

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของคลื่นความถี่วิทยุที่มีต่อเชื้อราที่ติดมากับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

เมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 80, 85 และ 90°C ระยะเวลา 1 และ 3 นาทีกับเมล็ดข้าวโพด พบว่า ชุดควบคุมมีการเจริญของเชื้อรา 100% (ภาพที่ 4.1) เมื่อให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ 80°C การเจริญของเชื้อราลดลงเหลือ 8.5% และ 1.5% เมื่อตรวจด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อและเพาะบนกระดาษขึ้นตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลง ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและระยะเวลามีผลต่อการลดลงของการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* อย่างมีนัยสำคัญ ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 80, 85 และ 90°C การเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* ลดลงอย่างเห็นได้ชัดตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* บนเมล็ดภายหลังจากการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 90°C เหลือเพียง 1 และ 0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพาะบนอาหารเลี้ยงเชื้อและกระดาษขึ้นตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Akaranuchat *et al.* (2007) พบว่า เมื่อให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 60, 65, 70 และ 75°C เป็นเวลา 0, 1 และ 3 นาที กับเมล็ดพันธุ์ข้าวบาร์เลย์ เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อของเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ลดลงที่อุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Janhang *et al.* (2005) ให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70, 75, 80 และ 85°C ระยะเวลา 3 นาที เพื่อควบคุมการเจริญของเชื้อรา *Trichoconis padwickii* ในเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 10.4% พบว่าที่อุณหภูมิ 75°C การเจริญของเชื้อรา *T. padwickii* ลดลงเหลือ 17.8% และการใช้คลื่นความถี่วิทยุ ในการกำจัดเชื้อรา *Fusarium culmorum* (Smith) Saccardo ในเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลี พบว่าที่อุณหภูมิ 70-75°C ระยะเวลา 150-180 วินาที และความชื้นเริ่มต้นของข้าวสาลีเท่ากับ 15% สามารถกำจัดเชื้อราได้และยังคงรักษาความงอกของเมล็ดพันธุ์ได้อีกด้วย (Cwiklinski and Von Horsten, 1999) การให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 60 ถึง 70°C ระยะเวลา 2 นาที พบว่าสามารถกำจัดเชื้อราในไม้ได้ (Kayimbi *et al.*, 2007) Vasanacharoen *et al.* (2006) ทำการทดลองในเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดที่มีความชื้นเริ่มต้นที่ 10.5 และ 14% เพื่อควบคุมเชื้อรา *F. semitectum* โดยให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65, 70, 75, 80 และ 85°C เป็นเวลา 10 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 85°C ที่ความชื้นเริ่มต้น 14% การติดเชื้อรา *F. Semitectum* ลดลงเหลือเพียง 2%



ภาพที่ 4.1 การเจริญของเชื้อรา *Aspergillus flavus* บนเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซนต์การติดเชื้อในเมล็ดข้าวโพดเมื่อเพาะบนอาหารเลี้ยงเชื้อและกระดาษชั่ง

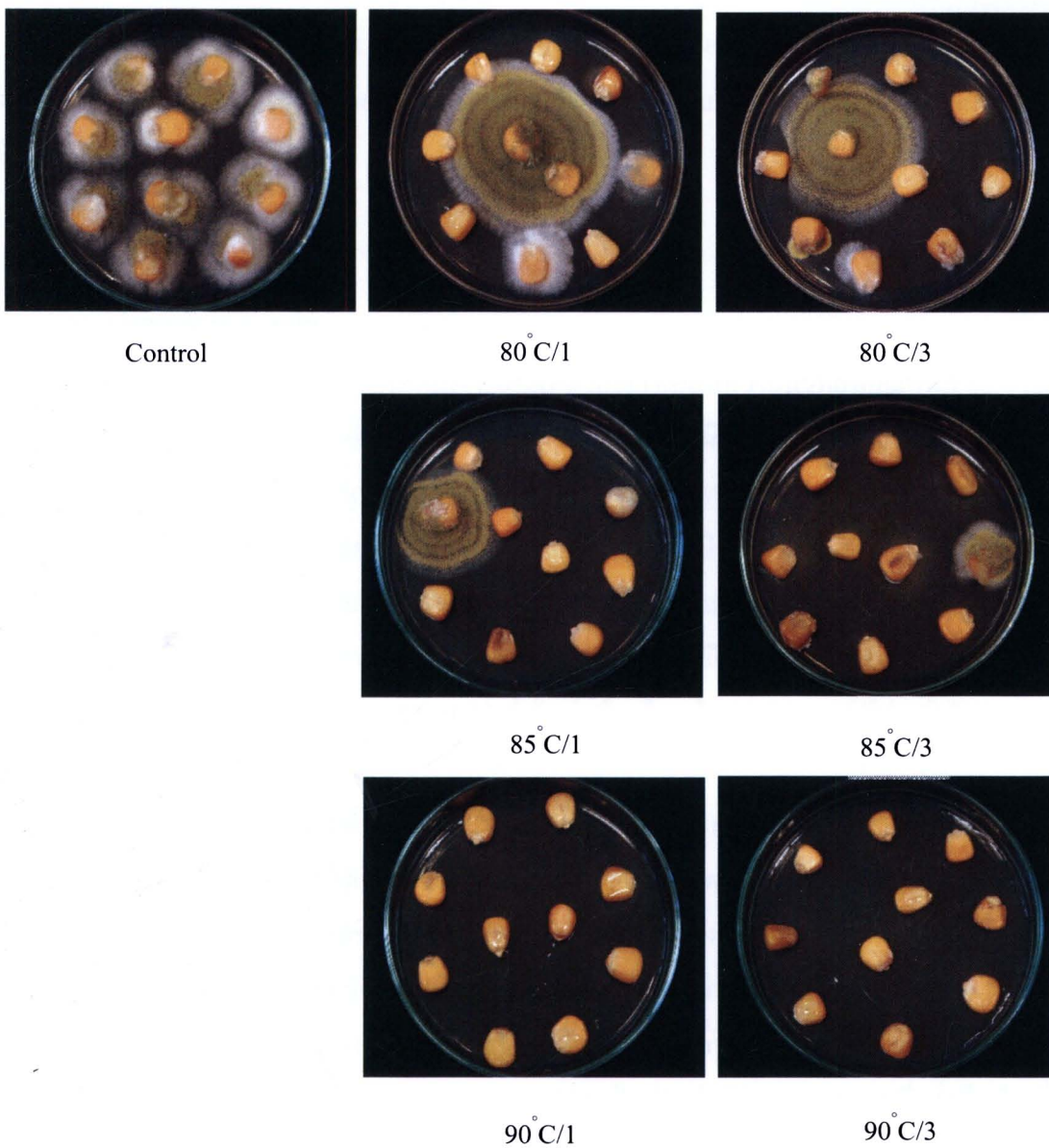
Treatment (°C/min)	Infection (%)	
	PDA	Blotter
Control	100.00 a*	100.00 a
80°C/1	8.50 b	1.50 b
80°C/3	9.00 b	1.00 bc
85°C/1	4.75 c	0.50 cd
85°C/3	2.00 cd	0.38 cd
90°C/1	1.00 d	0.13 d
90°C/3	1.00 d	0.00 d
Mean	17.87	14.78
LSD.	6.22	0.75
C.V.	23.68	3.42

* ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) เปรียบเทียบโดยวิธี Least Significant Difference

Harris and Taras (1984) กล่าวว่า ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าความชื้นเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุและการให้ความร้อนในแบบอื่นๆ ด้วย Wang *et al.* (2003) กล่าวว่าวัสดุที่มีความชื้นสูงจะมีค่า dielectric loss factor สูง ซึ่งค่านี้จะแสดงถึงการดูดซับพลังงานเพื่อทำให้เกิดความร้อน เมื่อมีค่าสูงขึ้นทำให้ความร้อนเกิดเร็วขึ้นด้วย สอดคล้องกับ Orsat (1999) กล่าวว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้คลื่นความถี่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้เมล็ดสามารถดูดซับพลังงานความร้อนได้ดีขึ้น ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดจะกระจายตัวไปยังส่วนอื่นๆ โดยการนำความร้อนโดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีผลในการทำลายเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ อาจเป็นไปได้ว่าคุณสมบัติของเชื้อราและเมล็ดพันธุ์มีค่า dielectric constant และค่า dielectric loss factor แตกต่างกัน จึงทำให้การดูดซับพลังงานจากคลื่นความถี่ที่แตกต่างกัน (Nelson, 2002 ; Piyasena *et al.*, 2003; Lagunas-Solar, 2006)

จากการทดลองนี้เมื่อให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุทำให้เกิดความร้อนขึ้นในเซลล์ของเชื้อราเร็วกว่าในวัตถุดิบเนื่องจากค่า dielectric constant และค่า dielectric loss factor แตกต่างกัน จึงทำให้การดูดซับพลังงานจากคลื่นความถี่ที่แตกต่างกันของเชื้อราและเมล็ดข้าวโพด ความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นอาจทำลายเซลล์ของเชื้อราและอาจขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อราและวัตถุดิบ ซึ่งเซลล์ของเชื้อรานั้นไม่สามารถทนแรงกดดันที่เกิดจากการที่โมเลกุลของน้ำภายในเซลล์ถูกรบกวนโดยการให้คลื่นความถี่วิทยุ ทำให้เกิดการแกว่งอย่างรวดเร็วภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผลโดยตรงกับเซลล์เชื้อราทำให้เซลล์นั้นแตกและตายได้ (Caroll and Lopez, 1969)

จากการทดลองพบว่าตั้งแต่อุณหภูมิที่ 80°C ระยะเวลา 1 นาที สามารถทำให้การติดเชื้อลดลงถึง 98.5% เมื่อตรวจจากวิธีเพาะบนกระดาดขึ้น และสามารถกำจัดเชื้อรา *Aspergillus flavus* ได้อย่างสมบูรณ์ที่ 90°C เวลา 3 นาที ซึ่งในการนำไปใช้จริงนั้นควรจะใช้ที่อุณหภูมิที่ 90°C เวลา 3 นาทีเนื่องจากเชื้อราชนิดนี้มีระยะการเจริญเติบโตเร็วเมื่อมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ดังนั้นการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 80°C ระยะเวลา 1 นาที นั้นถึงแม้ว่าจะมีการติดเชื้อลดลงอย่างชัดเจนซึ่งไม่สามารถมั่นใจได้ว่าเชื้อราจะเกิดการเจริญเติบโตและแพร่กระจาย ทั้งนี้การใช้ก็ยังต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ด้วย



ภาพที่ 4.2 การเจริญของเชื้อรา *Aspergillus flavus* ในเมล็ดข้าวโพด เมื่อตรวจบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA หลังจากผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (°C/min)

ผลของความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุต่อคุณภาพข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

หลังจากทำการกำจัดเชื้อรา *A. flavus* บนเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุตามระดับของอุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนดแล้ว นำเมล็ดที่ผ่านกรรมวิธีต่างๆ มาประเมินคุณภาพในด้านต่างๆ

1. คุณภาพทางกายภาพ

1.1 ความชื้นของเมล็ด

วัดความชื้นของเมล็ดที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 80, 85 และ 90°C ระยะเวลา 1 และ 3 นาที จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 80°C เวลา 1 และ 3 นาที ไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 85°C ระยะเวลา 1 และ 3 นาที และอุณหภูมิ 90°C ระยะเวลา 1 นาที ความชื้นของเมล็ดลดลง 0.7% ซึ่งที่อุณหภูมิ 90°C ระยะเวลา 3 นาที มีการลดลงของความชื้นมากที่สุดเท่ากับ 0.92% การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและระยะเวลามีผลต่อการลดลงของความชื้นในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.2) โดยที่อุณหภูมิ 90°C เวลานาน 3 นาที มีค่าความชื้นของเมล็ดลดลงมากที่สุด คือ 14.70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีค่าเท่ากับ 15.63 เปอร์เซ็นต์

การลดลงของความชื้นเมล็ดเนื่องจากเมล็ดภายในเมล็ดประกอบไปด้วยโมเลกุลของน้ำ เมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุโมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นสะเทือนทำให้เกิดป็นพลังงานความร้อนจากการเสียดทานของโมเลกุล ความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในเมล็ดสูงขึ้น ทำให้น้ำในเมล็ดเคลื่อนที่ออกมาจากในเมล็ดสู่ภายนอกเพื่อรักษาสมดุลตามคุณสมบัติที่เรียกว่า ไฮโกรสโคปิก (hygroscopic) คือ เมล็ดจะสามารถแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศภายนอกรอบๆเมล็ดได้ ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศ สอดคล้องกับ Shivhare *et al.* (1992) ที่กล่าวว่า ในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด จะมีความสัมพันธ์กับค่าการดูดซับพลังงานของวัตถุ ระยะเวลาที่ให้กับเมล็ด ซึ่งจะมีผลสำคัญอย่างมากต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและอัตราการลดความชื้นที่เพิ่มขึ้น และจากการทดลองของ Akaranuchat (2009) รายงานว่า เมื่อให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 60, 65, 70 และ 75°C เป็นเวลา 0, 1 และ 3 นาที กับเมล็ดพันธุ์ข้าวบาร์เลย์ พบว่าความชื้นของเมล็ดมีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิและเวลามากขึ้น ในทำนองเดียวกันพัทยา (2549) พบว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70, 75, 80 °C นาน 1, 2 และ 3 นาที มีผลทำให้ความชื้นในข้าวลดลง 1-2%

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดหลังจากผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

Treatment (°C/min)	Moisture content (%)
Control	15.63 a*
80/1	15.33 abc
80/3	15.47 ab
85/1	15.06 bcd
85/3	14.86 cd
90/1	14.93 cd
90/3	14.71 d
Mean	15.14
LSD.	0.5009
C.V.	2.25

* ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05)

เปรียบเทียบโดยวิธี Least Significant Difference

เนื่องจากความร้อนทำให้อากาศขยายตัวสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้นทำให้เมล็ดเกิดการถ่ายเทความร้อนออกจากเมล็ดไป เช่นเดียวกับ Oberndorfer *et al.* (2000) ได้รายงานว่ ในกระบวนการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์โคนใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นความถี่วิทยุ และ ไมโครเวฟ ระดับพลังงานที่เกิดจากการให้คลื่นความถี่แก่เมล็ดพันธุ์จะมีความสัมพันธ์แก่ปริมาณความชื้นในเมล็ด โดยเมล็ดที่มีความชื้นสูงจะส่งผลให้มีการดูดซับพลังงานและเอื้อต่อการเกิดการถ่ายเทและนำพาความร้อนในเมล็ดได้สูง

ในการจำหน่ายข้าวโพดในทางการค้า นั้น ปัจจุบันกำหนดให้ความชื้นไม่เกิน 14.5% จากการทดลองนี้ พบว่าเมื่อให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุมีการลดลงของความชื้นประมาณ 1% จากเดิม

1.2 ประเมินความเสียหายของเมล็ด

ภายหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 80, 85 และ 90°C ระยะเวลา 1 และ 3 นาที มาประเมินเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ด โดยใช้วิธีการตรวจด้วยตาเปล่า (ภาพที่ 4.3) จากการทดลองพบว่า การให้อุณหภูมิ 90°C ที่ระยะเวลา 1 และ 3 นาที ทำให้การแตกร้าวของเมล็ดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 33 และ 38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)



ภาพที่ 4.3 ลักษณะเมล็ดข้าวโพดที่เกิดการแตกร้าว

เนื่องจากการเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วภายในวัตถุที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้คลื่นความถี่วิทยุที่มากขึ้น ทำให้เกิดการระเหยของความชื้นในเมล็ดระหว่างการให้คลื่นความถี่วิทยุ และเมื่อเมล็ดได้รับความร้อนที่มากเกินไป ทำให้เกิดรอยร่น แตกร้าว เมล็ดพอง (Orsat, 1999) ในการทดลองครั้งนี้การให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 90°C เป็นช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้เมล็ดเกิดการแตกร้าวมากที่สุด ในการทดลองครั้งนี้บางส่วนของเปอร์เซ็นต์ของเมล็ดที่แตกร้าวที่เพิ่มขึ้น อาจเกิดมาจากการลดความชื้นหลังการเก็บเกี่ยวด้วย (mechanical damage) ในการค้าเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์นั้นโดยปกติ ไม่มีการตรวจเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของเมล็ด แต่ในการการทดลองนี้มีการตรวจสอบ จากงานทดลองของ Rooney and Pflugfelder (1986) พบว่า การแตกหักที่เกิดขึ้นมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ amylase ในการหมักของส่วนผสมแป้งที่ทำให้เกิดน้ำตาลได้ดีกว่าเมล็ดที่ไม่มีการแตกร้าว

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด หลังจากผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

Treatment (°C/min)	Cracking (%)
Control	25.10 c*
80/1	26.22 bc
80/3	26.87 bc
85/1	27.53 bc
85/3	27.66 bc
90/1	33.61 ab
90/3	38.92 a
Mean	29.41
LSD.	7.64
C.V.	17.48

* ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) เปรียบเทียบ โดยวิธี Least Significant Difference

2. คุณภาพทางเคมี

การวัดเปอร์เซ็นต์อะมิโลสที่ได้จากอะมิโลสที่ทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจากผลการทดลองพบว่า หลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 1 นาที ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะมิโลส เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่จะพบว่าเมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุตั้งแต่อุณหภูมิ 80 °C นาน 3 นาที ขึ้นไปจะมีค่าปริมาณอะมิโลสสูงขึ้น 2-3% ดังตารางที่ 4.4 ค่าของอะมิโลสที่สูงขึ้น ทำให้แป้งที่ได้มีความเหนียวลดลง

ภายหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 80, 85 และ 90°C ระยะเวลา 1 และ 3 นาที นำมาหาปริมาณโปรตีนรวม พบว่าเมื่อผ่านคลื่นความถี่วิทยุแล้วแป้งข้าวโพดให้ค่า เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อยู่ในช่วง 7.28-7.74 % สอดคล้องกับการทดลองของ Campana *et al.* (1993) ลดความชื้นของข้าวสาลีด้วยคลื่นไมโครเวฟ พบว่าการให้คลื่นไมโครเวฟไม่มีผลต่อปริมาณของโปรตีน แต่ปริมาณของ gluten จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการให้คลื่นเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันกับ Walde *et al.* (2002) ซึ่งทำการลดความชื้นข้าวสาลีเหมือนกันโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีน แต่โครงสร้างและ functional ของ

gluten ที่พบเปลี่ยนแปลงไป Velu *et al.* (2006) ศึกษาการลดความชื้นข้าวโพดด้วยคลื่นไมโครเวฟ ในเมล็ดข้าวโพด พบว่า ไมโครเวฟไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน ซึ่งปริมาณโปรตีนและแป้งที่ได้จากการให้คลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 10.5% และ 65.7% ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 10.06% และ 60.6% ตามลำดับ จากการทดลองนี้สามารถทำให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุไม่มีผลต่อการปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพด

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซนต์อะมิโลสและเปอร์เซนต์โปรตีนรวม

Treatment (°C/min)	Amylose (%)	Total protein (%)
control	23.77 b*	7.74
80/1	25.60 ab	7.28
80/3	27.26 a	7.49
85/1	26.09 a	7.47
85/3	26.52 a	7.44
90/1	27.18 a	7.39
90/3	26.23 a	7.70
Mean	26.092	7.5006
LSD.	2.13	ns
C.V.	5.55	4.13

* ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05)
เปรียบเทียบโดยวิธี Least Significant Difference

ตรวจวิเคราะห์ปริมาณ อะฟลาท็อกซิน

ตรวจสอบปริมาณอะฟลาท็อกซิน ด้วยวิธี AFLATEST AOAC fluorometer procedure for corn, raw peanut and peanut butter (Anonymous, 1997) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปริมาณอะฟลาท็อกซินที่เกิดขึ้นภายใต้แสง fluorescence วิธีนี้สามารถตรวจความเข้มข้นของปริมาณอะฟลาท็อกซินได้ระดับต่ำกว่า 10 ppb จากการทดลองนี้ไม่พบการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาท็อกซินในทุกกรรมวิธี ทั้งนี้เนื่องจากการที่เชื้อรา *Aspergillus flavus* จะสร้างอะฟลาท็อกซินได้ในปริมาณที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ ต้องอาศัยเวลาในการสะสมสารพิษหลังจากที่เข้าไปในพืช (Ahmad, 1993; Atehnkeng *et al.*, 2008) สอดคล้องกับการศึกษาของ Hell *et al.* (2000)พบปริมาณ

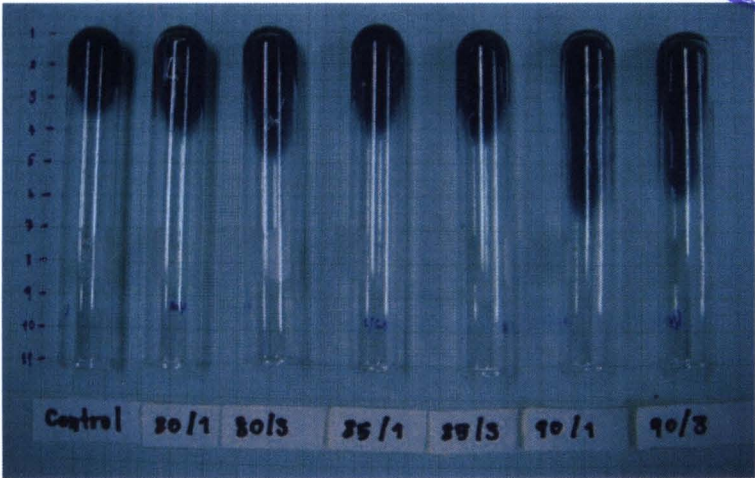
ของอะฟลาท็อกซิน น้อยกว่า 5 ppb และปริมาณจะเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับสูงภายหลังการเก็บรักษาแล้ว 6 เดือน และได้กล่าวว่า ปัจจัยที่สัมพันธ์กับการสร้างปริมาณสารอะฟลาท็อกซิน คือ เวลาในการเก็บรักษาซึ่งต้องใช้เวลอย่างน้อย 3-5 เดือน (Sauer and Tuite, 1987) สภาพแวดล้อมมีผลต่อการสร้างสารอะฟลาท็อกซิน คือความชื้นต้อง 17% ขึ้นไป รวมไปถึง อุณหภูมิขณะเก็บรักษาด้วย และคุณสมบัติทางกายภาพ สารอาหาร สารเคมีที่ใช้ตั้งแต่ตอนปลูกและ biological factors ด้วย (Gonzales *et al.*, 1988; Cotty *et al.*, 1994; Mello and Macdonald, 1997; Ruiquian *et al.*, 2004; Saleemullah *et al.*, 2006) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดเพียงแค่ 15% ระยะเวลาในการทำวิจัยหลังจากการปลูกเชื้อราไม่ได้ทิ้งระยะเวลาให้ถึง 3 เดือนซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เมื่อนำตัวอย่างไปตรวจปริมาณอะฟลาท็อกซินแล้วทำให้ไม่พบปริมาณการสร้างสารอะฟลาท็อกซิน

3. คุณภาพทางด้านแป้ง

3.1 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

หาความแตกต่างของแป้งข้าวโพดที่มีมีอะมิโลสใกล้เคียงกัน จากการคืนตัวของแป้งเมื่อเย็นลงแล้ว ว่าเจลอยู่ในลักษณะใด เพื่อคาดคะเนคุณสมบัติการสุกของแป้งข้าวโพด จัดลักษณะของเจลได้ 3 แบบ เจลนุ่มคือระยะ 61-100 mm. เจลนุ่มปานกลาง 41-60 mm. เจลแข็ง 26-40 mm. (งามชื่น, 2545) โดยใช้วิธีการของ Champagen *et al.* (1973) พบว่า หลังจากที่ผ่านมาการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่เวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีระยะการไหลของแป้งสุกเพิ่มมากขึ้นและเพิ่มมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 90°C นาน 1 และ 3 นาที ระยะการไหลของแป้งข้าวโพดมีมากเท่ากับ 57.25 และ 54.18 ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.5) สัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลสที่เพิ่มขึ้น จัดอยู่ในเจลลักษณะนุ่มปานกลาง

สอดคล้องกับการทดลองของ Varavinit *et al.* (2002) ได้ทำการตรวจสอบการคืนตัวของเจล จากแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสที่ต่างกัน พบว่า แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำจะมีความคงตัวต่อการคืนรูปได้ดีกว่า เจลที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลางและปริมาณต่ำ



ภาพที่ 4.4 ระยะการไหลของแป้งข้าวโพดหลังจากผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุระดับต่างๆ

ตารางที่4.5 ระยะทางการไหลของแป้งข้าวโพดหลังจากผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

Treatment (°C/min)	gel consistency (mm)
Control	26.56 c*
80/1	37.06 b
80/3	33.25 bc
85/1	32.81 bc
85/3	36.25 b
90/1	57.25 a
90/3	54.19 a
Mean	39.625
LSD.	9.2639
C.V.	15.90

* ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) เปรียบเทียบโดยวิธี Least Significant Difference

3.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง (Viscosity)

โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) รุ่น RVA-4D จากบริษัท Newport Scientific, Warriewood, NSW, Australia. ในการแสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนืดของแป้งข้าวโพดที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุจะแสดงเป็นกราฟและค่าต่างๆ ในการทดลองครั้งนี้จะแสดงค่าที่ได้เฉพาะ ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity (PV)), ค่าความคงทนต่อการกวนของแป้งหรือความเหนียว breakdown, ความหนืดสุดท้าย (final viscosity (FV)), ความหนืดจากการคืนตัว (setback) และค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (Pasting temperature)

ค่า setback เป็นค่าขณะที่อุณหภูมิการวิเคราะห์ของเครื่องวิเคราะห์ความหนืดของแป้ง มีระดับอุณหภูมิที่ 50°C ความหนืดของแป้งจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งซึ่งเป็นความหนืดเนื่องจากการคืนตัวหรือการเกิดเจลของแป้งข้าว โดยแป้งข้าวโพดที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยแต่ละวิธีการเร่งความเก่าและชุดควบคุมมีค่าการคืนตัวของแป้งข้าวลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตาราง 4.6) โดยการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 80 °C เป็นระยะเวลา 1 และ 3 นาที เป็นต้นไปมีค่า setback ลดลงเป็น 50.83 RVU ต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ค่า setback เป็นตัวชี้วัดที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ถ้าค่า setback มากขึ้นจะชี้ให้เห็นว่าค่าเนื้อสัมผัสจะเพิ่มขึ้นด้วย (Juliano *et al.*, 1985; Shi and BeMiller, 2002) แต่ในการทดลองนี้พบว่าค่า Setback ลดลง หรือ การเกิด retrogradation แสดงถึงปริมาณของน้ำที่ไม่สามารถคืนกลับเข้าไปในเมล็ดแป้ง จะสอดคล้องกับการวัดอัตราการไหลของแป้งข้าวโพด ถ้าแป้งไหลได้ระยะไกลจะเกิดคืนกลับน้อย การให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง สัมพันธ์กับผลของระยะทางการไหลของเจลที่ได้ข้างต้นด้วย

การเกิด Degradation ในระดับต่ำของแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง อธิบายได้จากความสัมพันธ์ของโครงสร้างอะมิโลส ที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้การเกิด retrogradation นั้นยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยซึ่งปัจจัยที่มีผลคือกระบวนการให้ความร้อน อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส อีกด้วย

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งของข้าวโพดที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (ในหน่วย RVU)

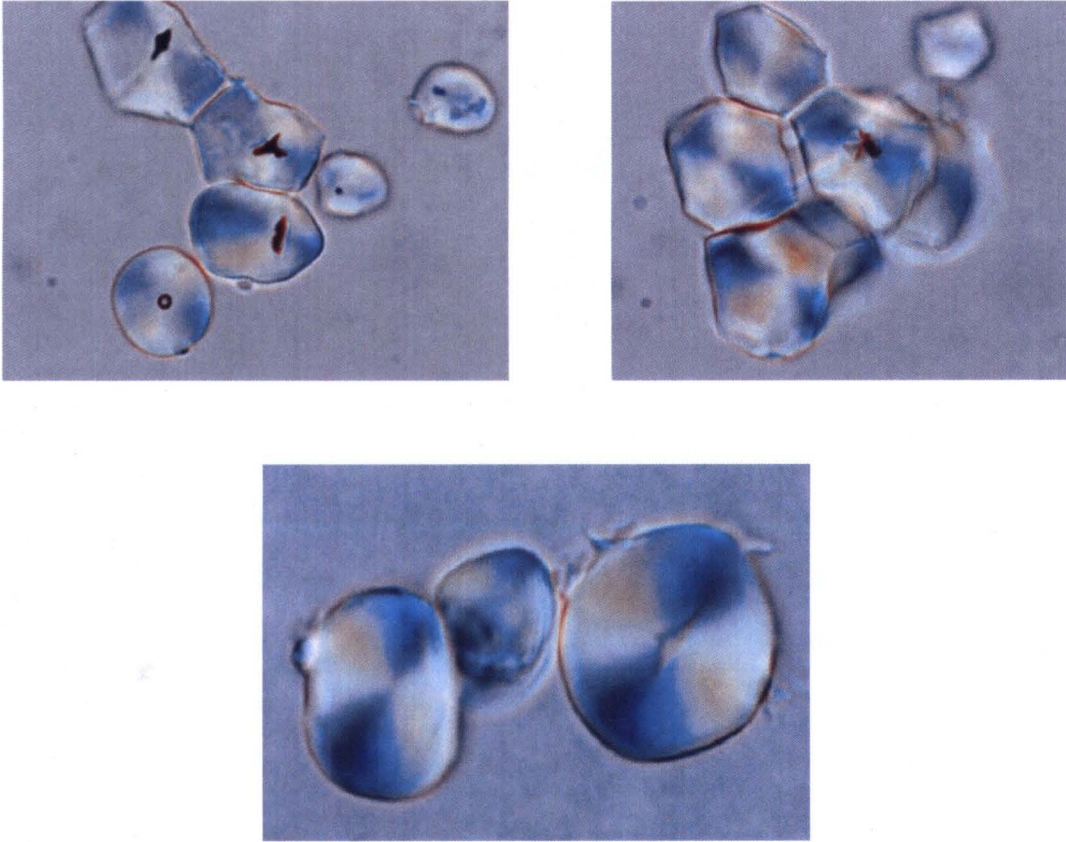
Treatment (°C/min)	PV	Breakdown	FV	Setback	Temp (°C)
Control	61.02	12.04	120.96	71.98 a*	80.85
80/1	55.92	10.83	95.92	50.83 b	78.50
80/ 3	62.73	10.31	108.46	56.04 b	79.25
85/1	65.65	10.25	112.15	56.75 b	78.45
85/3	62.38	9.06	109.15	55.83 b	79.44
90/1	68.27	8.19	116.98	56.90 b	78.45
90/3	61.25	5.77	111.85	56.38 b	80.06
Mean	62.458	9.4941	110.78	57.815	79.286
LSD.	ns	ns	ns	9.0807	ns
C.V.	13.31	34.77	10.39	10.68	2.36

* ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05)

เปรียบเทียบโดยวิธี Least Significant Difference

ลักษณะของเม็ดแป้ง

ในการทดลองนี้ดูขนาดและการกระจายตัวของแป้งโดยใช้สารละลายซูโครส ภายใต้กล้องจุลทรรศน์โดยอาศัยการใช้ haemocytometer แล้วอ่านค่าด้วยสายตา พบว่าทั้งขนาดและการกระจายตัวของเม็ดแป้งที่พบ มีการเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่สูงขึ้น ดังตารางที่ 4.7 ลักษณะของการกระจายตัวและขนาดของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้น สัมพันธ์กับการเสถียรภาพของแป้งที่เห็นได้ชัดจากอัตราการไหลของเจล ลักษณะของแป้งข้าวโพดโดยปกติแล้วจะมีขนาด 5-25 ไมครอน และมีหลายลักษณะรูปร่าง เช่นกลม แบน หลายเหลี่ยม และรูปร่างคล้ายแท่ง (Manigat and Seib, 1992) ดังภาพที่ 4.5 จากการทดลองพบว่าเมื่อให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 80°C ระยะเวลา 3 นาที ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดแป้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเป็น 15.750 ไมโครเมตรและ 91.60×10^6 เม็ด/มล. ตามลำดับ แสดงถึงเมื่อข้าวโพดผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุนั้นแป้งที่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเม็ดแป้งพองตัวมากขึ้น มีผลต่อการเกิด gelatinization ของแป้ง



ภาพที่ 4.5 ลักษณะของเม็ดแป้งข้าวโพดแบบต่างๆ ที่พบหลังจากผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาที่กำลังขยาย 100 เท่า

ตารางที่ 4.7 ลักษณะของเม็ดและการกระจายตัวของเม็ดแป้งหลังจากผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่น
- ความถี่วิทยุ

Treatment (°C/min)	การกระจายตัว (×10 ⁶)	ขนาด (μm)
control	151.20 a*	14.113 e
80/1	150.80 a	14.600 de
80/3	91.60 b	15.750 c
85/1	56.10 b	15.113 cd
85/3	54.55 b	15.513 c
90/1	67.30 b	16.500 b
90/3	54.45 b	18.088 a
Mean	89.429	6.2671
LSD.	51.175	0.6512
C.V.	38.91	14.97

* ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05)
เปรียบเทียบ โดยวิธี Least Significant Difference