให้ RF

ก. สภาพพร้อมแห้ง

1) Peak viscosity

ค่า peak viscosity เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความหนืดของแป้งภายในเมล็ดจากการทดลองพบว่า ค่า peak viscosity ของแป้งที่มาจากเมล็ดที่ผ่านความร้อนกรรมวิธีต่างๆ ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม (ตารางที่ 4.18) โดยในชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 846 cP (centripoise) เมื่อผ่านกรรมวิธีต่างๆ ค่า peak viscosity จะอยู่ระหว่าง 750.20-832.20 cP (centripoise) (ตารางที่ 4.18) ค่า peak viscosity มีความเกี่ยวข้องกับปริมาณอะไมโลสในเมล็ด ปริมาณอะไมโลสที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ค่า peak viscosity ที่ได้จากการวิเคราะห์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน จากวิเคราะห์ที่ผ่านมา พบว่า ที่กรรมวิธีการให้ RF ที่ 90 °C นาน 10 นาที และที่ 100 °C นาน 5 และ 10 นาที มีปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มสูงจากชุดควบคุม แต่เมื่อพิจารณาค่า peak viscosity ที่วิเคราะห์ได้พบว่า อะไมโลสที่สูงขึ้นไม่

ทำให้ค่า peak viscosity แตกต่างกับจากการทดลองในกรรมวิธีอื่นๆ และชุดควบคุม แสดงว่าความร้อนและระยะเวลาดังกล่าวเมื่อให้กับเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นต่ำก็ไม่ทำให้ความหนืดของแป้งเปลี่ยนไป

2. pasting temperature

อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature) เป็นอุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด เนื่องจากเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำและพองตัว น้ำบริเวณรอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดความหนืดขึ้นเรียกว่าการเกิดกระบวนการเจลลาคีโนซิส ในการทดลองนี้ พบว่า เมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการให้ RF ทุกกรรมวิธีมีอุณหภูมิการเข้าสู่กระบวนการเจลลาคีโนซิส ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ใช้อุณหภูมิในการเข้าสู่กระบวนการดังกล่าวเท่ากับ 77.44°C (ตารางที่ 4.20) และทุกกรรมวิธีให้ผลไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ซึ่งแสดงว่าปริมาณความชื้นในเมล็ดมีไม่มากพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการเจลลาคีโนซิส

3. Pasting time

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าการใช้อุณหภูมิ 80-100°C และเวลา 1-10 นาที ไม่มีผลทำให้ค่า pasting temperature ของแป้งจากเมล็ดที่ผ่านกรรมวิธีแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.21) ระยะเวลาที่น้ำแป้งเกิดเจลลาคีโนซิสของชุดควบคุมและของน้ำแป้งที่มาจากเมล็ดที่ผ่านการให้ RF ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันคือ ในชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 3.31 นาที ส่วนในชุดที่ผ่านกรรมวิธีมีค่าเฉลี่ย 3.23-3.27 นาที (ตารางที่ 4.22)

4. Final Viscosity

ค่า final viscosity เป็นความหนืดที่เกิดจากการเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้ง ภายหลังจากที่ได้ลดอุณหภูมิลง ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 4.23 พบว่า อุณหภูมิที่เกิดจากการทดลองมีผลทำให้ค่า final viscosity ลดลง โดยที่อุณหภูมิ 90 °C ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,129.60 cp ส่วนที่อุณหภูมิ 80°C และ 100°C ให้ผลไม่แตกต่างกัน ส่วนระยะเวลาที่ให้นั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า final viscosity แต่เมื่อนำค่าที่ได้ในแต่ละกรรมวิธีมาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมพบว่า ในทุกกรรมวิธีมีผลทำให้ค่า final viscosity ลดลง (ตารางที่ 4.24) แสดงว่าอะไมโลสบางส่วนที่หลุดออกมาหลังจากได้รับความร้อนแล้วไม่สามารถเรียงตัวใหม่ได้

5. Setback

setback คือการคืนตัวของเม็ดแป้ง ค่าที่ได้มาจากผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด ค่า setback สอดคล้องกับค่า final viscosity เมื่อค่า final viscosity เกิดการเปลี่ยนแปลง จะทำให้ค่า setback เปลี่ยนไปด้วย จากการทดลองพบว่าผลจากความร้อนที่ให้กับเมล็ดข้าวโพดมีผลทำให้ค่า setback ลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่ผลจากเวลาไม่ทำให้ค่า setback เปลี่ยนแปลงดัง

ตารางที่ 4.25 แต่เมื่อนำค่าที่ได้มาเทียบกับชุดควบคุม พบว่าในทุกกรรมวิธีมีผลทำให้ค่า setback ลดลง โดยที่ชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 937.60 cp แต่เมื่อผ่านกรรมวิธีต่างๆค่าจะอยู่ระหว่าง 535.20-677.80 cp (ตารางที่ 2.6) ค่า setback ที่ลดลงเป็นผลมาจากการลดลงของค่า final viscosity ด้วยเช่นกัน

6. Holding strength

Holding strength เป็นค่าความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการลดอุณหภูมิให้เหลือเพียง 50°C ภายหลังจากที่น้ำแป้งได้รับความร้อน 95°C เม็ดแป้งจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่หลังจากการแตกตัว จากการทดลองอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า holding strength โดยที่อุณหภูมิ 90°C ทำให้ค่าลดลงต่ำสุดเหลือเพียง 587.13 cp ส่วนที่ 80°C และ 100°C ให้ผลไม่ต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาที่ได้รับจากการทดลองพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า holding strength (ตารางที่ 4.28) ทำการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมในทุกกรรมวิธีไม่ทำให้ค่าเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากชุดควบคุมแต่อย่างใด

ตารางที่ 4.17 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Peak viscosity ความหนืดของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
80 °C	781.20	750.20	741.00	757.47 ^{ns}
90 °C	751.40	762.00	751.40	754.93 ^{ns}
100 °C	802.60	826.80	832.20	820.53 ^{ns}
X เวลา	778.40 ^{ns}	779.67 ^{ns}	774.87 ^{ns}	
C.V. (%)			11.50	

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.18 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Peak ความหนืดของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA เทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	Peak viscosity (cP, centripoise)
80 °C	1 นาที	781.20 ^{ns}
	5 นาที	750.20 ^{ns}
	10 นาที	741.00 ^{ns}
90 °C	1 นาที	751.40 ^{ns}
	5 นาที	762.00 ^{ns}
	10 นาที	751.40 ^{ns}
100 °C	1 นาที	802.60 ^{ns}
	5 นาที	826.80 ^{ns}
	10 นาที	832.20 ^{ns}
ชุดควบคุม		846.20

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.19 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pasting temperature ความหนืดของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
80 °C	77.28	77.43	77.10	77.27 ^{ns}
90 °C	77.45	76.95	77.44	77.28 ^{ns}
100 °C	77.46	77.27	77.17	77.30 ^{ns}
X เวลา	77.40 ^{ns}	77.21 ^{ns}	77.24 ^{ns}	
C.V. (%)			0.63	

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.20 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pasting temperature ความหนืดของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA เทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	pasting temperature (°C)
80 °C	1 นาที	77.28 ^{ns}
	5 นาที	77.43 ^{ns}
	10 นาที	77.10 ^{ns}
90 °C	1 นาที	77.45 ^{ns}
	5 นาที	76.95 ^{ns}
	10 นาที	77.44 ^{ns}
100 °C	1 นาที	77.46 ^{ns}
	5 นาที	77.27 ^{ns}
	10 นาที	77.17 ^{ns}
ชุดควบคุม		77.91

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ $p=0.05$

ตารางที่ 4.21 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pasting time ความหนืดของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
80 °C	3.26	3.27	3.24	3.26 ^{ns}
90 °C	3.27	3.23	3.27	3.25 ^{ns}
100 °C	3.27	3.26	3.24	3.26 ^{ns}
X เวลา	3.26 ^{ns}	3.25 ^{ns}	3.25 ^{ns}	
C.V. (%)			1.35	

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่แป้งเริ่มเข้าสู่กระบวนการเจลาทิไนซ์ (pasting time) จากการให้ RF ในสภาพร้อนแห้ง

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	pasting time
80 °C	1 นาที	3.26 ^{ns}
	5 นาที	3.27 ^{ns}
	10 นาที	3.24 ^{ns}
90 °C	1 นาที	3.27 ^{ns}
	5 นาที	3.23 ^{ns}
	10 นาที	3.27 ^{ns}
100 °C	1 นาที	3.27 ^{ns}
	5 นาที	3.26 ^{ns}
	10 นาที	3.24 ^{ns}
ชุดควบคุม		3.31

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ $p=0.05$

ตารางที่ 4.23 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสุดท้าย (final) ของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
80 °C	1,346.40	1,309.40	1,300.00	1,318.60A
90 °C	1,084.80	1,146.20	1,157.80	1,129.60B
100 °C	1,232.00	1,263.60	1,281.40	1259.00A
X เวลา	1,221.10 ^{ns}	1,239.70 ^{ns}	1,246.40 ^{ns}	
C.V. (%)			10.26	

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

2. ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.24 ค่าความหนืดสุดท้าย (final) จากการให้ RF ในสภาพร้อนแห้งเทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	pasting time
80 °C	1 นาที	1,346.40*
	5 นาที	1,309.40*
	10 นาที	1,300.00*
90 °C	1 นาที	1,084.80*
	5 นาที	1,146.20*
	10 นาที	1,157.80*
100 °C	1 นาที	1,232.00*
	5 นาที	1,263.60*
	10 นาที	1,281.40*
ชุดควบคุม		1,660.60

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.25 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่า setback ของน้ำเป้งด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
80 °C	677.80	669.20	663.40	670.13A
90 °C	535.20	545.20	547.00	542.47B
100 °C	556.00	564.80	571.40	564.07B
X เวลา	589.67 ^{ns}	593.07 ^{ns}	593.93 ^{ns}	
C.V. (%)			11.91	

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

2. ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.26 ค่าการคืนตัวของน้ำเป้ง (setback) จากการให้ RF ในสภาพร้อนแห้งเทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	setback from trough
80 °C	1 นาที	677.80*
	5 นาที	669.20*
	10 นาที	663.40*
90 °C	1 นาที	535.20*
	5 นาที	545.20*
	10 นาที	547.00*
100 °C	1 นาที	556.00*
	5 นาที	564.80*
	10 นาที	571.40*
ชุดควบคุม		937.60

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ $p=0.05$

ตารางที่ 4.27 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียว (holding strength) ของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
80 °C	668.60	640.20	636.60	648.47A
90 °C	549.60	601.00	610.80	587.13B
100 °C	676.00	679.60	710.00	688.53A
X เวลา	631.40 ^{ns}	640.27 ^{ns}	652.47 ^{ns}	
C.V. (%)			10.80	

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

2. ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.28 ค่าความเหนียว (holding strength) จากการให้ RF ในสภาพร้อนแห้งเทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	pasting time
80 °C	1 นาที	668.60 ^{ns}
	5 นาที	640.20 ^{ns}
	10 นาที	636.60 ^{ns}
90 °C	1 นาที	549.60 ^{ns}
	5 นาที	601.00 ^{ns}
	10 นาที	610.80 ^{ns}
100 °C	1 นาที	676.00 ^{ns}
	5 นาที	679.60 ^{ns}
	10 นาที	710.00 ^{ns}
ชุดควบคุม		723.00

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. สภาพร้อนขึ้น

1) Peak viscosity

จากการทดลองในสภาพร้อนขึ้นพบว่า ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ให้ RF มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า peak viscosity ไม่ต่างกัน แสดงว่าอุณหภูมิ 70-90°C และระยะเวลา 1-10 นาที มีผลให้ peak viscosity เปลี่ยนแปลงไปในปริมาณใกล้เคียงกัน และไม่พบถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง(ตารางที่ 4.29) แต่ค่า peak viscosity ของแป้งที่ผ่านกรรมวิธีมีความแตกต่างจากชุดควบคุมโดย peak viscosity มีค่าลดลงเหลือเพียง 843.40-923.80 cP จากชุดควบคุมที่มีค่า peak อยู่ 987.60 cP (ตารางที่ 4.30)

2. pasting temperature

ค่า pasting temperature ที่ได้จากการวิเคราะห์โดย RVA พบว่าการให้ RF ที่อุณหภูมิสูง (90°C) มีแนวโน้มทำให้ pasting temperature มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า (ตารางที่ 4.31) แสดงว่าถ้าเมล็ดมีความชื้นสูง การให้ความร้อนสูงจะทำให้ pasting temperature มีค่ามากขึ้น เนื่องจากแป้งเกิดเจลลาทีไนซ์แล้วตั้งแต่ช่วงต้นๆ ส่วนระยะเวลาของการให้ความร้อนไม่มีผลมากนัก อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมพบว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลลาทีไนซ์ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ 77.44 °C ส่วนในแต่ละกรรมวิธีที่ทดลองมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 77.16-78.43 °C (ตารางที่ 4.32)

3. Pasting time

ระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเมล็ดแป้งภายใน โดยเมื่อได้รับความร้อน และเกิดการพองตัวดูดน้ำบริเวณโดยรอบจนทำให้เกิดความหนืดของแป้ง เมื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละกรรมวิธีพบว่าอุณหภูมิมิผลทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีไนซ์เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 90 °C เพิ่มขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิ 70°C และ 80°C แต่ปัจจัยทางด้านระยะเวลาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น (ตารางที่ 4.33) จากการให้ความร้อนกับเมล็ดข้าวโพดความชื้นสูงในแต่ละกรรมวิธีพบว่า ไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุมซึ่งใช้เวลาที่ 3.27 นาที (ตารางที่ 4.34)

4. Final Viscosity

จากการทดลองพบว่าในสภาพร้อนขึ้น ค่า final viscosity ของทุกกรรมวิธีมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.35) และเมื่อนำไปเทียบกับในชุดควบคุมพบว่า ค่า final viscosity เมื่อผ่านกรรมวิธีต่างๆมีค่าลดลงกว่าเมล็ดในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านกรรมวิธีใดๆเลย ในชุดควบคุมซึ่งมีค่า final อยู่เท่ากับ 1,862.20 cp เมื่อผ่านกรรมวิธีต่างๆค่าจะอยู่ระหว่าง 1,367.80-1,454.80 cp (ตารางที่ 4.36)

5. Setback

ค่า setback ที่ได้จากการวิเคราะห์ภายหลังที่เมล็ดข้าวโพดผ่านกรรมวิธีต่างๆ อุณหภูมิที่เมล็ดได้รับมีผลทำให้ค่า setback ที่วิเคราะห์ได้จากน้ำแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยที่อุณหภูมิ 90°C ค่า setback ลดลงแตกต่างจากอุณหภูมิ 70°C และ 80°C แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่เป็นผลมาจากระยะเวลาที่ได้รับจากการทดลอง (ตารางที่ 4.37) เมื่อนำค่าที่ได้ในทุกกรรมวิธีการทดลองเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ค่า setback ในแต่ละกรรมวิธีลดลงแตกต่างจากชุดควบคุม ซึ่งเป็นผลมาจากค่า final viscosity ลดลงจึงทำให้ค่า setback เปลี่ยนแปลงตาม ค่า setback ที่ลดลงแสดงว่าความสามารถในการคืนตัวของแป้งลดลงด้วย

6. Holding strength

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า holding strength พบว่าอุณหภูมิมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทดลองสูงทำให้ค่า holding strength เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ระยะเวลาในการทดลองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า holding strength (ตารางที่ 4.39) แม้ว่าอุณหภูมิจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า holding strength แต่เมื่อนำค่าที่ได้มาเทียบกับชุดควบคุมพบว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ไม่มีผลแตกต่างจากชุดควบคุมแต่อย่างใด (ตารางที่ 4.40)

ตารางที่ 4.29 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Peak viscosity ความหนืดของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
70 °C	855.20	843.40	878.60	859.07 ^{ns}
80 °C	894.20	897.00	923.80	905.00 ^{ns}
90 °C	905.00	916.40	884.40	901.93 ^{ns}
X เวลา	884.80 ^{ns}	885.60 ^{ns}	895.60 ^{ns}	
C.V. (%)			8.53	

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.30 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Peak viscosity ความหนืดของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA เทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	Peak viscosity (cP, centripoise)
70 °C	1 นาที	855.20*
	5 นาที	843.40*
	10 นาที	878.60*
80 °C	1 นาที	894.20*
	5 นาที	897.00*
	10 นาที	923.80*
90 °C	1 นาที	905.00*
	5 นาที	916.40*
	10 นาที	884.40*
ชุดควบคุม		987.60*

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.31 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pasting temperature ความหนืดของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
70 °C	77.17	77.47	77.47	75.37 B
80 °C	77.57	77.16	77.42	77.38 B
90 °C	77.63	78.07	78.43	78.04 A
X เวลา	77.46 ^{ns}	77.57 ^{ns}	77.77 ^{ns}	
C.V. (%)			0.69	

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

2. ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.32 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pasting temperature ความหนืดของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA เทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	pasting temperature (°C)
70 °C	1 นาที	77.17 ^{ns}
	5 นาที	77.47 ^{ns}
	10 นาที	77.47 ^{ns}
80 °C	1 นาที	77.57 ^{ns}
	5 นาที	77.16 ^{ns}
	10 นาที	77.42 ^{ns}
90 °C	1 นาที	77.63 ^{ns}
	5 นาที	78.07 ^{ns}
	10 นาที	78.43 ^{ns}
ชุดควบคุม		77.44

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.33 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pasting time ความหนืดของน้ำแป้งด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
70 °C	3.27	3.27	3.27	3.27B
80 °C	3.28	3.24	3.27	3.26B
90 °C	3.28	3.32	3.35	3.32A
X เวลา	3.28 ^{ns}	3.28 ^{ns}	3.29 ^{ns}	
C.V. (%)			1.50	

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

2. ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.34 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่แป้งเริ่มเข้าสู่กระบวนการเจลลิกไนซ์ (pasting time) จากการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้น

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	pasting time
70 °C	1 นาที	3.27 ^{ns}
	5 นาที	3.27 ^{ns}
	10 นาที	3.27 ^{ns}
80 °C	1 นาที	3.28 ^{ns}
	5 นาที	3.24 ^{ns}
	10 นาที	3.27 ^{ns}
90 °C	1 นาที	3.28 ^{ns}
	5 นาที	3.32 ^{ns}
	10 นาที	3.35 ^{ns}
ชุดควบคุม		3.27

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.35 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสุดท้าย (final) ด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
70 °C	1,416.80	1,370.20	1,418.60	1,401.90 ^{ns}
80 °C	1,439.60	1,454.80	1,401.20	1431.90 ^{ns}
90 °C	1,412.40	1,404.20	1,367.80	1394.80 ^{ns}
X เวลา	1422.90 ^{ns}	1,409.7 ^{ns}	1,395.90 ^{ns}	
C.V. (%)			6.18	

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.36 ค่าความหนืดสุดท้าย (final) จากการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้นเทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	pasting time
70 °C	1 นาที	1,416.80*
	5 นาที	1,370.20*
	10 นาที	1,418.60*
80 °C	1 นาที	1,439.60*
	5 นาที	1,454.80*
	10 นาที	1,401.20*
90 °C	1 นาที	1,412.40*
	5 นาที	1,404.20*
	10 นาที	1,367.80*
ชุดควบคุม		1,862.20

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.37 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงค่า setback ของน้ำแข็งด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
70 °C	677.20	642.00	642.00	653.73A
80 °C	650.00	654.00	638.40	647.47A
90 °C	603.40	596.20	609.40	603.00B
X เวลา	643.53 ^{ns}	630.73 ^{ns}	629.93 ^{ns}	
C.V. (%)			6.81	

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

2. ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.38 ค่าการกินตัวของน้ำแข็ง (setback) จากการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้นเทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	setback from trough
70 °C	1 นาที	677.20*
	5 นาที	642.00*
	10 นาที	642.00*
80 °C	1 นาที	650.00*
	5 นาที	654.00*
	10 นาที	638.40*
90 °C	1 นาที	603.40*
	5 นาที	596.20*
	10 นาที	609.40*
ชุดควบคุม		1,042.60

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.39 ผลของการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหน็ดต่ำสุด (holding strength) ด้วยเครื่อง RVA

อุณหภูมิ	ระยะเวลาในการให้ความร้อน			X อุณหภูมิ
	1 min	5 min	10 min	
70 °C	739.60	728.20	768.60	745.47A
80 °C	785.60	816.40	797.80	799.93B
90 °C	816.20	794.80	792.20	801.07B
X เวลา	780.47 ^{ns}	779.80 ^{ns}	786.20 ^{ns}	
C.V. (%)			6.63	

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

2. ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษร ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.40 ค่าความเหน็ดต่ำสุด (holding strength) จากการให้ RF ในสภาพร้อนขึ้นเทียบกับชุดควบคุม

อุณหภูมิ	ระยะเวลา	holding strength
70 °C	1 นาที	739.60 ^{ns}
	5 นาที	728.20 ^{ns}
	10 นาที	768.60 ^{ns}
80 °C	1 นาที	785.60 ^{ns}
	5 นาที	816.40 ^{ns}
	10 นาที	797.80 ^{ns}
90 °C	1 นาที	816.20 ^{ns}
	5 นาที	794.80 ^{ns}
	10 นาที	792.20 ^{ns}
ชุดควบคุม		819.60

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย t-test เทียบกับชุดควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการทดลองการให้ RF กับเมล็ดข้าวโพดในสภาพพร้อมแห้งอุณหภูมิในการทำให้เกิดกระบวนการเจลลิตีไนซ์ที่ได้จากการทดลอง ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความร้อนที่ได้รับจาก RF ไม่สามารถกระตุ้นให้แป้งภายในเมล็ดเข้าสู่กระบวนการเจลลิตีไนซ์ได้ เนื่องจากเมล็ดมีองค์ประกอบของน้ำอยู่เพียง 14% แม้ว่าอุณหภูมิจากการทดลองจะสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้แป้งเข้าสู่กระบวนการก็ตาม หรือระยะเวลาในการเข้าสู่กระบวนการซึ่งจะใช้เวลาเพียง 3.31 นาที (ตารางที่ 4.22) แต่จากการทดลองในแต่ละกรรมวิธีความร้อนส่งผลทำให้โครงสร้างภายในเมล็ดเปลี่ยนแปลงไปเกิดความสูญเสียการจัดเรียงตัว (กลีมารงค์และเก็อกูล 2550) จึงทำให้ค่า final viscosity และ ค่า setback ที่วิเคราะห์ได้ลดลง

ในการให้ RF กับข้าวโพดที่มีสภาพพร้อมขึ้น ซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำอยู่สูงถึง 25% ความร้อนและระยะเวลาที่เมล็ดได้รับก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน เม็ดแป้งบางส่วนอาจเกิดการเจลลิตีไนซ์ไปหลังจากผ่านกรรมวิธีในการทดลองดังกล่าว จะเห็นว่าค่า peak viscosity, final viscosity และ setback ที่วิเคราะห์ได้ในทุกกรรมวิธีมีค่าลดลง สอดคล้องกับกลีมารงค์และเก็อกูล (2550) ที่กล่าวถึงที่เกิดการเจลลิตีไนซ์แล้วเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วย RVA จะมีความหนืดต่ำกว่าในแป้งดิบ โดยปกติในสภาพเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการให้ RF จะใช้อุณหภูมิเพื่อเข้าสู่กระบวนการที่ 77.44 °C (ตารางที่ 4.32) ที่เวลาเท่ากับ 3.27 นาที (ตารางที่ 4.34) แต่ในการทดลองที่ให้ความร้อนต่ำเพียง 70°C เกิดกระบวนการเจลลิตีไนซ์ขึ้นได้ อาจเป็นผลมาจากความชื้นในเมล็ด เช่นเดียวกับการทดลองของ Lewandowicz *et al.* (2000) ที่ได้ทดลองให้คลื่นไมโครเวฟกับเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นสูง พบว่าความชื้นมีผลต่อการเข้าสู่กระบวนการเจลลิตีไนซ์ในเมล็ดได้ง่าย ภายหลังจากได้รับความร้อน และยังอธิบายเพิ่มเติมอีกว่าการเข้าสู่กระบวนการเจลลิตีไนซ์นั้นยังมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของผลึกภายในเมล็ดและอะไมโลสด้วย Biliaderris *et al.* กล่าวว่า การที่จะหลีกเลี่ยงการเข้าสู่กระบวนการเจลลิตีไนซ์ที่อุณหภูมิสูง ความชื้นภายในเมล็ดควรต่ำกว่าระดับ 25-30% แต่ในกระบวนการแปรรูปการผลิตอาหารสัตว์ที่ทำให้เมล็ดพืชเกิดการเจลลิตีไนซ์ สัตว์สามารถดูดซึมสารอาหารได้ดีกว่าอาหารที่ไม่ผ่านการเจลลิตีไนซ์ (พันทิพา, 2539) ซึ่งนับเป็นผลพลอยได้อย่างหนึ่งจากการใช้ความร้อนจาก RF ในการฆ่าเชื้อรา