

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณภาพของมะนาวพันธุ์แป้น

จากการศึกษาคุณภาพของมะนาวพันธุ์แป้น โดยศึกษาน้ำหนักต่อผล น้ำหนักเปลือกต่อผล และปริมาณน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวได้ผล ดังแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ปริมาณน้ำมะนาวที่คั้นได้จากผลมะนาวสด

ส่วนประกอบของผล	น้ำหนักต่อผล (กรัม)	ร้อยละต่อน้ำหนักผล
น้ำหนักผล	41.25±1.53	100
น้ำหนักเปลือก	6.33±1.02	15.35
น้ำหนักน้ำมะนาวที่คั้นได้	19.36±1.37	46.93
ปริมาณกากจากการคั้นน้ำมะนาว (ที่ไม่มีเปลือกภายนอก)	15.56	37.72

จากผลการศึกษาดังตาราง 4.1 พบว่ามะนาวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีน้ำหนักผลมะนาวเฉลี่ยต่อผลเท่ากับ 41.25±1.53 กรัม มีน้ำหนักเปลือกโดยเฉลี่ยต่อผลเท่ากับ 6.33±1.02 กรัม และเมื่อนำมาคั้นน้ำมะนาวด้วยเครื่องคั้นน้ำมะนาวได้ปริมาณน้ำมะนาวเฉลี่ยต่อผลเท่ากับ 19.36±1.37 กรัม

เมื่อนำข้อมูลดังตารางไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของผลมะนาวกับเปลือก และน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยเครื่องคั้นน้ำมะนาว จะพบว่าน้ำหนักผลมะนาวสด น้ำหนักเปลือกมะนาวที่ปอกได้ และน้ำหนักน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยเครื่องคั้นน้ำมะนาวไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ก-1) แสดงว่าผลมะนาวที่มีน้ำหนักมากไม่ได้หมายความว่า จะคั้นน้ำมะนาวได้ในปริมาณมาก หรือมีเปลือกมาก เสมอไป

ปริญญญา (2547) รายงานน้ำหนักต่อผลของมะนาวพันธุ์เป็นอายุ 14-15 สัปดาห์ไว้ในการศึกษา มะนาวเพื่อผลิตเป็นน้ำมะนาวพร้อมปรุงและผลิตภัณฑ์เกี่ยวเนื่อง ว่าน้ำหนักมะนาวสดต่อผลมี ค่าเฉลี่ย 43.70 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาในตาราง 4.1 และจะมีปริมาณน้ำมะนาวต่อผล เฉลี่ย 42.40 มิลลิลิตร จากการนำมะนาวไปอบแห้ง

4.2 ปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมะนาว น้ำมะนาว และวิตามินซีในน้ำมะนาวที่ผลไม่ผ่านการลวก

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมะนาวสดพันธุ์เป็น พบว่าในเปลือก มะนาวสดพันธุ์เป็นมีปริมาณสารลิโมนิน 325 ± 25.07 ppm ปริมาณสารลิโมนินและวิตามินซี ในน้ำมะนาวสดที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว รวมทั้งปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปของกรดซิตริก ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลายได้ และ ค่าสี L a^* และ b^* แสดงผลดังตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์ที่ได้ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพและสมบัติทาง เคมี ของผลมะนาวที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลา ต่างกัน

จากตารางแสดงผลการทดลอง 4.2 แสดงผลการศึกษาศสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ของน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวจากผลสดที่ปอกเปลือกออก และไม่ได้ปอกเปลือก รวมทั้ง ปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมะนาว พบว่าปริมาณสารลิโมนินที่พบในเปลือกมะนาวสดเท่ากับ 325.21 ± 25.07 ppm ในส่วนของน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวพบว่า ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ผลไม่ได้ปอกเปลือก มีปริมาณสารลิโมนิน เท่ากับ 242.23 ± 34.00 ppm ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ผลถูกนำมาปอกเปลือกก่อนจะคั้นน้ำมีค่าเท่ากับ 107.34 ± 11.74 ppm เห็นได้ว่าในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ผลไม่ได้ปอกเปลือกมี ปริมาณสารลิโมนิน มากกว่าน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ผลถูกนำมาปอกเปลือกก่อนจะ คั้นน้ำ นั่นแสดงว่ามีสารลิโมนินจากเปลือกมะนาวถูกคั้นออกมาพร้อมกับน้ำมะนาวด้วย เนื่องจาก การคั้นน้ำมะนาวด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ซึ่งสภาวะในการบีบคั้นจะมีผลต่อปริมาณสารลิโมนิน กล่าวคือถ้าหากใช้แรงบีบคั้นขนาดต่ำ ปริมาณสารลิโมนินก็จะต่ำ ถ้าหากใช้แรงบีบคั้นสูงก็จะมี ปริมาณสารลิโมนินสูงตามไปด้วย นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากระยะเวลาในการสัมผัสระหว่าง น้ำผลไม้กับเนื้อเยื่อของผลไม้ การแยกเศษเนื้อเยื่อออกโดยเร็วจากน้ำผลไม้จะช่วยลดปริมาณ สารลิโมนินได้

ตาราง 4.2 สมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวจากผลมะนาวที่ไม่ผ่านการลวก

สมบัติทางกายภาพ/ทางเคมี	ผลการวิเคราะห์	
	ไม่ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำ	ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำ
สารลิโมนิน (ppm)	242.23*±34.00	107.34*±11.74
วิตามินซี (mg/100 ml)	32.98 ^{ns} ±3.46	34.72 ^{ns} ±3.51
ของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	7.52*±0.24	7.19*±0.08
ความเป็นกรด-ด่าง	1.93 ^{ns} ±0.09	1.96 ^{ns} ±0.07
ปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปของกรดซิตริก (ร้อยละของกรด)	8.62 ^{ns} ±0.96	8.96 ^{ns} ±0.55
ค่าสี		
L	35.56*±5.54	49.14*±5.96
a*	-3.84 ^{ns} ±1.86	-5.51 ^{ns} ±3.32
b*	14.81±2.48	19.32*±3.70

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} ข้อมูลในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

* ข้อมูลในแนวนอนมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สุชาดา (2541) ศึกษาการลดความขมของมะนาวโดยใช้ตัวดูดซับ และการเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยเบื้องต้นศึกษาปริมาณลิโมนินในเปลือกมะนาว และในน้ำมะนาวสดพบว่า ในเปลือกมะนาวมีสารลิโมนิน 172.49 – 1049.80 ppm และในน้ำมะนาวมีสารลิโมนิน 52.12 – 291.92 ppm โดยปริมาณสารลิโมนิน จะขึ้นอยู่กับ ฤดูกาล แหล่งที่ปลูก การดูแลรักษา ตลอดจนการเก็บเกี่ยว

ปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวสดที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลไม่ได้ปอกเปลือก มีค่าเท่ากับ 32.98±3.46 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรและ ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ผลถูกนำมาปอกเปลือกก่อนจะคั้นน้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.72±3.51 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร เมื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวสดที่ผลไม่ได้ปอกเปลือกกับที่ผลถูกนำมาปอกเปลือกก่อนจะคั้นน้ำ พบว่า ปริมาณวิตามินซีเฉลี่ยในน้ำมะนาวสดที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ผลไม่ได้ปอกเปลือก กับในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้น

น้ำมะนาวที่ผลถูกนำมาปอกเปลือกก่อนจะคั้นน้ำ มีค่าเท่ากับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ภาคผนวก ค-2)

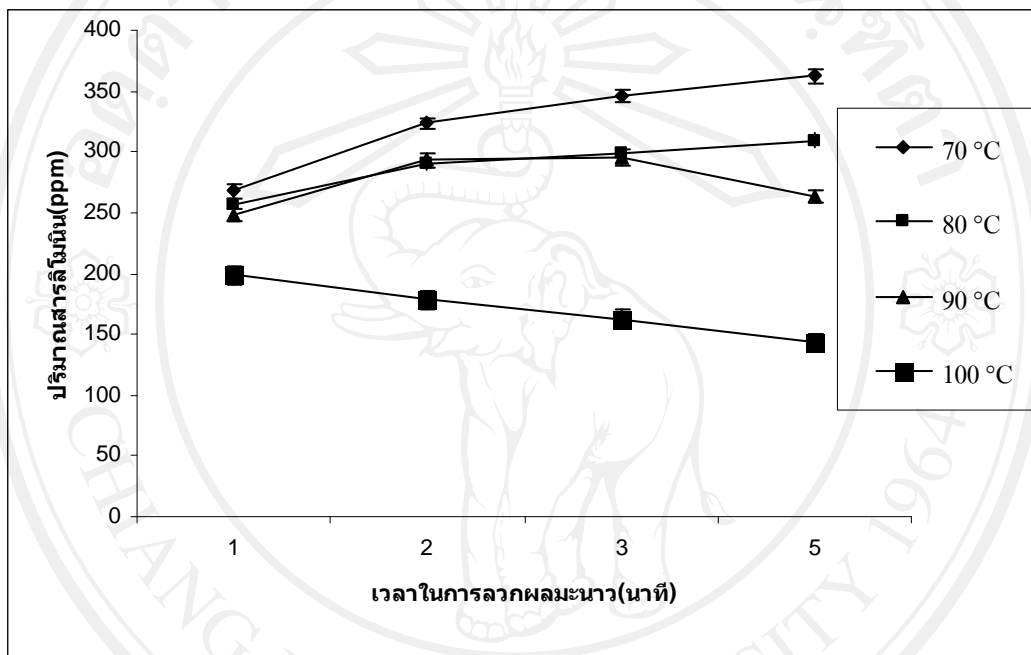
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ได้จากการคั้นผลมะนาวที่ปอกเปลือก กับน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวที่ไม่ได้ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำ จะพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมะนาว ปริมาณกรดทั้งหมด คำนวณในรูปซิริทริก และค่าสี a^* (a^* มีค่าเป็นบวกให้ สีแดง, a^* มีค่าเป็นลบให้ สีเขียว) พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าสี L (มีค่าระหว่าง 0 มิลลิกรัม ถึง 100 มิลลิกรัม) และค่าสี b^* (b^* มีค่าเป็นบวกให้ สีเหลือง, b^* มีค่าเป็นลบให้ สีน้ำเงิน) ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวที่ปอกเปลือกจะมีค่ามากกว่าน้ำมะนาว ที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวที่ไม่ได้ปอกเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ค-2) แต่ทั้งสองกระบวนการคือทั้งปอกเปลือก และไม่ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำ ค่าสีที่ได้สอดคล้องกับสีในน้ำมะนาวธรรมชาติ

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวที่ไม่ได้ปอกเปลือก มากกว่าน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ได้จากการคั้นผลมะนาวที่ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำ ซึ่งอาจจะเกิดจากมีของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเปลือกของมะนาวละลายออกมากับน้ำมะนาวในขั้นตอนของการคั้นน้ำมะนาวด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้จะแตกต่างกันหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ชนิดเครื่องคั้นน้ำมะนาว แรงกดในการคั้นน้ำ รวมทั้งการเตรียมผลมะนาวก่อนคั้น สอดคล้องกับการศึกษาของวรรณิ (2544) ซึ่งได้รายงานว่ามีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวที่ไม่ได้ปอกเปลือก (8.0 ± 0.9) มีค่ามากกว่าน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ได้จากการคั้นผลมะนาวที่ ปอกเปลือก (7.6 ± 0.4) ดังตาราง 2.10 และพบว่าปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปของกรดซิริทริก ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณวิตามินซี และ ค่าสี L a^* และ b^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาของวรรณิ (2544) กับผลการศึกษาในตาราง 4.3 มีผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีที่วิเคราะห์ได้บางอย่างแตกต่างกันนั้นอาจจะเป็นผลมาจากฤดูกาล สถานที่เพาะปลูก และการเก็บเกี่ยวผลมะนาว

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมะนาวจากผลสดที่ได้จากการวิเคราะห์ของ สุวรรณิ (2544) ได้รายงานการศึกษาไว้ว่าในน้ำมะนาวจากมะนาวพันธุ์แป้นจะประกอบด้วยปริมาณวิตามินซีร้อยละ 45.56 ปริมาณกรดซิริทริก ร้อยละ 6.70 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.84 และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ $7.00 \text{ }^\circ\text{Brix}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลดังตาราง 4.2 แต่ก็มีบางสมบัติที่แตกต่างกันซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.3 ปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมะนาว ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว โดยผลมะนาวผ่านการลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่างกัน

ศึกษาปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมะนาว เมื่อทำการลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 2 3 และ 5 นาที พบการเปลี่ยนแปลงของสารลิโมนินที่เปลือกมะนาว ได้ผลดังภาพ 4.1 และตาราง 4.3



ภาพ 4.1 ปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมะนาวที่ผลผ่านการลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

จากตาราง 4.3 พบว่าปริมาณสารลิโมนินในเปลือกของมะนาวที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิต่างกัน (172.93±21.43 ถึง 324.74±36.31) และปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมะนาวเมื่อลวกผลมะนาวด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน (242.66±27.24 ถึง 275.41±69.15) มีค่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการลวกต่างกัน พบว่าการลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการลวก ในขณะที่เมื่อทำการลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ปริมาณสารลิโมนินมีแนวโน้มลดลงเมื่อลวกมะนาวนานขึ้น แต่พบว่าการลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 นาที ปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมะนาวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการลวก แต่เมื่อเวลาที่ใช้ลวกเพิ่มเป็น 3 และ 5 นาที ปริมาณสารลิโมนินกลับมีแนวโน้มลดลง และมีแนวโน้มที่จะลดลงต่อไปเมื่อลวกนานขึ้น

ตาราง 4.3 ปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมะนาว ที่ผลมะนาวผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

ปัจจัย	ปริมาณสารลิโมนิน (ppm)
ปัจจัยเดี่ยว (อุณหภูมิ)	
70 °C	324.74 ^d ±36.31
80 °C	288.62 ^c ±20.50
90 °C	274.91 ^b ±20.95
100 °C	172.93 ^a ±21.43
ปัจจัยเดี่ยว (เวลา)	
1 นาที	242.66 ^a ±27.24
2 นาที	271.26 ^b ±55.79
3 นาที	275.41 ^c ±69.15
5 นาที	269.87 ^b ±81.32
ปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ x เวลา)	
70 °C x 1 นาที	267.68 ^e ±6.26
70 °C x 2 นาที	323.72 ^l ±4.41
70 °C x 3 นาที	345.56 ^m ±4.85
70 °C x 5 นาที	362.03 ⁿ ±5.46
80 °C x 1 นาที	256.54 ^f ±4.58
80 °C x 2 นาที	289.58 ^h ±3.94
80 °C x 3 นาที	298.71 ^j ±4.39
80 °C x 5 นาที	309.66 ^k ±5.45
90 °C x 1 นาที	247.85 ^c ±5.24
90 °C x 2 นาที	293.04 ^{hi} ±5.32
90 °C x 3 นาที	295.22 ^{ji} ±7.28
90 °C x 5 นาที	263.54 ^e ±4.92
100 °C x 1 นาที	198.59 ^d ±7.37
100 °C x 2 นาที	178.72 ^c ±8.01
100 °C x 3 นาที	162.16 ^b ±6.54
100 °C x 5 นาที	144.28 ^a ±6.80

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแต่ละกลุ่มปัจจัย อักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. ^{ns} หมายถึง ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อศึกษาปัจจัยร่วมระหว่าง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาวต่อปริมาณสารลิโมนิน พบว่าปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมะนาวที่ลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน มีค่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (อยู่ในช่วง 144.28 ± 6.80 ถึง 345.56 ± 4.85 ppm) นั้นแสดงว่ามี อิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ลวก (ภาคผนวก ค-3) โดยที่อุณหภูมิที่ใช้ในการลวกที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 นาที พบว่ามีปริมาณสารลิโมนินในเปลือกมากที่สุดคือ 309.66 ± 5.45 ppm จากรายงานของ อัจฉรา (2532) ที่พบว่าหลังจากนำน้ำมะนาวมาพลาสเจอไรซ์ที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้น 2.86 เท่า ของปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวสดโดยมีการให้เหตุผลว่าเกิดจากการเปลี่ยนจากสาร limonoate A-ring lactone ไปเป็นลิโมนิน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรายงานของ Maier et al. (1968) ว่า เอนไซม์ limonoid D-ring lactone hydrolase ซึ่งเป็น เอนไซม์ที่เปลี่ยนแปลงสาร limonoate A-ring lactone ไปเป็นสารลิโมนิน และรายงานไว้ว่าเอนไซม์ ชนิดนี้ ที่พบในผลไม้ตระกูลส้มมีความคงตัวที่อุณหภูมิที่สูงๆ ทำงานได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.5 ขณะเดียวกันได้กล่าวไว้ว่า กิจกรรมของเอนไซม์นี้จะลดลงร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเวลา 5 นาที ในขณะที่ในการหาปริมาณสารลิโมนินด้วยเครื่อง HPLC ในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม ของ Shaw and Wilson (1984) ให้นำน้ำผลไม้สด 60 มิลลิลิตรไปอุ่นใน อ่างน้ำร้อน 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 3 นาที เพื่อให้เกิดสารลิโมนิน ในน้ำผลไม้ให้สูงที่สุด คือ มีการเปลี่ยนแปลงจากสาร limonoate A-ring lactone ไปเป็นสารลิโมนิน ซึ่งจากผลข้างต้นเป็นไปได้ว่าที่ อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่ไปกระตุ้นให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ limonoid D-ring lactone hydrolase เปลี่ยนแปลงสารจาก limonoate A-ring lactone มาเป็นสาร ลิโมนิน

ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสมิแวนว้มน้เพิ่มข้ขึ้นของลิโมนินในช่วงที่ใช้เวลาลวก1-2 นาที แต่เมื่อเวลามากขึ้นกลับพบว่าปริมาณสารลิโมนินมีแวนว้มน้ลดลง น่าจะเกิดจากการสลายตัวของ สารลิโมนิน หรือ เอนไซม์ limonoid D-ring lactone hydrolase เกิดการ เสื่อมสภาพ รวมทั้งอาจจะเกิด จากการทำที่เซลล์เนื้อเยื่อของเปลือกมะนาวเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น เซลล์แตก เซลล์ฉีกขาดทำให้ สารลิโมนินภายในเนื้อเยื่อเปลือกหลุดออกไปอยู่ในน้ำร้อนที่ใช้ลวกผลมะนาว ซึ่งที่100 องศาเซลเซียส ก็น่าจะเป็นเหตุผลเช่นเดียวกัน

เพื่อตรวจสอบว่ามีการหลุดออกมาของสารลิโมนินจากเนื้อเยื่อเปลือกของเปลือกมะนาว จึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการลวกไปวิเคราะห์หาปริมาณสารลิโมนิน ได้ผลดังตาราง4.4

ตาราง 4.4 ปริมาณสารลิโมนิน (ppm) ในน้ำที่ใช้ลวกมะนาว

อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาว (นาที)			
	1	2	3	5
70	11.45 ^a ±5.79	12.71 ^a ±6.70	10.15 ^a ±7.72	10.24 ^a ±4.12
80	8.42 ^a ±4.79	10.51 ^a ±5.18	10.42 ^a ±4.02	9.87 ^a ±5.82
90	9.67 ^a ±3.10	8.22 ^{ab} ±5.60	6.32 ^b ±4.37	8.45 ^b ±5.04
100	6.08 ^b ±4.05	7.25 ^b ±4.22	6.12 ^b ±4.32	7.75 ^b ±4.71

หมายเหตุ - ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวเลขที่กำกับด้วยอักษรต่างชนิดกันแสดงว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตาราง 4.4 พบว่ามีสารลิโมนินออกมาจากผลของมะนาว นั้นแสดงว่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้ลวกผลมะนาวมีผลต่อเซลล์ของมะนาว จนมีสารลิโมนินบางส่วนหลุดออกมา

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณสารลิโมนินในน้ำร้อนที่ใช้ลวกผลมะนาว จะพบว่าการลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 2 3 และ 5 นาที และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 และ 2 นาที มีปริมาณสารลิโมนินในน้ำร้อนที่ใช้ลวกผลมะนาวไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และในขณะที่การลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 3 และ 5 นาที และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 2 3 และ 5 นาที มีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีปริมาณสารลิโมนินน้อยกว่าที่การลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส

แต่เมื่อพิจารณาร้อยละการคงเหลือของสารลิโมนินในเปลือกมะนาวเมื่อนำผลไปลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันจากตาราง 4.5 จะพบว่าการลวกมะนาวที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีร้อยละการคงเหลือของสารลิโมนินในเปลือกมะนาวน้อยที่สุด ดังนั้นการสูญเสียสารลิโมนินในเปลือกเป็นผลมาจากการหลุดออกของสารลิโมนินจากเนื้อเยื่อของเปลือกมะนาวไปยังน้ำร้อนที่ใช้ลวกแสดงว่า ปริมาณสารลิโมนินที่หลุดออกมาบางส่วนเกิดการเสียดสภาพหรือสลายตัวไป เนื่องจากความร้อน

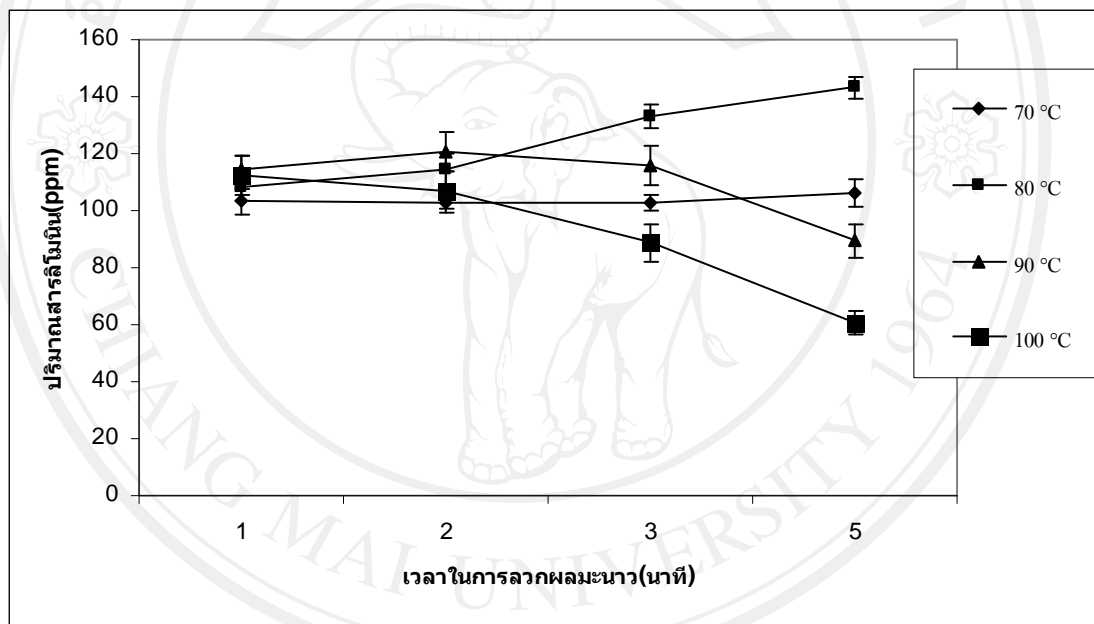
ตาราง 4.5 ร้อยละการคงเหลือของสารลิโมนิน ในเปลือกมะนาวที่ผลมะนาวผ่านการลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาท)	ปริมาณสารลิโมนิน (ppm)	ร้อยละการคงเหลือ
เปลือกมะนาวสด (control)		325.21±25.07	100
70	1	267.68±6.26	82.31
70	2	323.72±4.41	99.54
70	3	345.56±4.85	106.26
70	5	362.03±5.46	111.32
80	1	256.54±4.58	78.88
80	2	289.58±3.94	89.04
80	3	298.71±4.39	91.85
80	5	309.66±5.45	95.22
90	1	247.85±5.24	76.21
90	2	293.04±5.32	90.11
90	3	295.22±7.28	90.78
90	5	263.54±4.92	81.04
100	1	198.59±7.37	61.07
100	2	178.72±8.01	54.96
100	3	162.16±6.54	49.86
100	5	144.28±6.80	44.37

หมายเหตุ - ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากผลการทดลอง จึงกล่าวได้ว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสารลิโมนินที่เปลือกของมะนาวตามระยะเวลาที่ใช้ในการลวก มะนาว เมื่อนำไปลวกที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นผลมาจากการกระตุ้นให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ limonoid D-ring lactone hydrolase ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และการลดลงของสารลิโมนินที่เปลือกของมะนาวเมื่อลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นผลมาจากการสลายตัวหรือเสถียรภาพของสารลิโมนินเนื่องจากความร้อน และการเสถียรภาพ (Denature) ของเอนไซม์ limonoid D-ring lactone hydrolase เนื่องจากความร้อนเช่นกัน

ทำการศึกษาเพื่อพิจารณาว่า การลดลงของสารลิโมนินที่เปลือกมะนาวเป็นผลมาจากมีสารลิโมนินในเปลือกมะนาวแพร่ผ่านเข้าไปในส่วนผลด้านในเนื่องจากเซลล์ และเนื้อเยื่อมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน หรือขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของสารลิโมนินในเปลือกมะนาวเกิดจากมีการแพร่ผ่านของสารลิโมนินจากผลด้านในเข้าสู่ภายในเปลือกของมะนาว เมื่อนำผลมะนาวมาลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้น ได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว จากผลมะนาวที่ผ่านการลวก และทำการปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว ได้ผลดังภาพ 4.2 และตาราง 4.6 จากนั้นนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในผลมะนาวสด และนำมาคำนวณหาร้อยละการคงเหลือ ของสารลิโมนินในน้ำมะนาว



ภาพ 4.2 ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลผ่านการลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว

ตาราง 4. 6 ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว และผลมะนาวผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

ปัจจัย	ปริมาณสารลิโมนิน (ppm)	
	ปอกเปลือกผลก่อนคั้น	ไม่ปอกเปลือกผลก่อนคั้น
ปัจจัยเดี่ยว (อุณหภูมิ)		
70 °C	103.77 ^b ±3.99	235.84 ^c ±18.34
80 °C	124.81 ^d ±14.77	243.98 ^d ±18.81
90 °C	110.08 ^c ±13.61	223.99 ^b ±21.99
100 °C	93.73 ^a ±22.33	139.72 ^a ±24.52
ปัจจัยเดี่ยว (เวลา)		
1 นาที	109.69 ^{ab} ±6.85	202.66 ^a ±20.20
2 นาที	112.53 ^b ±8.65	219.26 ^b ±37.94
3 นาที	110.15 ^{ab} ±17.34	218.41 ^b ±54.34
5 นาที	100.02 ^a ±30.32	203.87 ^a ±61.45
ปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ x เวลา)		
70 °C x 1 นาที	103.11 ^c ±4.25	207.60 ^f ±5.13
70 °C x 2 นาที	102.62 ^c ±3.20	237.37 ^h ±5.83
70 °C x 3 นาที	102.80 ^c ±2.50	246.48 ^j ±5.10
70 °C x 5 นาที	106.55 ^{cd} ±4.55	251.95 ^k ±8.70
80 °C x 1 นาที	108.53 ^d ±5.11	214.32 ^g ±5.06
80 °C x 2 นาที	114.38 ^e ±5.29	244.37 ⁱ ±4.48
80 °C x 3 นาที	133.21 ^e ±3.93	256.44 ^l ±4.57
80 °C x 5 นาที	143.14 ^h ±3.50	260.79 ^m ±3.63
90 °C x 1 นาที	114.49 ^c ±4.95	217.30 ^g ±4.98
90 °C x 2 นาที	120.50 ^f ±6.85	241.62 ⁱ ±4.20
90 °C x 3 นาที	115.93 ^e ±6.64	244.86 ^{ji} ±4.86
90 °C x 5 นาที	89.44 ^b ±5.68	192.20 ^o ±6.47
100 °C x 1 นาที	112.65 ^d ±6.88	168.96 ^d ±5.26
100 °C x 2 นาที	112.65 ^d ±6.88	155.19 ^c ±5.99
100 °C x 3 นาที	88.67 ^b ±6.71	155.19 ^c ±5.99
100 °C x 5 นาที	60.96 ^a ±4.08	108.96 ^a ±6.29

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแต่ละกลุ่มปัจจัย อักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. ^{ns} หมายถึง ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว และผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว ดังภาพ 4.3 และตาราง 4.6 จะพบว่าปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว โดยผ่านการลวกที่อุณหภูมิต่างกัน (93.73 ± 22.33 ถึง 124.81 ± 14.77) มีค่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิในการลวกต่างกัน ในขณะที่ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวเมื่อลวกผลมะนาวด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน (100.02 ± 30.32 ถึง 112.53 ± 8.65) การลวกนาน 1 และ 3 นาที มีค่าไม่ต่างกับการลวกนาน 2 และ 5 นาที ($p > 0.05$) แต่การลวกนาน 5 นาที แตกต่างกับการลวกนาน 2 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 1 2 และ 3 นาที ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว มีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่ปริมาณสารลิโมนินจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อลวกนาน 5 นาที และการลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการลวกผลมะนาวนานขึ้น ในขณะที่การลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการลวกผลมะนาวนานขึ้น

การลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส จะพบว่าการลวกเป็นเวลา 1 และ 2 นาที ทำให้ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณสารลิโมนินน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวจากผลสด ซึ่งอาจจะเกิดจากการแพร่ของสารลิโมนินเข้าสู่ภายในผลของมะนาว เมื่อเนื้อเยื่อเปลือกเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากน้ำร้อน หรือเกิดจากการกระตุ้นให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ limonoid D-ring lactone hydrolase เนื่องจากอุณหภูมิ แต่เมื่อใช้เวลาในการลวกผลมะนาวนานขึ้นเป็น 3 และ 5 นาที พบว่าปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวมีแนวโน้มลดลง เมื่อเทียบกับปริมาณสารลิโมนินน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวจากผลสด เป็นไปได้ว่าอุณหภูมิภายในผลมะนาวเพิ่มมากขึ้นจนทำให้สารลิโมนินเริ่มมีการเสียหายหรือสลายตัว หรือ เอนไซม์ limonoid D-ring lactone hydrolase เสียสภาพเนื่องจากความร้อน

จากตารางที่ 4.6 การลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารลิโมนิน แม้ว่าจะลวกนาน 5 นาที แต่ไม่ควรลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ น้ำมะนาวที่คั้นได้มีรสขมมากขึ้น และจะมีรสขมมากขึ้นเมื่อลวกนานขึ้น เนื่องจากปริมาณสารลิโมนินที่มีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่ลวกนานขึ้น แต่ควรนำมาลวกที่อุณหภูมิ 90 ถึง 100 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ปริมาณสารลิโมนินลดลงแต่ก็ต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพอื่นๆเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นด้วย

ตาราง 4.7 ร้อยละการคงเหลือของปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ผลมะนาวผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันและปอกเปลือกผลมะนาวก่อนคั้นน้ำ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ปริมาณสารลิโมนิน (ppm)	ร้อยละการคงเหลือ
มะนาวสด (control)		107.34±11.74	100
70	1	103.11±4.25	96.06
70	2	102.62±3.20	95.60
70	3	102.80±2.50	95.77
70	5	106.55±4.55	98.88
80	1	108.53±5.11	101.11
80	2	114.38±5.29	106.56
80	3	133.21±3.93	124.10
80	5	143.14±3.50	133.35
90	1	114.49±4.95	106.66
90	2	120.50±6.85	112.26
90	3	115.93±6.64	108.00
90	5	89.44±5.68	83.32
100	1	112.65±6.88	104.95
100	2	107.12±6.34	99.80
100	3	88.67±6.71	82.61
100	5	60.96±4.08	56.79

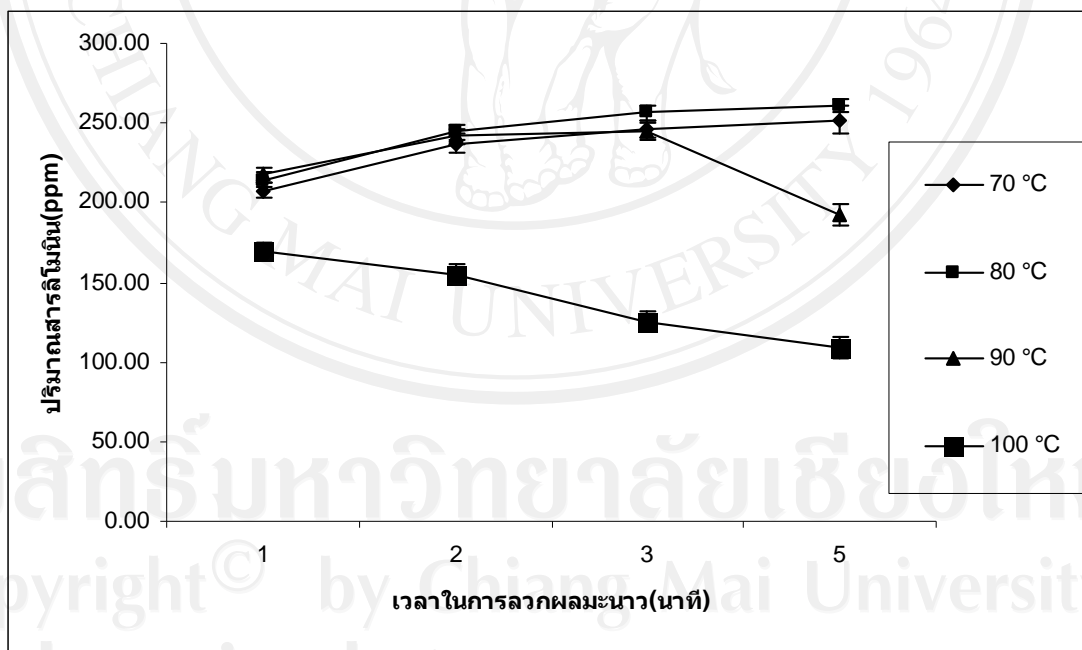
หมายเหตุ - ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อพิจารณาการคงเหลือของสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว และผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิเวลาต่างกัน (ตาราง 4.7) พบว่าการลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที มีสารลิโมนินเหลืออยู่ในน้ำมะนาวคั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวลดลงเหลือเพียงร้อยละ 56.79

เมื่อพิจารณาปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว พบว่าอุณหภูมิ และเวลาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาว และพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการลวกมีอิทธิพล

ร่วมกันต่อปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ก-4) นั่นคือการลวกมะนาวนานขึ้นจะทำให้มีปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว เพิ่มมากขึ้นเมื่อลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส หรือปริมาณสารลิโมนินจะลดลง เมื่อลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส

จากตาราง 4.6 ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่นำผลไปลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และไม่ได้ปอกเปลือกผลมะนาวก่อนคั้นน้ำ พบว่าปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว โดยผ่านการลวกที่อุณหภูมิต่างกัน (139.72 ± 24.52 ถึง 243.98 ± 18.81) มีค่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิในการลวกต่างกัน ในขณะที่ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว เมื่อลวกผลมะนาวด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน (100.02 ± 30.32 ถึง 112.53 ± 8.65) พบว่าปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ในการลวกนาน 1 และ 5 นาที มีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และลวกนาน 2 และ 3 นาทีก็เช่นกัน เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 4.6 มาเขียนกราฟระหว่างเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาว กับปริมาณสารลิโมนิน ได้ดังภาพ 4.3



ภาพ 4.3 ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลผ่านการลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และไม่ได้ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว

จากภาพที่ 4.4 ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส หรือปริมาณสารลิโมนินจะลดลง เมื่อลวกผลมะนาว ที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส

ข้อมูลปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่ผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และไม่ได้ปอกเปลือกผลมะนาวก่อนคั้นน้ำ ดังตาราง 4.6 นำไปคำนวณหาร้อยละการคงเหลือของสารลิโมนินได้ดังตาราง 4.8

ตาราง 4.8 ร้อยละการคงเหลือของปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลมะนาวผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันและปอกเปลือกผลมะนาวก่อนคั้นน้ำ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ปริมาณสารลิโมนิน (ppm)	ร้อยละการคงเหลือ
มะนาวสด (control)		242.23±34.00	100
70	1	267.68±6.26	85.07
70	2	323.72±4.41	97.99
70	3	345.5±4.85	101.75
70	5	362.03±5.46	104.01
80	1	256.54±4.58	88.48
80	2	256.54±4.58	100.88
80	3	298.70±4.39	105.87
80	5	309.66±5.45	107.66
90	1	217.30±4.98	89.71
90	2	241.62±4.20	99.75
90	3	244.86±4.86	101.09
90	5	192.20±6.47	79.35
100	1	168.96±5.26	69.75
100	2	155.19±5.99	64.07
100	3	125.77±6.02	51.92
100	5	108.96±6.29	44.98

หมายเหตุ - ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตาราง 4.6 - 4.8 พบว่าปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันกับในเปลือกมะนาวที่ผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของสารลิโมนินเมื่อเวลาในการลวกนานขึ้น และการลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 และ 2 นาที มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารลิโมนิน และค่อยๆลดลงเมื่อเวลาในการลวกนานขึ้นเป็น 3 และ 5 นาที ในขณะที่การลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวมีการลดลงเมื่อเวลาในการลวกนานขึ้น

เมื่อศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิที่ใช้ในการลวกผลมะนาว เมื่ออุณหภูมิในการลวกเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวและไม่ได้เปลือก ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย แสดงว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการลวกผลมะนาวเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ในขณะที่ ปัจจัยด้านเวลาพบว่าเมื่อเวลาในการลวกผลมะนาวนานขึ้น ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย หมายความว่าเวลาเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว รวมทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาในการลวกมีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ค-5) นั่นคือการลวกมะนาวนานขึ้นและเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้มีปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวเพิ่มมากขึ้นหรือลดลง

ในการคั้นน้ำมะนาวด้วยที่คั้นน้ำมะนาวแบบบีบ กด จะทำให้สารลิโมนินในเปลือกมะนาว ซึ่งมีมากกว่าในน้ำมะนาวปนออกมาคั้นน้ำมะนาวที่คั้นได้ ทำให้ในน้ำมะนาวมีรสขมเนื่องจากสารลิโมนินมากขึ้น ปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวจะมากหรือน้อยส่วนหนึ่งคืออยู่กับ แรงกด การแยกกากออกจากน้ำมะนาวอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิ เป็นต้น ในทางปฏิบัติในระดับอุตสาหกรรมไม่สามารถเปลือกมะนาวก่อนคั้นน้ำมะนาวได้ และวิธีคั้นน้ำมะนาวที่สะดวกและรวดเร็วที่สุดก็คือการบีบ กด แต่ก็สามารถแก้ไขได้โดยการลวกมะนาวที่อุณหภูมิสูงๆ เช่น ที่ 100 องศาเซลเซียส เพื่อลดปริมาณสารลิโมนินที่เปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว จากตาราง 4.8 จะพบว่าที่ 100 องศาเซลเซียส ลวกนาน 5 นาทีสามารถลดปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นได้ ได้ถึงร้อยละ 55.02

4.4 ปริมาณวิตามินซี ในน้ำมะนาวที่ผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลมะนาวผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน ได้ผลดังตาราง 4.9 และตาราง 4.10

ตาราง 4.9 ปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว และผลมะนาวผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

ปัจจัย	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 ml)	
	ปอกเปลือกผลก่อนคั้น	ไม่ปอกเปลือกผลก่อนคั้น
ปัจจัยเดี่ยว (อุณหภูมิ)		
70 °C	29.35 ^a ±3.99	28.80 ^a ±2.95
80 °C	31.69 ^b ±14.77	31.17 ^b ±2.86
90 °C	31.56 ^c ±13.61	31.14 ^b ±3.09
100 °C	29.16 ^a ±22.33	29.08 ^a ±5.44
ปัจจัยเดี่ยว (เวลา)		
1 นาที	30.97 ^b ±3.50	30.84 ^b ±4.02
2 นาที	30.99 ^b ±3.96	30.41 ^b ±4.02
3 นาที	30.74 ^{ab} ±3.05	30.46 ^b ±2.08
5 นาที	29.06 ^a ±3.23	28.48 ^a ±4.55
ปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ x เวลา)		
70 °C x 1 นาที	30.13 ^{bcd} ±3.13	28.54 ^{bc} ±0.83
70 °C x 2 นาที	29.00 ^b ±6.01	29.09 ^{bcd} ±4.07
70 °C x 3 นาที	29.28 ^b ±3.54	28.21 ^b ±1.26
70 °C x 5 นาที	29.01 ^b ±2.46	29.39 ^{bcd} ±4.21
80 °C x 1 นาที	31.16 ^{bcd} ±3.55	31.16 ^{cd} ±2.20
80 °C x 2 นาที	31.98 ^{cd} ±2.69	31.38 ^{cd} ±3.39
80 °C x 3 นาที	32.38 ^{cd} ±3.79	31.38 ^{cd} ±2.54
80 °C x 5 นาที	31.27 ^{bcd} ±2.51	30.77 ^{cd} ±3.37
90 °C x 1 นาที	30.93 ^{bcd} ±3.93	31.92 ^d ±2.02
90 °C x 2 นาที	32.74 ^d ±1.93	30.78 ^{bcd} ±5.38
90 °C x 3 นาที	31.38 ^{bcd} ±0.50	31.55 ^d ±0.95
90 °C x 5 นาที	31.16 ^{bcd} ±0.91	30.29 ^{bcd} ±2.13
100 °C x 1 นาที	31.67 ^{bcd} ±3.54	31.76 ^d ±7.24
100 °C x 2 นาที	30.26 ^{bcd} ±3.02	30.39 ^{bcd} ±2.86
100 °C x 3 นาที	29.91 ^{bc} ±2.38	30.69 ^{bcd} ±1.31
100 °C x 5 นาที	24.81 ^a ±1.21	23.50 ^a ±4.13

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแต่ละกลุ่มปัจจัย อักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

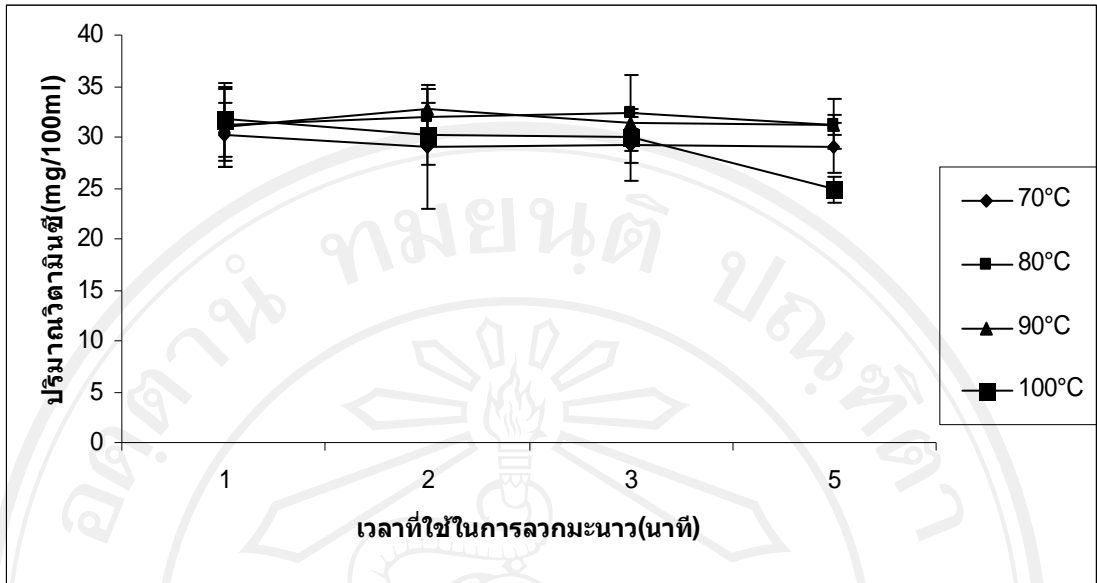
2. ^{ns} หมายถึง ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.10 ร้อยละการสูญเสียวิตามินซี ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว และผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ร้อยละการสูญเสียวิตามินซี	
		ปอกเปลือกผลก่อนคั้นน้ำ	ไม่ปอกเปลือกผลก่อนคั้นน้ำ
70	1	13.22	13.46
70	2	16.47	11.80
70	3	15.67	14.46
70	5	16.47	10.89
80	1	10.25	5.52
80	2	7.89	4.85
80	3	6.74	4.85
80	5	9.94	6.70
90	1	10.92	3.21
90	2	5.70	6.67
90	3	9.62	4.34
90	5	10.25	8.16
100	1	8.78	3.70
100	2	12.85	7.85
100	3	13.85	6.94
100	5	28.54	28.74

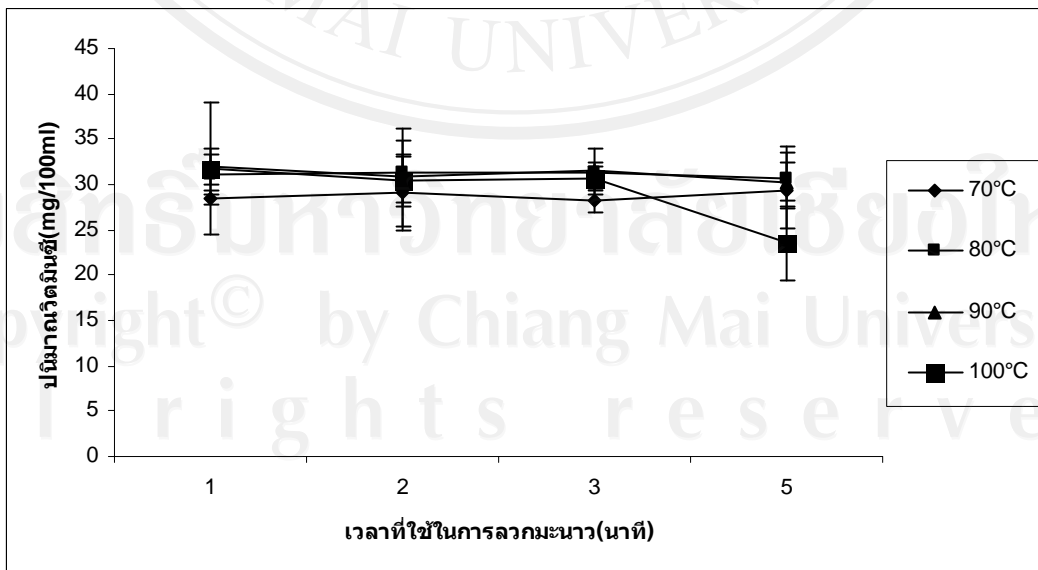
หมายเหตุ - ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณวิตามินซี ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และปอกเปลือกผลมะนาวก่อนคั้นน้ำ เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาว กับ ปริมาณวิตามินซี ได้ดังภาพ 4.4



ภาพ 4.4 ปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว และผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว

ปริมาณวิตามินซี ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และไม่ได้ปอกเปลือกผลมะนาวก่อนคั้นน้ำ เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาว กับ ปริมาณวิตามินซี ได้ดังภาพ 4.5



ภาพ 4.5 ปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว และผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และไม่ได้ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว

จากตาราง 4.9 และ 4.10 จะพบว่าในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว และนำผลไป ลวกที่อุณหภูมิ และ เวลาต่างกัน ทั้งปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาวหรือไม่ได้ปอกเปลือก ก่อนคั้นน้ำมะนาว มีปริมาณวิตามินซีลดลง เมื่อเทียบกับปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่ คั้นน้ำมะนาวจากผลสดที่ไม่ได้ลวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะน้ำมะนาวที่คั้นได้ ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวและผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที พบว่าวิตามินซี ลดลงถึง ร้อยละ 28 ในขณะที่น้ำมะนาวที่คั้นได้จากผลมะนาวที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 70 80 90 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 2 และ 3 นาที มีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

มีรายงานการศึกษาของวรรณิ (2545) ที่ศึกษาการลวกมะนาวที่อุณหภูมิต่างๆกันพบว่า การ ลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 70-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาทีไม่ทำให้ปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาว เกิดการเปลี่ยนแปลง

เมื่อนำปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวที่ผลผ่านการลวกน้ำร้อน ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน โดยปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว และไม่ได้ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว พบว่าอุณหภูมิ และ เวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาวเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาว และ พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการลวกผลมะนาว มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ค-6 และภาคผนวก ค-7) นั่นคือการลวกผลมะนาว ที่อุณหภูมิสูงและนานขึ้นจะทำให้มีการสูญเสียวิตามินซีมากขึ้น

จากตาราง 4.10 ถ้าต้องการให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีน้อยที่สุด เนื่องจากการนำผลมะนาว มาลวกน้ำร้อนเพื่อลดความขมในน้ำมะนาว ควรจะเลือกลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส หรือ 100 องศาเซลเซียสไม่เกิน 5 นาที จะเห็นว่าที่สภาวะดังกล่าวมีการสูญเสีย วิตามินซีร้อยละ 3 – 8 ซึ่งน้อยกว่าการลวกมะนาวที่ 70 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 100 องศา เซลเซียส นาน 5 นาที และการลวกมะนาวที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที มีการสูญเสียวิตามินซี น้อยที่สุด ซึ่งเป็นไปตามหลักการลวกผักผลไม้เพื่อให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีน้อยที่สุด

4.5 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาวต่อ สมบัติทางกายภาพ และ สมบัติทางเคมี ของน้ำมะนาว

ศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาว ต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติ ทางเคมีของน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ได้แก่ ค่าสี ($L a^* b^*$) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปของกรดซิตริก ได้ผลดังตาราง 4.11 และ ตาราง 4.12

ตาราง 4.11 ปริมาณกรดทั้งหมด คำนวณในรูปของกรดซิตริก ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าสี L a* b* ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลมะนาวผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันและไม่ได้ปอกเปลือกก่อนการคั้นน้ำ

ปัจจัย	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละของกรดซิตริก)	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ (°Brix)	ค่าสี		
				L	a*	b*
ปัจจัยเดี่ยว (อุณหภูมิ)				ns		
70 °C	7.13 ^a ±0.20	1.80 ^a ±0.06	7.04 ^a ±0.38	42.51±4.40	-3.81 ^b ±2.14	14.96 ^a ±2.82
80 °C	9.63 ^b ±0.3	2.07 ^c ±0.08	7.22 ^b ±0.24	43.68±5.32	-5.72 ^a ±1.29	20.55 ^c ±3.59
90 °C	9.50 ^b ±0.57	2.00 ^b ±0.05	7.26 ^b ±0.33	44.08±2.98	-3.35 ^b ±1.92	15.87 ^{ab} ±5.14
100 °C	10.24 ^c ±0.57	2.00 ^b ±0.08	7.43 ^c ±0.40	44.12±3.75	-3.12 ^b ±1.52	17.01 ^b ±3.18
ปัจจัยเดี่ยว (เวลา)					ns	
1 นาที	9.27 ^b ±0.20	1.87 ^a ±0.03	7.27 ^b ±0.45	43.35 ^{ab} ±4.40	-4.01±2.14	18.46 ^b ±5.20
2 นาที	9.27 ^b ±0.3	2.02 ^b ±0.05	7.44 ^c ±0.26	42.36 ^a ±5.32	-3.79±1.29	16.79 ^a ±4.38
3 นาที	9.23 ^b ±0.57	2.02 ^a ±0.07	6.99 ^a ±0.34	44.40 ^c ±2.98	-3.74±1.92	16.50 ^a ±3.26
5 นาที	8.73 ^a ±0.57	1.97 ^c ±0.07	7.24 ^b ±0.22	44.27 ^{ab} ±3.75	-4.47±1.52	16.65 ^a ±3.96
ปัจจัยรวม (อุณหภูมิ x เวลา)						
70 °C x 1 นาที	6.82 ^a ±0.20	1.73 ^a ±0.04	6.91 ^b ±0.25	44.43 ^{bc} ±2.71	-4.11 ^{cd} ±1.38	16.05 ^{abc} ±2.43
70 °C x 2 นาที	7.22 ^b ±0.3	1.80 ^b ±0.05	7.41 ^{gh} ±0.22	40.65 ^a ±4.61	-3.43 ^{cde} ±2.01	13.92 ^a ±3.07
70 °C x 3 นาที	7.28 ^b ±0.57	1.78 ^b ±0.03	6.57 ^a ±0.12	41.57 ^{ac} ±4.77	-3.67 ^{cde} ±2.10	14.86 ^{abc} ±2.57

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแต่ละกลุ่มปัจจัย อักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. ^{ns} หมายถึง ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.11 (ต่อ)

ปัจจัย	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละของกรดซิตริก)	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ (°Brix)	ค่าสี		
				L	a*	b*
ปัจจัยรวม (อุณหภูมิ x เวลา)						
70 °C x 5 นาที	7.20 ^b ±0.58	1.89 ^c ±0.03	7.29 ^{defg} ±0.16	43.41 ^{abc} ±4.40	-4.05 ^{cd} ±2.94	15.04 ^{abc} ±3.03
80 °C x 1 นาที	9.89 ^{de} ±0.34	2.06 ^h ±0.05	7.10 ^{bcd} ±0.32	43.43 ^{abc} ±5.32	-5.79 ^a ±1.83	21.77 ^f ±4.61
80 °C x 2 นาที	9.81 ^{de} ±0.23	2.02 ^{fgh} ±0.07	7.34 ^{efg} ±0.18	42.80 ^{abc} ±2.98	-5.59 ^{ab} ±1.34	20.78 ^{ef} ±1.47
80 °C x 3 นาที	9.89 ^{de} ±0.64	2.04 ^{gh} ±0.07	7.21 ^{cdefg} ±0.09	43.89 ^{abc} ±3.75	-5.89 ^a ±1.03	19.65 ^{def} ±3.57
80 °C x 5 นาที	8.97 ^c ±0.17	2.18 ^j ±0.04	7.23 ^{cdefg} ±0.27	44.59 ^{bc} ±3.58	-5.63 ^{ab} ±0.92	20.02 ^{def} ±3.94
90 °C x 1 นาที	9.50 ^d ±0.11	9.50 ^d ±0.11	7.32 ^{defg} ±0.49	43.70 ^{abc} ±5.37	-3.23 ^{cde} ±1.89	17.99 ^{cde} ±7.43
90 °C x 2 นาที	9.76 ^{de} ±0.09	9.76 ^{de} ±0.09	7.43 ^{gh} ±0.35	43.47 ^{abc} ±4.88	-3.35 ^{cde} ±1.68	16.18 ^{abc} ±3.07
90 °C x 3 นาที	9.63 ^d ±0.17	9.63 ^d ±0.17	7.13 ^{cde} ±0.14	45.89 ^c ±5.72	-2.99 ^{cde} ±1.49	15.07 ^{abc} ±2.57
90 °C x 5 นาที	9.11 ^c ±0.14	9.11 ^c ±0.14	7.20 ^{cdef} ±0.16	43.26 ^{abc} ±3.61	-3.85 ^{cde} ±2.56	14.27 ^{ab} ±4.03
100 °C x 1 นาที	10.87 ^g ±1.42	10.87 ^g ±1.42	7.76 ⁱ ±0.19	41.87 ^{ab} ±5.88	-2.90 ^{cde} ±1.76	18.05 ^{cde} ±2.61
100 °C x 2 นาที	10.31 ^f ±0.65	10.31 ^f ±0.65	7.59 ^{hi} ±0.26	42.53 ^{abc} ±3.56	-2.80 ^{de} ±1.57	16.31 ^{abc} ±5.25
100 °C x 3 นาที	10.13 ^{ef} ±0.09	10.13 ^{ef} ±0.09	7.05 ^{bc} ±0.45	46.27 ^c ±2.51	-2.45 ^c ±1.13	16.42 ^{abc} ±1.20
100 °C x 5 นาที	9.68 ^d ±0.35	9.68 ^d ±0.35	7.34 ^{efg} ±0.26	45.82 ^c ±3.19	-4.36 ^{bc} ±0.82	17.28 ^{bcd} ±1.82

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแต่ละกลุ่มปัจจัย อักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.^{ns} หมายถึง ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.12 ปริมาณกรดทั้งหมด จำนวนในรูปของกรดซิตริก ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าสี L a* b* ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลมะนาวผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันและปอกเปลือกก่อนการคั้นน้ำ

ปัจจัย	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละของกรดซิตริก)	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ (°Brix)	ค่าสี		
				L	a*	b*
ปัจจัยเดี่ยว (อุณหภูมิ)			ns	ns	ns	
70 °C	6.98 ^a ±0.40	1.87 ^a ±0.03	7.08±0.38	43.81±6.53	-3.22±2.02	14.86 ^a ±2.78
80 °C	9.59 ^b ±0.45	2.02 ^c ±0.05	7.27±0.24	42.98±4.47	-3.27±1.63	17.57 ^b ±5.23
90 °C	9.52 ^b ±0.27	2.02 ^c ±0.07	7.25±0.33	44.98±5.52	-3.17±1.87	15.94 ^{ab} ±3.04
100 °C	9.63 ^b ±0.43	1.97 ^a ±0.07	7.01±0.40	43.19±6.11	-3.47±1.62	19.95 ^c ±5.01
ปัจจัยเดี่ยว (เวลา)					ns	
1 นาที	9.14 ^d ±1.36	1.89 ^a ±0.03	7.08 ^{ab} ±0.38	43.46 ^b ±4.10	-3.22±1.71	16.68 ^{ab} ±3.37
2 นาที	8.99 ^b ±1.14	2.06 ^b ±0.05	7.30 ^b ±0.24	40.92 ^a ±5.54	-3.34±2.18	16.34 ^a ±5.59
3 นาที	8.92 ^b ±1.18	2.02 ^b ±0.07	7.02 ^a ±0.33	48.03 ^c ±5.04	-3.44±1.64	16.81 ^{ab} ±3.02
5 นาที	8.67 ^a ±0.99	2.04 ^d ±0.07	7.21 ^{ab} ±0.40	42.57 ^{ab} ±5.62	-3.13±1.59	18.49 ^b ±5.46
ปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ x เวลา)						
70 °C x 1 นาที	6.86 ^a ±0.25	1.81 ^a ±0.04	7.30 ^c ±0.28	43.57 ^{bcd} ±4.62	-3.17 ^a ±2.10	15.16 ^{ab} ±2.53
70 °C x 2 นาที	7.00 ^{ab} ±0.26	1.85 ^b ±0.02	7.05 ^{abc} ±0.16	40.14 ^{ab} ±7.42	-3.17 ^a ±2.18	14.41 ^a ±3.64
70 °C x 3 นาที	6.97 ^{ab} ±0.48	1.87 ^b ±0.02	6.69 ^a ±1.51	47.59 ^{dc} ±6.66	-3.49 ^a ±1.74	15.03 ^{ab} ±2.13

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแต่ละกลุ่มปัจจัย อักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. ns หมายถึง ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.12 (ต่อ)

ปัจจัย	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละของกรดซิตริก)	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ (°Brix)	ค่าสี		
				L	a*	b*
ปัจจัยรวม (อุณหภูมิ x เวลา)						
70 °C x 5 นาที	7.10 ^b ±0.55	1.99 ^f ±0.03	7.31 ^c ±0.21	43.97 ^{bcde} ±5.05	-3.06 ^a ±2.15	14.87 ^{ab} ±2.70
80 °C x 1 นาที	10.03 ^h ±0.27	1.97 ^{ef} ±0.02	7.01 ^{abc} ±0.87	42.91 ^{abc} ±3.85	-3.30 ^a ±1.25	17.79 ^{abcd} ±4.17
80 °C x 2 นาที	9.63 ^{fg} ±0.23	1.95 ^{de} ±0.01	7.77 ^d ±0.84	40.14 ^{ab} ±5.41	-3.43 ^a ±1.89	16.39 ^{abcd} ±3.92
80 °C x 3 นาที	9.68 ^{fg} ±0.23	1.96 ^{de} ±0.02	7.18 ^{abc} ±0.17	44.93 ^{cde} ±4.17	-3.71 ^a ±1.53	17.20 ^{abcd} ±4.15
80 °C x 5 นาที	9.03 ^c ±0.34	2.20 ^k ±0.04	7.11 ^{abc} ±0.34	43.97 ^{bcde} ±2.64	-3.26 ^a ±1.44	18.91 ^{cd} ±7.80
90 °C x 1 นาที	9.52 ^{efg} ±0.09	9.52 ^{efg} ±0.09	7.24 ^{bc} ±0.20	43.08 ^{abc} ±4.00	43.08 ^{abc} ±4.00	15.85 ^{abc} ±3.43
90 °C x 2 นาที	9.69 ^g ±0.13	9.69 ^g ±0.13	7.35 ^c ±0.13	41.64 ^{abc} ±3.74	41.64 ^{abc} ±3.74	15.00 ^{ab} ±3.07
90 °C x 3 นาที	9.61 ^{fg} ±0.16	9.61 ^{fg} ±0.16	7.18 ^{abc} ±0.20	51.88 ^f ±3.69	51.88 ^f ±3.69	16.21 ^{abcd} ±2.57
90 °C x 5 นาที	9.25 ^{cd} ±0.37	9.25 ^{cd} ±0.37	7.24 ^{bc} ±0.17	43.35 ^{bc} ±3.75	43.35 ^{bc} ±3.75	16.73 ^{abcd} ±2.03
100 °C x 1 นาที	10.13 ^h ±0.15	10.13 ^h ±0.15	6.78 ^{ab} ±0.53	44.31 ^{bcde} ±4.19	44.31 ^{bcde} ±4.19	17.95 ^{bcd} ±2.61
100 °C x 2 นาที	9.64 ^{fg} ±0.36	9.64 ^{fg} ±0.36	7.04 ^{abc} ±0.68	41.77 ^{abc} ±4.51	41.77 ^{abc} ±4.51	19.57 ^{cd} ±8.25
100 °C x 3 นาที	9.44 ^{def} ±0.36	9.44 ^{def} ±0.36	7.03 ^{abc} ±0.46	47.72 ^c ±2.31	47.72 ^c ±2.31	18.82 ^{cd} ±1.20
100 °C x 5 นาที	9.31 ^{de} ±0.26	9.31 ^{de} ±0.26	7.21 ^{bc} ±0.36	39.01 ^a ±8.27	39.01 ^a ±8.27	23.48 ^c ±2.82

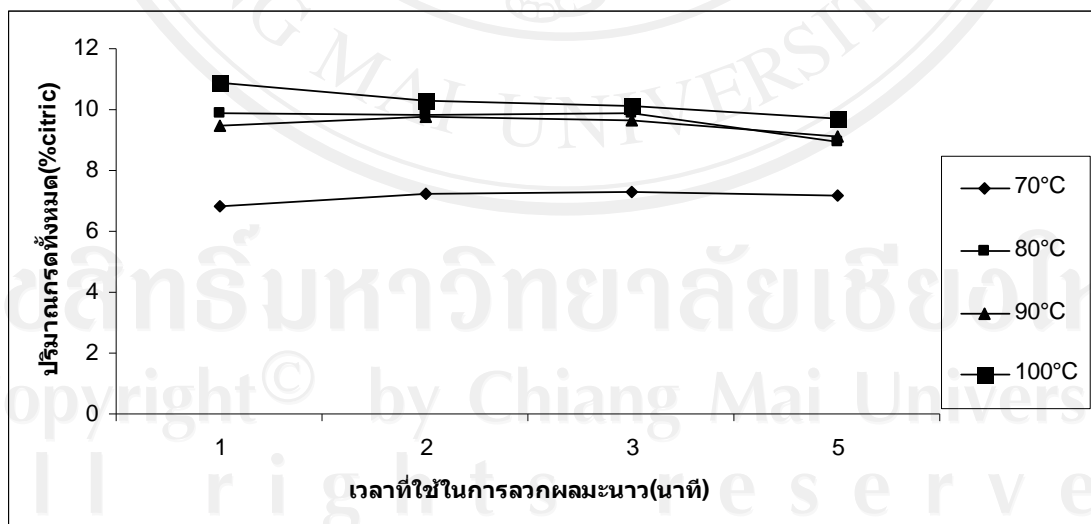
หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแต่ละกลุ่มปัจจัย อักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. ns หมายถึง ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตาราง 4.11 และตาราง 4.12 เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่นำผลมะนาวไปลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน พิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ได้ดังนี้

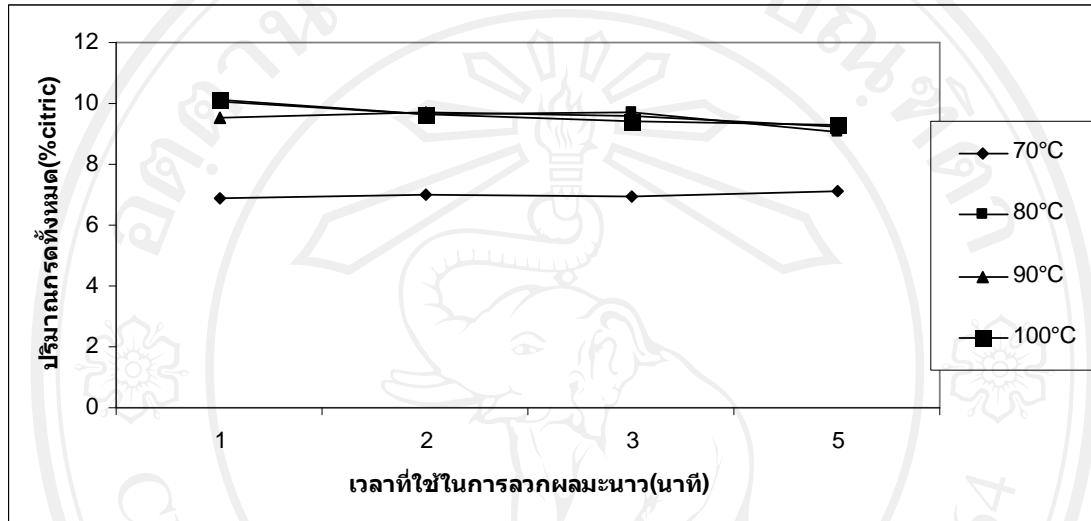
ปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปกรดซิตริก ทั้งในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวที่ปอกเปลือกผลก่อนคั้น และไม่ปอกเปลือกผลก่อนคั้น เมื่อทำการลวกที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 1 2 3 และ 5 นาที มีปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปซิตริกในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่พบว่าปริมาณน้อยกว่าในมะนาวที่ลวกที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งในรายงานการศึกษาของ เสาวภาคย์ (2545) ได้ศึกษาถึงผลของการลวกผลมะนาว เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการพลาสติกเจอร์ไรซ์ น้ำมะนาวเพื่อยืดอายุการเก็บน้ำมะนาวโดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 60 70 และ 85 องศาเซลเซียส เวลา 30 และ 60 วินาที พบว่า การพลาสติกเจอร์ไรซ์น้ำมะนาวที่ 85 องศาเซลเซียส 60 วินาที ทำให้มีปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปของกรดซิตริกคงเหลือมากกว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส และมีปริมาณที่คงเหลือมากที่สุด

จากข้อมูลปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปกรดซิตริก ดังตาราง 4.11 และตาราง 4.12 เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาว กับปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปของกรดซิตริก ได้ดังภาพ 4.6 และ 4.7



ภาพ 4.7 ปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปของกรดซิตริกในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และไม่ได้ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว

จากภาพที่ 4.7 จะพบว่า การลวกผลมะนาวที่ 100 องศาเซลเซียสปริมาณกรดทั้งหมดค้ำนวน ในรูปของกรดซิตริกในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ไม่ได้ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว มีปริมาณของกรดมากที่สุด แต่มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อเวลาในการลวกผลมะนาวมากขึ้น เมื่อทำการลวกผลมะนาว ที่ 80 และ 90 องศาเซลเซียสให้ผลเช่นเดียวกัน



ภาพ 4.7 ปริมาณกรดทั้งหมดค้ำนวนในรูปของกรดซิตริกในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน และปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว

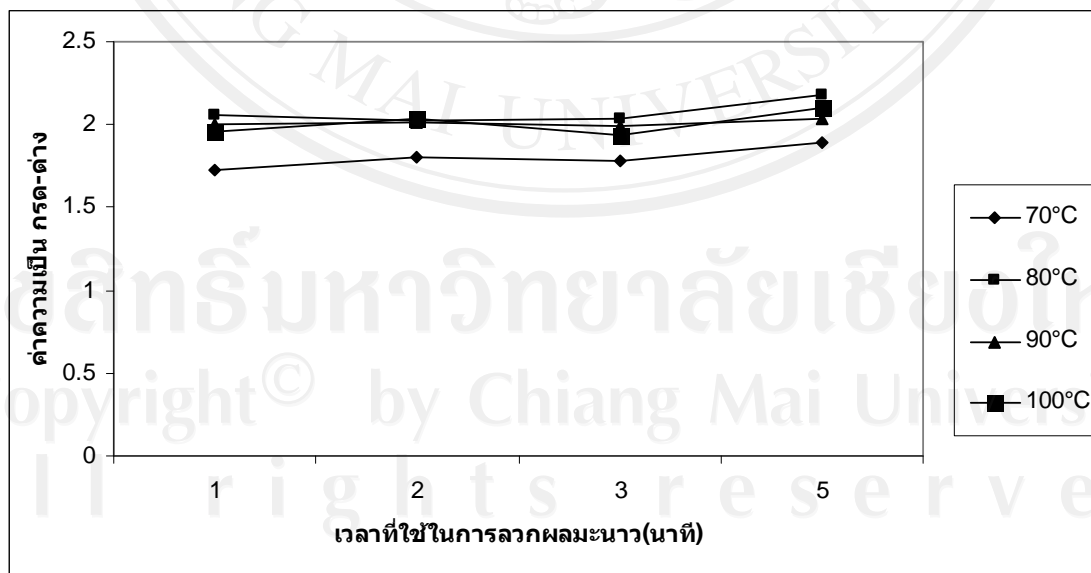
จากภาพ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดทั้งหมดค้ำนวนในรูปของกรดซิตริกใน น้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว โดยผลผ่านการลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆกัน และ ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว มีลักษณะเช่นเดียวกันกับน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวที่ไม่ได้ปอก เปลือกก่อนคั้นน้ำ

จากตาราง 4.11 และ 4.12 ปริมาณกรดทั้งหมดค้ำนวนในรูปของกรดซิตริกในน้ำมะนาวที่ คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน ทั้งปอกเปลือก และไม่ได้ ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดค้ำนวนในรูปของกรดซิตริกมีค่าต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นั้นแสดงว่า อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาว เป็น ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อปริมาณกรดทั้งหมดค้ำนวนในรูปของกรดซิตริกในน้ำมะนาวที่คั้นได้ ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว และอุณหภูมิและระยะเวลาในการลวกมีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณกรดทั้งหมด ค้ำนวนในรูปของกรดซิตริกในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ก-8 และ ภาคผนวก ก-9)

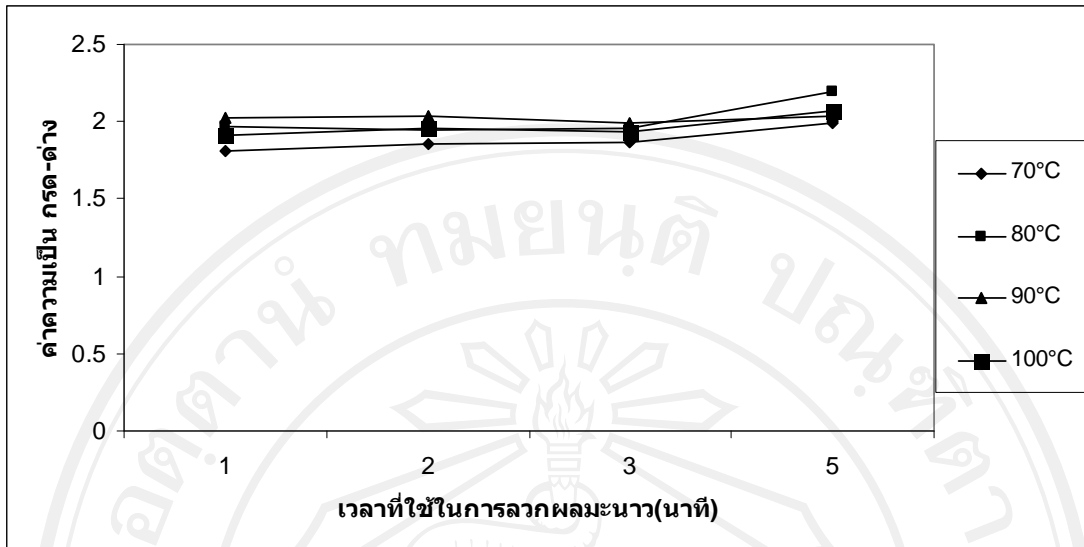
จากข้อมูลค่าความเป็น กรด-ด่าง ดังตาราง 4.11 และตาราง 4.12 เมื่อนำมาเขียนกราฟ ระหว่างเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาว กับค่าความเป็นกรด-ด่าง ได้ดังภาพ 4.8 และ 4.9

ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลมะนาวผ่านการลวกที่ อุณหภูมิและเวลาต่างกันพบว่ามีการเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับในน้ำมะนาวสดที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว โดยพบว่าการลวกมะนาวที่ 70 องศาเซลเซียส ค่าความเป็น กรด-ด่าง มีการเพิ่มขึ้นต่ำกว่าการลวก ที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และมีแนวโน้มที่ค่าความเป็น กรด-ด่าง จะเพิ่มขึ้นไป อีกเมื่อเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาวเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากภาพ 4.8 และ ภาพ 4.9 และจากตาราง 4.11 และ 4.12 ค่าความเป็น กรด-ด่าง ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว จากผลมะนาวที่ผ่าน การลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน มีค่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ค-10 และ ภาคผนวก ค-11) แสดงว่าอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาว เป็นปัจจัยหลักที่มี อิทธิพลต่อค่าความเป็น กรด-ด่าง และ เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการลวกมีอิทธิพลร่วมกันต่อ ค่าความเป็น กรด-ด่าง ในน้ำมะนาว อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่าง อาจจะเป็นเนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการลวก ผลมะนาวเพิ่มมากขึ้นจะมีผลทำให้กรดในน้ำมะนาวเกิดการสลายตัว เพิ่มมากขึ้นด้วย (เสาวภาคย์, 2545)



ภาพ 4.8 ค่าความเป็น กรด-ด่าง ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิ และเวลาต่างกัน และไม่ได้ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว



ภาพ 4.9 ค่าความเป็น กรด-ด่าง ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิ และเวลาต่างกัน และปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมะนาว

จากตาราง 4.11 และตาราง 4.12 เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลผ่านการลวกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน ทั้งที่ปอกเปลือก และไม่ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำ จะพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 4 ระดับอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของวรรณิ (2545) เมื่อลวกผลมะนาวที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที แล้วนำผลมะนาวมาคั้นน้ำ โดยปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำ มีลักษณะทางกายภาพได้แก่ ค่าสี และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมะนาว ไม่แตกต่างกันกับน้ำมะนาวที่คั้นได้จากผลมะนาวสด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในการศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิที่ใช้ในการลวกพบว่าน้ำมะนาวที่คั้นได้จากที่คั้นน้ำมะนาว โดยปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำ จะมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าน้ำมะนาวที่คั้นได้จากที่คั้นน้ำมะนาว โดยปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กล่าวได้ว่าอุณหภูมิไม่ใช่ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมะนาวที่คั้นได้จากที่คั้น โดยปอกเปลือกก่อนคั้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมะนาวที่คั้นได้จากที่คั้นน้ำจะเป็นผลมาจากการบีบคั้นด้วยเครื่องบีบคั้น และการเจือปนของแข็งที่ละลายได้จากเปลือกมะนาว เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการลวกมีอิทธิพลร่วมกันต่อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ค-12 และ ภาคผนวก ค-13)

จากผลการศึกษาค่าสี L a^* และ b^* ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ที่ผลมะนาว ผ่านการลวกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้ง 4 ระดับอุณหภูมิและ 4 ระดับเวลาที่ใช้ในศึกษา โดยยังมีค่าสี L a^* และ b^* อยู่ในช่วงลักษณะของน้ำมะนาวจากผลสด เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลวกผลมะนาวต่อค่าสี L a^* และ b^* พบว่า อุณหภูมิไม่ได้เป็นปัจจัยหลักต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L และค่าสี a^* ในกรณีคั้นน้ำมะนาวโดยการ ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำด้วยที่คั้นน้ำ แต่พบว่าทั้งอุณหภูมิและเวลาต่างก็มีอิทธิพลร่วมกันต่อการ เปลี่ยนแปลงค่าสี L a^* และ b^* ในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว

The logo of Chiang Mai University is a circular emblem. In the center is a stylized elephant facing left, with a decorative tusk and a flame-like element above its head. The elephant is surrounded by a circular border containing the text 'CHIANG MAI UNIVERSITY 1964'. There are also decorative floral motifs on either side of the elephant.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved