บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิที่ตั้งค่า (set temperature) ต่อความเสถียรของอุณหภูมิของน้ำบัวบก (actual temperature) ในส่วนให้ความร้อนของอุปกรณ์ให้ความร้อนแบบโอห์มิก

การศึกษาผันแปรความต่างศักย์ไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 100, 150 และ 200 โวลต์ โดยที่แต่ละความต่างศักย์ไฟฟ้าทำการผันแปรอุณหภูมิที่ตั้งค่า 3 อุณหภูมิ คือ 60, 70 และ 80 ^{o}C ผลจากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในส่วนให้ความร้อนของอุปกรณ์ให้ความร้อนแบบโอห์มิกได้ผลดังตาราง4.1

ตาราง 4.1 อัตราการให้ความร้อนและความเสถียรของอุณหภูมิของน้ำบัวบก

ปัจจัย การทดลอง	อัตราการให้ ความร้อน (^{o}C/นาที)	อุณหภูมิใน heating chamber(^{o}C)	set temp - actual temp (^{o}C)
60 ^{o}C 100 V	13.52^{a}	60.00 ± 0.35^{a}	0.00
70 ^{o}C 100 V	15.31^{b}	70.54 ± 0.61^{b}	0.54
80 ^{o}C 100 V	14.68^{c}	80.94 ± 2.88^{c}	0.94
60 ^{o}C 150 V	31.86^{d}	61.29 ± 1.71^{d}	1.29
70 ^{o}C 150 V	31.60^{e}	70.96 ± 0.73^{e}	0.96
80 ^{o}C 150 V	36.62^{f}	82.84 ± 1.65^{f}	2.84
60 ^{o}C 200 V	64.57^{g}	63.69 ± 4.20^{g}	3.69
70 ^{o}C 200 V	63.82^{h}	72.30 ± 3.68^{h}	2.30
80 ^{o}C 200 V	57.22^{i}	85.18 ± 3.69^{i}	5.18

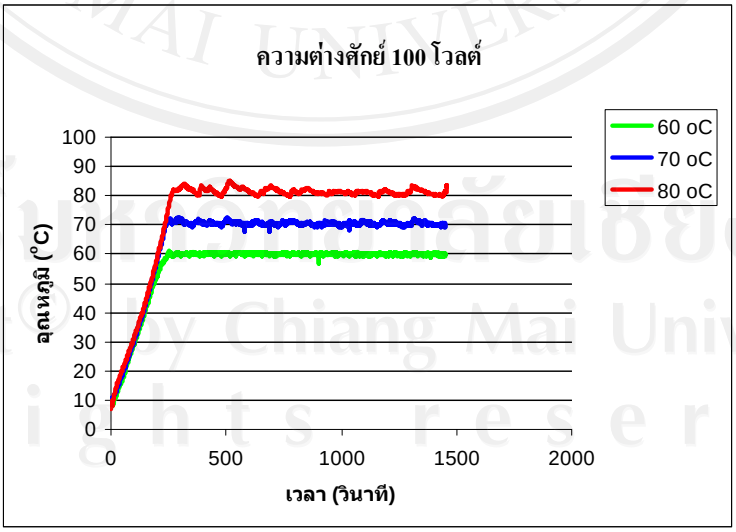
หมายเหตุ - ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเ มาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษ (a-i) ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

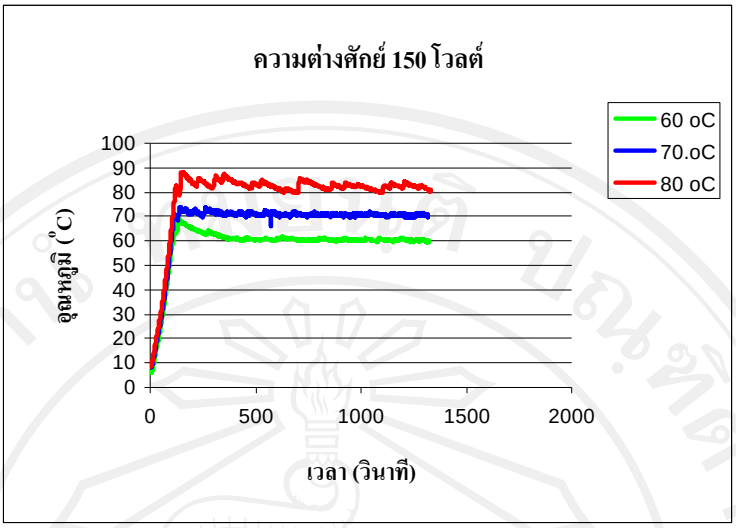
จากผลการทดลองจะพบว่า อัตราการให้ความร้อนของน้ำบัวบกในการทดลองทุกสภาวะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่

อุณหภูมิ 60 °C จะมีอัตราการให้ความร้อน (heating rate) สูงที่สุด คือ 64.57 °C/นาที ในขณะที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ที่อุณหภูมิ 60 °C มีอัตราการให้ความร้อนต่ำที่สุด คือ 13.52 °C/นาที งานวิจัยของปนิธัตถ์ (2545) นั้นพบว่า สภาพการนำไฟฟ้าของนมเปรี้ยวมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นซึ่งเมื่อสภาพการนำไฟฟ้าของอาหารเพิ่มขึ้นก็จะทำให้อาหารร้อนเร็วขึ้นเช่นกัน ซึ่งการเพิ่มระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือความเข้มสนามไฟฟ้าจะเป็นการเพิ่มพลังงานให้กับระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มิกทำให้มีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาความเสถียรของอุณหภูมิของน้ำบัวบกนั้นพบว่า ที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์มีความเสถียรของอุณหภูมิมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในขณะที่ทำการคงอุณหภูมิของน้ำบัวบกและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 60.00 ± 0.35 ส่วนที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า 200 โวลต์ที่อุณหภูมิ 60 °C มีความเสถียรของอุณหภูมิน้อยที่สุด คือ 63.69 ± 4.20 ซึ่งความเสถียรของอุณหภูมิของน้ำบัวบกทุกสภาวะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำ (100 โวลต์) ที่อุณหภูมิต่ำ (60 °C) อุณหภูมิของน้ำบัวบกจะมีความเสถียรสูง แต่เมื่อระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแต่ยังใช้อุณหภูมิที่ต่ำอยู่ ความเสถียรของอุณหภูมิก็จะลดลงเช่นกัน ดังนั้น ในการประยุกต์ใช้ความร้อนแบบโอห์มิกจึงมีตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมอุณหภูมิ คือ ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือความเข้มของสนามไฟฟ้า และอุณหภูมิที่ใช้งาน และสภาพการนำความร้อนของอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปณิธัตถ์ (2545) พบว่า ความเข้มสนามไฟฟ้าแปรผันตรงกับอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของนมเปรี้ยว และแปรผกผันกับความเสถียรของอุณหภูมิ

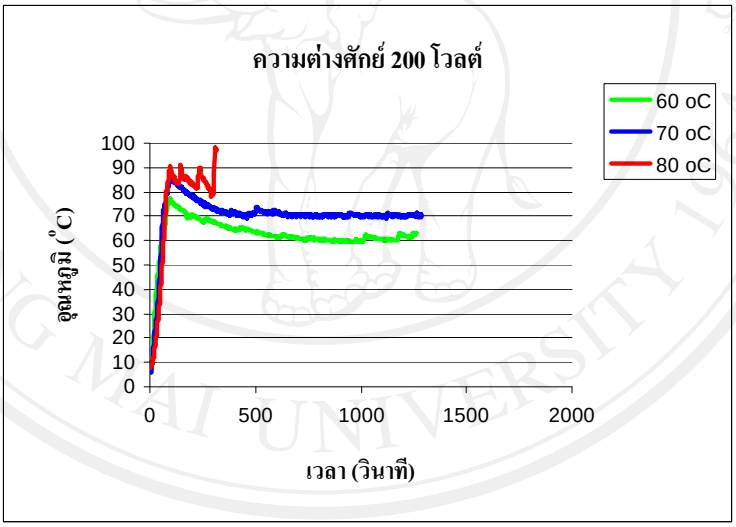


ภาพ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำบัวบกที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำบัวบกที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 150 โวลต์



ภาพ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำบัวบกที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 200 โวลต์

จากกราฟในภาพ 4.1 – 4.3 แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความเสถียรของอุณหภูมิที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า 100, 150 และ 200 โวลต์ที่อุณหภูมิต่างๆ (60, 70 และ 80 °C) เมื่ออุณหภูมิของน้ำบัวบกเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ระบบจะหยุดการให้กระแสไฟฟ้าและรักษาอุณหภูมิในอยู่ในระดับที่กำหนดไว้ แต่ในการทดลองนี้พบว่า การให้ความร้อนแบบโอห์มจะทำให้ระบบมีอุณหภูมิสูงกว่าระดับอุณหภูมิที่กำหนดแล้วจึงปรับเข้าสู่ระดับที่กำหนดไว้ เนื่องจาก ความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นความร้อนที่มาการให้กระแสไฟฟ้าโดยจ่ายผ่านตัวเก็บประจุ (capacitor) เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดระบบจะหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้า แต่ยังมีกระแสไฟฟ้าบางส่วนที่คงเหลืออยู่ในตัวเก็บ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประจุซึ่งสามารถเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้ จึงส่งผลทำให้อุณหภูมิเพิ่มจากระดับที่กำหนดไว้ (Vicente *et al*., 2006) โดยเฉพาะที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า 200 โวลต์ที่อุณหภูมิ 80 °C จะเกิดการพุ่งเกินของอุณหภูมิขึ้นสูงมากจนทำให้น้ำบัวบกใน heating chamber เกิดการเดือดขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากระบบควบคุมอุณหภูมิของระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มิกนี้ยังควบคุมได้ไม่ดีพอ และเมื่อพิจารณาอัตราการให้ความร้อน ความเสถียรของอุณหภูมิและการพุ่งเกินของอุณหภูมิแล้วจึงสมควรที่จะเลือกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ระดับ 100 โวลต์เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการพาสเจอไรซ์น้ำบัวบกโดยการให้ความร้อนแบบโอห์มิก

การทดลองศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการพาสเจอไรซ์น้ำบัวบกโดยการให้ความร้อนแบบโอห์มิกนั้นได้ทำการผันแปร 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิและเวลา โดยผันแปรอุณหภูมิไว้ 3 อุณหภูมิ คือ 60, 70 และ 80 °C และทำการผันแปรเวลา 3 ระดับเช่นกัน คือ 10, 20 และ 30 นาที โดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้อุณหภูมิของบัวบกมีความเสถียรมากที่สุดซึ่งได้มาจากผลการทดลองในข้อ 4.1 คือ 100 โวลต์ โดยผลการทดลองแสดงในตาราง 4.2 และ 4.3

ตาราง 4.2 สมบัติทางกายและทางเคมีของน้ำบัวบกคั้นสดและน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกในสภาวะต่างๆ

ปัจจัยการทดลอง	pH	Total soluble	ค่าสี (color)		
			L	a*	b*
Control	6.60 ± 0.01^{a}	0.53 ± 0.06^{a}	11.64±0.11^{a}	+8.58±0.29^{a}	-4.46±0.24^{a}
60 °C 10 นาที	6.69 ± 0.01^{b}	0.47 ± 0.07 ^{ab}	13.12±0.08^{b}	+6.19±0.43^{b}	-3.03±0.05^{a}
70 °C 10 นาที	6.79 ± 0.01^{c}	0.42 ± 0.02 ^{b}	14.75±0.32^{c}	+6.27±0.28^{b}	-1.47±0.29^{a}
80 °C 10 นาที	6.84 ± 0.01^{d}	0.44 ± 0.02^{ab}	17.14±0.80^{d}	+7.24±0.30^{c}	+3.92±1.12^{b}
60 °C 20 นาที	6.74 ± 0.01^{e}	0.42 ± 0.04^{b}	13.17±0.40^{b}	+6.65±0.29^{bc}	-2.82±0.41^{a}
70 °C 20 นาที	6.77 ± 0.00^{f}	0.43 ± 0.00^{b}	14.40±0.52^{c}	+6.38±0.33^{b}	-2.10±0.10^{a}
80 °C 20 นาที	6.86 ± 0.01^{g}	0.46 ± 0.02^{ab}	17.71±0.52^{de}	+7.38±0.23^{c}	+5.02±0.81^{b}
60 °C 30 นาที	6.72 ± 0.01^{h}	0.47 ± 0.03^{ab}	12.87±0.80^{b}	+6.17±0.12^{bc}	-3.30±0.32^{a}
70 °C 30 นาที	6.76 ± 0.01^{i}	0.43 ± 0.00^{b}	14.62±0.49^{c}	+6.72±0.16^{bc}	-2.08±0.38^{a}
80 °C 30 นาที	6.82 ± 0.00^{j}	0.44 ± 0.04 ^{ab}	18.07±0.75^{e}	+6.76±0.96^{bc}	+5.62±1.25^{b}

หมายเหตุ - ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษ (a-j) ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระดับความเชื่อมั่น95 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลองพบว่า ค่า pH ของน้ำบัวบกในการทดลองทุกสภาวะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และโดยภาพรวมเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น ค่า pH ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bozkurt and Icier (2010) พบว่า ค่า pH ของเนื้อวัว (ground Beef) ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อวัวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิก ในขณะที่ค่า total soluble นั้นพบว่า น้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกจะมีค่า total soluble ลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำบัวบกที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยที่ค่า total soluble ของน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 60 ^{o}C นาน 20 นาทีและที่อุณหภูมิ 70 ^{o}C นาน 10, 20 และ 30 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (น้ำบัวบกที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน) ส่วนค่าสี (color) ของน้ำบัวบกนั้น ได้ทำการวัดโดยใช้ระบบ Hunter L, a*, b* โดยที่ L คือ ความสว่างมีค่า 0 = มืดมาก และ 100 = สว่างมาก , a* คือ สีแดง-สีเขียว (a*(+) = สีแดง , a*(-) = สีเขียว) และ b* คือ สีเหลือง-สีน้ำเงิน (b*(+) = สีเหลือง , b*(-) = สีน้ำเงิน)(อรุณี, 2551) จากผลการทดลองพบว่า ค่าความสว่าง (L) ของน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกในทุกสภาวะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยที่ค่าความสว่างจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและใช้เวลาในการคงอุณหภูมินานขึ้น เนื่องจากการใช้ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต เมื่อใช้ความร้อนมากขึ้นและระยะเวลาที่นานขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีความสว่างเพิ่มมากขึ้น หรือมีสีจางลงนั้นเอง (วิไล, 2546) ส่วนค่า a* นั้นพบว่า น้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกในทุกสภาวะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมเช่นกัน โดยที่ค่า a* ของตัวอย่างควบคุมถึง +8.58 จะมีโทนสีเป็นสีแดงเล็กน้อยแต่เพิ่มอุณหภูมิและใช้เวลาในการคงอุณหภูมินานขึ้น พบว่า ค่า a* ของน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกทุกสภาวะมีค่า a* ลดลง ในขณะที่ค่า b* นั้นพบว่า น้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิ 80 ^{o}C เวลา 10, 20 และ 30 นาทีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยตัวอย่างควบคุมจะมีค่า b* = -4.46 ซึ่งมีโทนสีเป็นสีน้ำเงินเล็กน้อยแต่ในน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกจะมีค่า b* ลดลงและเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นที่ 80 ^{o}C ทุกๆเวลา จะพบว่า ค่า b* จะมีค่าเป็นบวก คือ น้ำบัวบกจะมีโทนสีเป็นสีเหลือง การที่น้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกในทุกสภาวะมีความสว่างเพิ่มขึ้นและเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองที่อุณหภูมิ 80 ^{o}C นั้นอาจเนื่องมาจากน้ำบัวบกเกิดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในระหว่างกระบวนการแปรรูปพืชผักที่มีสีเขียวโดยใช้ความร้อน จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา pheophytinization คือ แมกนีเซียมไอออนจะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอม ทำให้คลอโรฟิลล์ถูกเปลี่ยนเป็นฟิโอไฟติน (pheophytin) จึงเป็นการสูญเสียแร่ธาตุแมกนีเซียมออกไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ สีเขียวของพืชจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (olive-brown) ของฟีโอไฟติน (นิธิยา, 2549) นอกจากนั้นยังพบว่า น้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิ 80 °C เวลา 10, 20 และ 30 นาที น้ำบัวบกจะเกิดการตกตะกอน โดยน้ำบัวบกจะเกิดการแยกชั้นกันระหว่างน้ำและเนื้อของบัวบกอย่างชัดเจน (รูปภาคผนวก ก 4) เนื่องจากเกิดการสูญเสียสมบัติคอลลอยด์ของน้ำบัวบกเนื่องจากการใช้ความร้อนสูง

ตาราง 4.3 สมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำบัวบกคั้นสดและน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกในสภาวะต่างๆ

ปัจจัยการทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/ml)	ยีสต์และรา (cfu/ml)	Coliform (MPN/g)
Control	6.35 ± 0.02^{a}	$<1 \times 10$	-
60 C° 10 นาที	3.88 ± 0.10^{bc}	$<1 \times 10^{0}$	460
70 C° 10 นาที	3.21 ± 0.07^{b}	$<1 \times 10^{0}$	3.6
80 C° 10 นาที	3.98 ± 0.49^{c}	$<1 \times 10^{0}$	460
60 C° 20 นาที	3.67 ± 0.46^{bc}	$<1 \times 10^{0}$	1100
70 C° 20 นาที	3.83 ± 0.58^{bc}	$<1 \times 10^{0}$	3.6
80 C° 20 นาที	3.98 ± 0.62^{c}	$<1 \times 10^{0}$	<3
60 C° 30 นาที	3.81 ± 0.46^{bc}	$<25 \times 10^{0}$	240
70 C° 30 นาที	4.30 ± 0.04^{c}	$<25 \times 10^{0}$	3.6
80 C° 30 นาที	4.33 ± 0.03^{c}	$<25 \times 10^{0}$	<3

หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษ (a,b) ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ค่าที่แสดงในตาราง หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่ทำการทดลองทุกสภาวะมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยที่ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 6.35 ± 0.02 log cfu/ml. ในขณะที่น้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกในทุกสภาวะมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงปริมาณ 2 – 3 log cycle โดยที่น้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 10 นาทีมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงมากที่สุดจากปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น คือ 3.21 ± 0.07 log cfu/ml. ส่วนเชื้อยีสต์และราของตัวอย่างควบคุมและน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C ที่เวลา 10 และ20 นาที พบว่ามีการเจริญของเชื้อยีสต์และราน้อยมาก คือ <1 x 10 และ <1 cfu/ml ในขณะที่น้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิ 60,70 และ 80 °C ที่เวลา 30 นาที พบการเจริญของเชื้อยีสต์และราที่ <25 CFU/ml. และไม่พบเชื้อ *E. coli , S. aureus* และ *C. perfringens* ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในอาหารในน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกในการทดลองทุกสภาวะ (ไม่ได้แสดงในตาราง) การให้ความร้อนแบบโอห์มิกสามารถจะลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์หรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้เนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าที่มีระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสามารถจะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยการทำเกิดรูหรือเรียกว่า electroporation ที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้ผนังเซลล์จุลินทรีย์สูญเสียคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนสารเข้า-ออกของผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ (permeable) นอกจากนี้การใช้กระแสไฟฟ้าที่มีระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำก็สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้เช่นกันแต่ต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนานกว่า (Rahman, 1999) และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การใช้อุณหภูมิสูงขึ้นหรือใช้เวลานานขึ้นนั้น ไม่สามารถที่จะลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากค่า pH เนื่องจากน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลานานขึ้นนั้นค่า pH ก็จะเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย ซึ่งจุลินทรีย์จะสามารถทนทานต่อความร้อนได้ดีเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีค่า pH ใกล้เป็นกลาง (7.0) (นวพร, 2549) นอกจากนั้น น้ำใบบัวบกที่นำมาให้ความร้อนแบบโอห์มิกอาจจะเกิดการปนเปื้อนมาจากดิน ซึ่งอาจจะเป็นสปอร์ของเชื้อแบคทีเรีย การได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงอาจจะไปกระตุ้นการงอกของสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้น้ำใบบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิสูง (70-80 °C) มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Evans และ Curran (1943) ที่พบว่า อุณหภูมิระหว่าง 65 – 95 °C มีผลในการกระตุ้นการงอกของสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 8-10 นาที เมื่อพิจารณาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.163/2546 นั้น พบว่า น้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิ 60 °C ที่เวลา 10, 20 และ 30 นาที และที่อุณหภูมิ 70 °C ที่เวลา 10 และ 20 นาที และที่อุณหภูมิ 80 °C ที่เวลา 10 และ 20 นาที อยู่ในเกณฑ์ของมผช.163/2546 คือ มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $1x10^4$ CFU/ml หรือ < 4 log cfu/ml. และมีปริมาณเชื้อยีสต์และราต้องน้อยกว่า $1x10^2$ CFU/ml. หรือ < 2 log cfu/ml. และต้องไม่พบเชื้อ *E. coli S .aureus* และ *C. perfringens* แต่เนื่องจาก มผช.163/2546 ไม่ได้กำหนดปริมาณโคลิฟอร์มไว้ การศึกษาในตอนต่อไปจึงพิจารณาเลือกสภาวะการพาสเจอไรซ์ที่ทำให้น้ำบัวบกมีปริมาณโคลิฟอร์มน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาปริมาณโคลิฟอร์มน้อยที่สุดจะพบว่า น้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิ 70 °C ที่เวลา 10 นาทีมีปริมาณโคลิฟอร์มน้อยที่สุด คือ 3.6 MPN/g ดังนั้น การให้ความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิ 70 °C ที่เวลา 10 นาที จึงมีความเหมาะสมในการพาสเจอไรซ์น้ำบัวบกมากที่สุด

4.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางจุลินทรีย์ของน้ำบัวบกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C นาน 4 สัปดาห์

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงในตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลานาน 4 สัปดาห์

ปัจจัยการทดลอง	สัปดาห์ที่ 0 (log cfu/ml.)	สัปดาห์ที่ 1 (log cfu/ml.)	สัปดาห์ที่ 2 (log cfu/ml.)	สัปดาห์ที่ 3 (log cfu/ml.)	สัปดาห์ที่ 4 (log cfu/ml.)
Control	6.35 ± 0.02^{a}	-	-	-	-
60 °C 10 นาที	3.88 ± 0.10^{bc}	4.38 ± 0.09^{a}	7.24 ± 0.13^{a}	7.93 ± 0.21^{bc}	9.08 ± 0.12^{c}
70 °C 10 นาที	3.21 ± 0.07^{b}	4.29 ± 0.04^{b}	5.75 ± 0.51^{c}	7.26 ± 1.01^{ab}	8.72 ± 0.62^{bc}
80 °C 10 นาที	3.98 ± 0.49^{c}	4.76 ± 0.42^{c}	5.74 ± 0.37^{c}	7.31 ± 0.12^{ab}	8.18 ± 0.10^{ab}
60 °C 20 นาที	3.67 ± 0.46^{bc}	4.98 ± 0.77^{d}	6.57 ± 0.54^{ab}	8.20 ± 0.16^{c}	8.16 ± 0.13^{ab}
70 °C 20 นาที	3.83 ± 0.58^{bc}	4.90 ± 0.99^{e}	6.74 ± 0.59^{ab}	7.92 ± 0.43^{bc}	8.85 ± 0.52^{c}
80 °C 20 นาที	3.98 ± 0.62^{c}	4.72 ± 0.45^{f}	5.48 ± 0.54^{c}	6.91 ± 0.52^{a}	8.08 ± 0.04^{a}
60 °C 30 นาที	3.81 ± 0.46^{bc}	5.38 ± 0.98^{g}	8.28 ± 0.09^{d}	9.01 ± 0.20^{d}	10.98 ± 0.47^{d}
70 °C 30 นาที	4.30 ± 0.04^{c}	5.31 ± 0.63^{h}	6.75 ± 0.58^{ab}	7.75 ± 0.57^{abc}	9.23 ± 0.05^{c}
80 °C 30 นาที	4.33 ± 0.03^{c}	5.17 ± 0.70^{i}	6.12 ± 0.06^{bc}	7.11 ± 0.03^{ab}	8.23 ± 0.03^{ab}

หมายเหตุ - ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษ (a-j) ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลองพบว่า น้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C ในการทดลองทุกสภาวะ มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นประมาณ 1 -3 log cycle ในทุกๆ สัปดาห์ และเมื่อพิจารณาถึงน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิ 70 °C ที่เวลา 10 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์น้อยที่สุด พบว่า ในสัปดาห์ที่ 1 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 4.29 ± 0.04 log cfu/ml ในสัปดาห์ที่ 2 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

เพิ่มขึ้นเป็น 5.75 ± 0.51 log cfu/ml ในขณะที่ในสัปดาห์ที่ 3 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 7.26 ± 1.01 log cfu/ml และในสัปดาห์ที่ 4 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นเป็น 8.72 ± 0.62 log cfu/ml และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.163/2546) ซึ่งได้ทำการกำหนดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด < 4 log cfu/ml จึงพิจารณาได้ว่าน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 10 นาที มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 1 สัปดาห์ เนื่องจากปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ 1 สัปดาห์ยังมีปริมาณน้อยกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ส่วนปริมาณยีสต์และราทั้งหมดของน้ำบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกในทุกๆสภาวะที่ทำการเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิ 4 °C มีปริมาณเชื้อ <25 x 10^0 cfu/ml ในการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 1 – 4

4.4 ผลของปริมาณน้ำตาลที่มีต่อค่าสีของน้ำบัวบกที่ผ่านการพาสเจอไรซ์โดยการให้ความร้อนแบบโอห์มิก

การทดลองศึกษาผลของน้ำตาลที่มีค่าสีของน้ำบัวบกที่ผ่านการพาสเจอไรซ์โดยการให้ความร้อนแบบโอห์มิกนั้นได้ทำการผันแปรปริมาณน้ำตาล 3 ระดับ คือ 0, 10 และ 15 %โดยใช้เวลาในการพาสเจอไรซ์นาน 30 นาทีและใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้อุณหภูมิของบัวบกมีความเสถียรมากที่สุดซึ่งได้มาจากผลการทดลองในข้อ 4.1 โดยผลการทดลองแสดงในตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ค่าสีของน้ำบัวบกที่มีการเติมน้ำตาลก่อนการพาสเจอไรซ์โดยการให้ความร้อนแบบโอห์มิก

ปัจจัยการทดลอง	ค่าสี (color)		
	L	a*	b*
Control	14.27 ± 0.03^{a}	$+3.89 \pm 0.02^{ae}$	-0.44 ± 0.07^{a}
60°C + sugar 0%	14.80 ± 0.06^{ab}	$+4.76 \pm 0.07^{b}$	-1.00 ± 0.12^{a}
70°C + sugar 0%	18.89 ± 2.15^{c}	$+2.97 \pm 0.67^{cd}$	-0.42 ± 0.17^{a}
80°C + sugar 0%	20.89 ± 0.47^{d}	$+2.33 \pm 0.37^{c}$	$+0.34 \pm 0.11^{a}$
60°C + sugar 10%	14.89 ± 0.20^{abe}	$+3.53 \pm 0.13^{ad}$	-0.46 ± 0.22^{a}
70°C + sugar 10%	16.03 ± 0.20^{ade}	$+2.77 \pm 0.14^{cd}$	-0.36 ± 0.01^{a}
80°C + sugar 10%	16.45 ± 1.25^{ce}	$+4.11 \pm 0.45^{abe}$	$+1.85 \pm 2.08^{b}$
60°C + sugar 15%	16.06 ± 0.04^{abe}	$+4.59 \pm 0.18^{be}$	-0.79 ± 0.14^{a}
70°C + sugar 15%	17.94 ± 1.79^{ce}	$+4.16 \pm 1.03^{abe}$	-1.18 ± 0.46^{a}
80°C + sugar 15%	17.32 ± 0.97^{ce}	$+7.62 \pm 0.14^{f}$	$+2.38 \pm 1.53^{b}$

หมายเหตุ - ค่าที่แสดงในตาราง หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษ (a-f) ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความสว่าง หรือค่า L ของน้ำบัวบกที่มีน้ำตาล 0 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 70 และ 0, 10 และ15 % ที่อุณหภูมิ 80 °C มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยน้ำบัวบกที่มีน้ำตาล 0% ที่อุณหภูมิ 80 °C จะมีค่าความสว่างสูงที่สุด คือ 20.89 แต่นำไปเปรียบเทียบกับน้ำบัวบกที่มีน้ำตาล 10 และ15 % ที่อุณหภูมิ 80 °C เช่นกัน จะพบว่า ค่าความสว่างของน้ำบัวบกจะลดลง ในขณะที่ค่า a* ของน้ำบัวบกที่มีน้ำตาล 0 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 60 °C และ 0 และ 10% ที่อุณหภูมิ 70 °C และ 0 และ 15% ที่อุณหภูมิ 80 °C มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยน้ำบัวบกที่มีน้ำตาล 15 % ที่อุณหภูมิ 80 °C มีค่า a* เพิ่มสูงขึ้นที่สุดคือ +7.62 ซึ่งน้ำบัวบกจะมีสีแดงเข้มกว่าตัวอย่างควบคุม และค่า b* ของน้ำบัวบกที่มีน้ำตาล 10 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 80 °C มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมน้ำบัวบกที่มีน้ำตาล 10 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 80 °C มีค่า b* เพิ่มสูงขึ้นเป็น +1.85 และ +2.38 ตามลำดับ ซึ่งน้ำบัวบกจะเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่าน้ำบัวบกที่มีน้ำตาล 10 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C จะมีค่าสีใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมแต่จะมีความสว่างขึ้น ส่วนน้ำบัวบกที่มีน้ำตาล 10 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 80 °C นั้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสีของน้ำบัวบกที่มีและไม่มีปริมาณน้ำตาลในแต่ละอุณหภูมิ พบว่า ค่าความสว่าง (L) ของน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 0, 10 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 60 °C มีไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ในขณะที่ค่า a* ของน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 10% ที่อุณหภูมิ 60 °C มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 0 และ 15 % โดยที่น้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 10% ที่อุณหภูมิ 60 °C จะมีสีแดงลดลง (ค่า a* = +3.53) แต่ค่า b* ของน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 0, 10 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 60 °C ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ น้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 0, 10 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าความสว่าง (L) ไม่ความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนค่า a* ของน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 0, 10 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 70 °C ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และค่า b* ของน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 0 และ10 %มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับและน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 15 % ที่อุณหภูมิ 70 °C โดยที่ค่า b* จะมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความสว่าง (L) ของน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 0 % ที่อุณหภูมิ 80 °C มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำบัวบกที่ปริมาณน้ำตาล 10 และ 15 % อุณหภูมิ 80 °C โดยค่าความสว่างของน้ำบัวบกที่ปริมาณน้ำตาล 10 และ15 % ที่อุณหภูมิ 80°C จะมีค่าความสว่างลดลง ในขณะที่ ค่า a* ของน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 0, 10 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 80 °C มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่า a* จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มขึ้น (น้ำบัวบกมีสีแดงมากขึ้น) และค่า b* ของน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 0, 10 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 80 °C ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อสังเกตค่า b* ที่วัดได้จะพบว่า ค่า b* ของน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาล 0, 10 และ 15 % ที่อุณหภูมิ 80 °C จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น แสดงว่า น้ำบัวบกที่อุณหภูมิ 80 °C จะมีสีเหลืองมากขึ้น จากผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น สีของน้ำบัวบกทั้งที่มีปริมาณน้ำตาลและไม่มีปริมาณน้ำตาลจะมีความสว่างเพิ่มสูงขึ้น และสีของน้ำใบบัวบกจะเปลี่ยนเป็นสีแดง-เหลืองมากขึ้น ซึ่งเกิดจากการสูญเสียคลอโรฟิลล์จากอุณหภูมิที่สูงเกินไป แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างน้ำบัวบกที่ไม่มีน้ำตาลและน้ำบัวบกที่มีน้ำตาลจะพบว่า น้ำบัวบกที่ไม่มีน้ำตาลจะเกิดการสูญเสียคลอโรฟิลล์มากกว่าน้ำบัวบกที่มีน้ำตาลโดยเฉพาะการใช้อุณหภูมิต่ำ (60 °C) จะช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์ได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับรายงานปิยะมาศ (2550) น้ำตาลจะช่วยรักษาสารประกอบในน้ำบัวบก เช่น คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ เนื่องจากน้ำตาลมีคุณสมบัติในการรักษาสีตามธรรมชาติของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved