บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คือ ชนิดและปริมาณของกรดไขมัน รูปแบบของไตรกลีเซอไรด์ ค่ากรด สารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin coconut oil, VCO) จากมะพร้าวสายพันธุ์ต่างๆ 6 สายพันธุ์ โดยมีพันธุ์เวสท์แอฟริกันต้นสูง พันธุ์ไทยต้นสูงและพันธุ์มลายูสีเหลืองต้นเตี้ย เป็นพันธุ์ดั้งเดิมที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพรใช้ในการปรับปรุงสายพันธุ์ และมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมที่ได้หลังการปรับปรุง คือ พันธุ์สวีลูกผสม 1 พันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 และพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 มะพร้าวทั้ง 6 สายพันธุ์ นำมาผลิตเป็นน้ำมัน 2 วิธี คือ การหมัก และการหีบเย็น ผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันมะพร้าว 6 สายพันธุ์

4.1.1 ชนิดและปริมาณของกรดไขมัน

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว พบว่า น้ำมันมะพร้าวมีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 90 ของกรดไขมันทั้งหมด โดยกรดไขมันอิ่มตัวที่พบ ได้แก่ กรดคาโปรอิก (Caproic acid, C6) กรดคาปริลิก (Caprylic acid, C8) กรดคาปริก (Capric acid, C10) กรดลอริก (Lauric acid, C12) กรดไมริสติก (Myristic acid, C14) กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid, C16) และกรดสเตียริก (Stearic acid, C18) นอกจากนี้ยังมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดโอลิอิก (Oleic acid, C18:1) และกรดไลโนลิอิก (Linoleic acid, C18:2) ดังแสดงในตารางที่ 17

ความแปรปรวนของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง จากการศึกษาชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว 6 สายพันธุ์ ที่ผลิตด้วยวิธีที่แตกต่างกัน (การหมัก และการหีบเย็น) พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากแต่ละวิธีการสกัดน้ำมัน ยกเว้นปริมาณของกรดไลโนลิอิก (ตารางที่ 18) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ วิไลศรี และคณะ (2551) ที่รายงานว่า กระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่แตกต่างกันไม่ทำให้องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แตกต่างกัน แต่ความแปรปรวนในองค์ประกอบของกรดไขมัน ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับพันธุ์ซึ่งควบคุมผ่านทางลักษณะทางพันธุกรรม (Rosell *et al*., 1985; Laureles *et al*., 2000; Akpan *et al*., 2006 and Roger, 2010)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 17 รูปแบบและปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผลิตด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

Coconut varieties	Oil extraction method	Fatty acids (%wt) [A]								
		C6:0	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2
WAT	Fermentation	0.38±0.11^{ab}	6.70±0.17^{b}	5.57±0.16^{bcd}	48.23±0.50^{a}	20.20±0.09^{cd}	8.85±0.23^{cd}	2.88±0.11^{cd}	5.86±0.28^{ef}	1.27±0.08^{a}
	Cold pressing	0.37±0.02^{ab}	6.67±0.07^{b}	5.58±0.14^{bcd}	48.18±0.06^{a}	20.40±0.04^{bcd}	8.78±0.05^{cd}	3.71±1.13^{ab}	5.75±0.06^{ef}	1.10±0.02^{b}
MYD	Fermentation	0.38±0.03^{ab}	5.43±0.32^{d}	4.76±0.25^{f}	44.86±0.61^{d}	21.00±0.17^{a}	11.00±0.35^{a}	3.92±0.11^{a}	7.12±0.46^{a}	1.37±0.12^{a}
	Cold pressing	0.40±0.03^{ab}	5.70±0.29^{cd}	4.91±0.15^{ef}	45.26±0.60^{d}	20.86±0.15^{ab}	10.77±0.31^{a}	3.84±0.09^{ab}	6.80±0.44^{ab}	1.33±0.10^{a}
THT	Fermentation	0.35±0.04^{b}	6.26±0.39^{bc}	5.92±0.11^{ab}	48.25±0.16^{a}	19.15±0.23^{e}	9.18±0.13^{c}	3.39±0.06^{abcd}	6.20±0.05^{de}	1.29±0.01^{a}
	Cold pressing	0.40±0.08^{ab}	6.36±0.71^{bc}	5.76±0.29^{abc}	48.09±0.25^{a}	19.09±0.46^{e}	9.11±0.34^{c}	3.48±0.16^{abc}	6.23±0.29^{cde}	1.27±0.05^{a}
Sawi 1	Fermentation	0.41±0.01^{ab}	6.95±0.16^{ab}	5.22±0.06^{de}	47.31±0.34^{b}	20.61±0.10^{abc}	9.16±0.17^{c}	2.93±0.05^{cd}	6.35±0.19^{bcd}	0.95±0.05^{cd}
	Cold pressing	0.40±0.01^{ab}	6.49±0.16^{bc}	5.37±0.06^{cd}	47.35±0.34^{b}	20.62±0.10^{abc}	9.17±0.17^{c}	2.97±0.05^{cd}	6.50±0.19^{bcd}	1.05±0.05^{bc}
Chumphon 2	Fermentation	0.43±0.01^{a}	6.43±0.07^{bc}	5.29±0.11^{de}	46.63±0.08^{c}	20.38±0.05^{abcd}	9.74±0.05^{b}	3.23±0.05^{bcd}	6.69±0.04^{abc}	1.05±0.01^{bc}
	Cold pressing	0.45±0.02^{a}	6.67±0.23^{b}	5.51±0.13^{bcd}	46.93±0.13^{bc}	20.50±0.19^{bcd}	9.74±0.15^{b}	3.20±0.03^{bcd}	6.04±0.13^{de}	0.88±0.02^{d}
Chumphon 60	Fermentation	0.40±0.01^{ab}	7.01±0.15^{ab}	5.78±0.19^{abc}	48.05±0.16^{a}	20.01±0.10^{d}	8.76±0.14^{cd}	2.94±0.07^{cd}	5.80±0.11^{ef}	1.16±0.03^{b}
	Cold pressing	0.43±0.07^{a}	7.61±0.89^{a}	6.16±0.16^{a}	48.34±0.15^{a}	19.43±0.45^{e}	8.49±0.27^{cd}	2.81±0.10^{cd}	5.54±0.18^{f}	1.15±0.04^{b}

[A] Means within each column with different superscript are significantly different ($p \leq 0.05$). WAT: West African Tall; MYD: Malayan Yellow Dwarf; THT: Thai Tall; Sawi 1: WAT x MYD; Chumphon 2: THT x MYD; Chumphon 60: WAT x THT

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 18 ปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผลิตด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

Factor	**Fatty acids** (%wt) [A]								
	C6:0	**C8:0**	**C10:0**	**C12:0**	**C14:0**	**C16:0**	**C18:0**	**C18:1**	**C18:2**
Cold pressing	0.41±0.04 [a]	6.58±0.71 [a]	5.55±0.41 [a]	47.36±1.12 [a]	20.19±0.66 [a]	9.35±0.79 [a]	3.34±0.55 [a]	6.14±0.49 [a]	1.13±0.16 [b]
Fermentation	0.40±0.04 [a]	6.46±0.66 [a]	5.42±0.46 [a]	47.22±1.27 [a]	20.23±0.62 [a]	9.45±0.81 [a]	3.22±0.39 [a]	6.34±0.53 [a]	1.18±0.16 [a]
Oil extraction method (M)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
West African Tall	0.38±0.01 [b]	6.68±0.12 [b]	5.57±0.14 [bc]	48.20±0.32 [a]	20.30±0.13 [b]	8.82±0.15 [d]	3.30±0.85 [bc]	5.80±0.19 [c]	1.19±0.11 [bc]
Malayan Yellow Dwarf	0.39±0.03 [b]	5.57±0.31 [c]	4.84±0.20 [d]	45.06±0.59 [d]	20.93±0.16 [a]	10.89±0.32 [a]	3.88±0.10 [a]	6.96±0.44 [a]	1.35±0.10 [a]
Thai Tall	0.38±0.06 [b]	6.31±0.52 [b]	5.84±0.22 [ab]	48.17±0.21 [a]	19.23±0.33 [d]	9.15±0.23 [c]	3.44±0.12 [b]	6.22±0.19 [b]	1.28±0.03 [ab]
Sawi hybrid No. 1	0.40±0.04 [ab]	6.72±0.63 [b]	5.30±0.38 [c]	47.33±0.23 [b]	20.61±0.33 [ab]	9.17±0.29 [c]	2.95±0.13 [c]	6.43±0.28 [b]	1.00±0.07 [d]
Chumphon hybrid No. 2	0.44±0.02 [a]	6.55±0.20 [b]	5.40±0.16 [c]	46.78±0.19 [c]	20.44±0.14 [b]	9.74±0.10 [b]	3.22±0.03 [bc]	6.36±0.37 [b]	0.97±0.09 [d]
Chumphon hybrid No. 60	0.42±0.05 [ab]	7.31±0.66 [a]	5.97±0.26 [a]	48.20±0.21 [a]	19.72±0.43 [c]	8.63±0.24 [d]	2.88±0.10 [c]	5.67±0.19 [c]	1.16±0.04 [c]
Varieties (V)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
V*M	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**

[A] Means within each column with different superscript are significantly different ($p \leq 0.05$); ns mean not significant; ** mean significant; Sawi 1: WAT x MYD; Chumphon 2: THT x MYD; Chumphon 60: WAT x THT

Prince of Songkla University Pattani Campus

วิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณของกรดไขมัน แต่เมื่อพิจารณาในเชิงพาณิชย์ พบว่า การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีการหีบเย็นสามารถเพิ่มมูลค่าให้ผลมะพร้าวได้สูงกว่าการผลิตโดยการหมัก กล่าวคือ หากเริ่มต้นด้วยปริมาณมะพร้าวขูดที่เท่ากัน (100 กิโลกรัม) เมื่อนำไปผ่านกระบวนการผลิตน้ำมันแต่ละวิธี (การหมักหรือการหีบเย็น) จะได้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากการผลิตด้วยวิธีการหมัก และการหีบเย็นเท่ากับ 20 และ 25% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลตอบแทนการผลิตนี้ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตและต้นทุนด้านพลังงาน รวมถึงการนำผลพลอยได้จากการผลิตไปแปรรูป และในแต่ละวิธีการผลิตจะมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกัน คือ การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีการหมัก ลงทุนต่ำ ไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาสูง และสามารถผลิตได้ในครัวเรือนจนถึงระดับอุตสาหกรรม แต่วิธีนี้ต้องใช้มะพร้าวแก่จัดเท่านั้น คุณภาพของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อาจไม่สม่ำเสมอ และสามารถเก็บไว้ได้ 12 เดือน สำหรับการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีการหีบเย็นสามารถใช้มะพร้าวที่ไม่แก่จัดเป็นวัตถุดิบได้ สามารถผลิตได้ครั้งละมากๆ ผลพลอยได้คือกากมะพร้าวสามารถขายเป็นอาหารสัตว์ได้ แต่ต้องลงทุนในครั้งแรกสูง ผู้ผลิตต้องมีทักษะในการใช้เครื่องมือ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตด้วยวิธีนี้สามารถเก็บได้นานถึง 18 เดือน (Twishsri *et al*., 2011)

มะพร้าวทุกสายพันธุ์สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้ แต่สิ่งที่ควรพิจารณาคือปริมาณของกรดลอริก เนื่องจากกรดลอริกมีฤทธิ์ต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (Antimicrobial) และสามารถสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย (Enig, 1999) จากการทดลองตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีปริมาณกรดลอริกโดยเฉลี่ย 47.29% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด ในขณะที่ Twishsri *et al*. (2011) รายงานปริมาณของกรดลอริกที่พบในมะพร้าวโดยเฉลี่ย 48.10% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด (จากการวิเคราะห์มะพร้าว 21 สายพันธุ์ แบ่งเป็นพันธุ์ต้นสูง 11 สายพันธุ์ ต้นเตี้ย 6 สายพันธุ์ และลูกผสม 4 สายพันธุ์) จากการทดลองนี้ เมื่อเรียงลำดับพันธุ์มะพร้าวตามปริมาณกรดลอริกจากมากไปน้อย สามารถเรียงได้ดังนี้ มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 พันธุ์เวสท์แอฟริกันต้นสูง พันธุ์ไทยต้นสูง พันธุ์สวีลูกผสม 1 พันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 และพันธุ์มลายูสีเหลืองต้นเตี้ย ซึ่งมีปริมาณกรดลอริกเท่ากับ 48.20, 48.20, 48.17, 47.33, 46.78 และ 45.06% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ (ตารางที่ 18) ทั้งนี้จะเห็นว่ามะพร้าวในกลุ่มต้นสูงเป็นกลุ่มมะพร้าวที่ให้ปริมาณกรดลอริกสูง จึงแนะนำให้ใช้พันธุ์มะพร้าวที่ให้กรดลอริกสูง 3 อันดับแรก (กรดลอริกมากกว่า 48% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด) เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ การเปรียบเทียบปริมาณกรดลอริกของมะพร้าวลูกผสมกับต้นพันธุ์แสดงให้เห็นแนวโน้มที่แตกต่างกัน กล่าวคือปริมาณกรดลอริกของมะพร้าวพันธุ์สวีลูกผสม 1 และพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 แตกต่างจากต้นพันธุ์ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณกรดลอริกของมะพร้าวพันธุ์ลูกผสม

Prince of Songkla University Pattani Campus

ชุมพร 60 มีปริมาณมากกว่าต้นพันธุ์แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 18) เปรียบเทียบปริมาณกรดลอริกในต้นพันธุ์ (พันธุ์ต้นสูงและต้นเตี้ย) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยนัยสำคัญทางสถิติสำหรับมะพร้าวพันธุ์ต้นสูง แต่ปริมาณกรดลอริกแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) สำหรับพันธุ์ต้นสูงกับต้นเตี้ย (ตารางที่ 18)

ปริมาณของกรดลอริกที่แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ของมะพร้าวเกิดจากกลไกการทำงานของเอนไซม์ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ (1) Acetyl-CoA carboxylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ชนิดแรกในวิถีการสังเคราะห์กรดไขมัน (2) Phosphatidic acid phosphatase และ (3) Acyl-ACP-thioesterase ซึ่งเป็นเอนไซม์ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการสร้างกรดไขมัน ทำหน้าที่ปล่อยไขมันที่สร้างได้จากโปรตีน ACP ตามความยาวของสายไฮโดรคาร์บอนจำเพาะของเอนไซม์ สำหรับมะพร้าวจะมีเอนไซม์ในกลุ่ม Thioesterase ที่ชื่อว่า Laurate-CoA-preferring lysophosphatitic acid acyltransferase (LPAAT) ที่จำเพาะต่อสายไฮโดรคาร์บอน 12 โมเลกุล (Knutzon *et al*., 1995) ทำให้น้ำมันมะพร้าวมีปริมาณกรดลอริกสูง

นอกจากกรดลอริกแล้วในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ยังมีกรดไขมันความยาวสายโซ่ปานกลางได้แก่ กรดคาปริลิกและกรดคาปริก ที่ช่วยเสริมการทำงานของกรดลอริกในการยับยั้งเชื้อโรคและเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย โดยไม่ทำให้เกิดการดื้อยา (ณรงค์, 2551) จากผลการทดลองพบว่ามะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 ไม่เพียงแต่จะมีปริมาณของกรดลอริกในปริมาณที่สูง แต่ยังรวมกรดคาปริลิกและกรดคาปริก (7.31 และ 5.97% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ) ดังแสดงในตารางที่ 18 การเปรียบเทียบปริมาณกรดคาปริลิกและกรดคาปริกของมะพร้าวลูกผสมกับต้นพันธุ์แสดงให้เห็นแนวโน้มที่แตกต่างกัน กล่าวคือปริมาณกรดคาปริลิกในมะพร้าวพันธุ์สวีลูกผสม 1 และพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับต้นพันธุ์ที่เป็นต้นสูง ในขณะที่พันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 มีปริมาณกรดคาปริลิกแตกต่างจากต้นพันธุ์ ($p \leq 0.05$) สำหรับปริมาณกรดคาปริกในมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 พบว่า แตกต่างจากต้นพันธุ์ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 18

กรดคาโปรอิกเป็นกรดไขมันที่พบได้น้อยมากในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ผลการทดลองพบปริมาณกรดคาโปรอิกอยู่ในช่วง 0.35-0.45% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 17) ซึ่งปริมาณที่พบน้อยกว่ารายงานของ Dia *et al*. (2005) โดยรายงานปริมาณของกรดคาโปรอิก 0.60% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด และจากการทดลองพบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่มีปริมาณกรดคาโปรอิกสูงที่สุดเป็นน้ำมันที่ได้จากมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 (0.44% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด) และแตกต่างจากต้นพันธุ์ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 18

Prince of Songkla University Pattani Campus

กรดไมริสติกเป็นกรดไขมันที่พบในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มากเป็นอันดับที่ 2 ผลการทดลองพบปริมาณกรดไมริสติก 19.15-21.00% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 17) ซึ่งมะพร้าวพันธุ์มลายูสีเหลืองต้นเตี้ยมีปริมาณของกรดไมริสติกสูงที่สุด รองลงมาคือพันธุ์สวีลูกผสม 1 และพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 เท่ากับ 20.93, 20.61 และ 20.44% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ (ตารางที่ 18) เป็นข้อสังเกตว่ามะพร้าวพันธุ์ลูกผสมที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากมะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ย (มลายูสีเหลืองต้นเตี้ย) จะมีปริมาณกรดไมริสติกที่สูงกว่ามะพร้าวพันธุ์ลูกผสมที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากมะพร้าวพันธุ์ต้นสูง การเปรียบเทียบปริมาณกรดไมริสติกของมะพร้าวลูกผสมกับต้นพันธุ์แสดงให้เห็นแนวโน้มที่เหมือนกัน กล่าวคือ ปริมาณกรดไมริสติกแตกต่างจากต้นพันธุ์ ($p \leq 0.05$)

กรดปาล์มมิติกเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีสายโซ่ยาวอีกชนิดหนึ่งที่พบมากในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ กรดปาล์มมิติกจะมีฤทธิ์ในการต้านมะเร็งโดยลดระดับของสาร Cardiolipin และเปลี่ยนแปลงการทำงานของไมโตคอนเดรีย โดยกรดปาล์มิติกจะเข้าไปทำลายเซลล์มะเร็งเต้านม (Hardy *et al*., 2005) จากผลการทดลองปริมาณของกรดปาล์มมิติกที่พบอยู่ในช่วง 8.49-11.00% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 17) การเปรียบเทียบปริมาณกรดปาล์มมิติกของมะพร้าวลูกผสมกับต้นพันธุ์แสดงให้เห็นแนวโน้มที่ต่างกัน กล่าวคือ มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากมะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ย (มลายูสีเหลืองต้นเตี้ย) ได้แก่ พันธุ์สวีลูกผสม 1 และพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 จะมีกรดปาล์มมิติกแตกต่างจากต้นพันธุ์ ($p \leq 0.05$)

กรดสเตียริกเป็นกรดไขมันอิ่มตัวสายโซ่ยาวที่พบได้น้อยมากในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ผลการทดลองพบปริมาณกรดกรดสเตียริกอยู่ในช่วง 2.81-3.92% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 17) การเปรียบเทียบปริมาณกรดสเตียริกของมะพร้าวลูกผสมกับต้นพันธุ์แสดงให้เห็นแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณของกรดปาล์มมิติก กล่าวคือ มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากมะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ย (มลายูสีเหลืองต้นเตี้ย) ได้แก่ พันธุ์สวีลูกผสม 1 และพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 จะมีกรดปาล์มมิติกแตกต่างจากต้นพันธุ์ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้กรดไขมันอิ่มตัวสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยาการขจัดไฮโดรเจน (Dehydrogenation) ทำให้ได้กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเท่าเดิม ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาการขจัดไฮโดรเจนอย่างต่อเนื่องของกรดสเตียริก (C18:0) จะได้กรดโอเลอิก (C18:1) ตามด้วยกรดไลโนลิอิก (C18:2) และกรดไลโนลินิก (C18:3) (Belleville, 2003) จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณของกรดโอเลอิกและกรดไลโนลิอิกที่พบอยู่ในช่วง 5.54-7.12 และ 0.88-1.37% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ (ตารางที่ 17) ปริมาณของกรดโอเลอิกและกรดไลโนลิอิกมีค่าใกล้เคียงรายงานของ

Marina *et al.* (2009) โดยรายงานปริมาณของกรดโอเลอิกและกรดไลโนลิอิกที่พบในมะพร้าวบริสุทธิ์โดยเฉลี่ย 5.72-6.72 และ 0.90-1.60% โดยน้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ

4.1.2 รูปแบบของไตรกลีเซอไรด์

การวิเคราะห์รูปแบบของไตรกลีเซอไรด์จากมะพร้าว 6 สายพันธุ์ ที่ผลิตด้วยวิธีที่แตกต่างกัน (การหมัก และการหีบเย็น) พบว่า องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ (TAG) ในน้ำมันมะพร้าวแบ่งตามเลขคาร์บอน (Carbon number, CN) ได้ 8 กลุ่ม ได้แก่ TAG ของ CN 30, 32, 34, 36, 38, 40 42 และ 44 ซึ่ง TAG ของ CN ทั้ง 8 กลุ่ม สอดคล้องกับรายงานของ Plattner *et al.* (1977) และ Bezard *et al.* (1971) TAG ของ CN 36 มีปริมาณสูงถึง 24.72% รองลงมาคือ CN 34 และ CN 38 21.77 และ 16.43% ตามลำดับ และพบว่าองค์ประกอบของ TAG ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากแต่ละวิธีการสกัดน้ำมัน (ตารางที่ 19)

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของ TAG ในน้ำมันมะพร้าวต้นพันธุ์ระหว่างกลุ่มพันธุ์ต้นสูง ได้แก่ พันธุ์เวสท์แอฟริกันต้นสูง กับพันธุ์ไทยต้นสูง และระหว่างพันธุ์ต้นสูงกับต้นเตี้ย ได้แก่ พันธุ์เวสท์แอฟริกันต้นสูง พันธุ์ไทยต้นสูงและพันธุ์มลายูสีเหลืองต้นเตี้ย พบว่า องค์ประกอบของ TAG แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ยกเว้น TAG ของ CN 42 และ CN 44 ในมะพร้าวพันธุ์ต้นสูงที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ การเปรียบเทียบปริมาณองค์ประกอบของ TAG ของมะพร้าวลูกผสมกับต้นพันธุ์แสดงให้เห็นแนวโน้มที่เหมือนกัน คือ องค์ประกอบของ TAG ในน้ำมันมะพร้าวแต่ละชนิดแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ระหว่างลูกผสมและต้นพันธุ์ ยกเว้นมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 (THT x MYD) ที่มีองค์ประกอบของ TAG ของ CN 44 ไม่แตกต่างจากต้นพันธุ์ที่เป็นต้นสูง แต่แตกต่างจากต้นพันธุ์ที่เป็นต้นเตี้ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 20) Laureles *et al.* (2002) ได้ศึกษารูปแบบของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันมะพร้าวจากมะพร้าว 17 สายพันธุ์ (พันธุ์ต้นสูง 5 สายพันธุ์ พันธุ์ต้นเตี้ย 3 สายพันธุ์ และพันธุ์ลูกผสม 9 สายพันธุ์) พบว่า เฉพาะ TAG ของ CN 34 และ 40 ที่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ระหว่างลูกผสมและต้นพันธุ์ แต่องค์ประกอบของ TAG ของ CN 36 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยรวมแล้วความแปรปรวนในองค์ประกอบของ TAG ขึ้นอยู่กับพันธุ์ซึ่งควบคุมผ่านทางลักษณะทางพันธุศาสตร์

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 19 รูปแบบของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผลิตด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

Coconut varieties	Oil extraction method	Triacylglycerol carbon number (%wt) [A]							
		30	32	34	36	38	40	42	44
WAT	Fermentation	4.13±0.00^{e}	17.22±0.01^{d}	23.59±0.02^{bc}	24.28±0.02^{f}	15.11±0.02^{f}	10.00±0.05^{d}	4.09±0.01^{hi}	1.58±0.07^{e}
	Cold pressing	4.10±0.01^{f}	17.23±0.04^{d}	23.71±0.06^{b}	24.56±0.03^{e}	15.10±0.10^{f}	9.91±0.09^{d}	4.02±0.02^{j}	1.38±0.02^{g}
MYD	Fermentation	2.37±0.01^{k}	10.99±0.03^{i}	18.07±0.06^{i}	26.08±0.07^{a}	19.25±0.04^{a}	14.28±0.11^{a}	6.433±0.07^{a}	2.53±0.07^{a}
	Cold pressing	2.43±0.00^{j}	11.26±0.02^{h}	18.41±0.03^{h}	26.10±0.02^{a}	19.04±0.13^{b}	14.02±0.07^{a}	6.26±0.05^{b}	2.48±0.04^{a}
THT	Fermentation	4.97±0.02^{a}	19.10±0.06^{a}	24.57±0.07^{a}	23.04±0.05^{j}	14.01±0.04^{h}	9.13±0.25^{f}	3.74±0.05^{k}	1.44±0.01^{fg}
	Cold pressing	4.42±0.01^{b}	17.95±0.03^{b}	23.64±0.05^{b}	23.76±0.04^{i}	14.67±0.15^{g}	9.85±0.25^{d}	4.18±0.03^{gh}	1.53±0.05^{ef}
Sawi 1	Fermentation	3.15±0.01^{i}	13.66±0.02^{g}	20.54±0.02^{e}	25.33±0.01^{b}	17.62±0.03^{cd}	12.27±0.08^{b}	5.36±0.12^{e}	2.06±0.01^{bc}
	Cold pressing	3.40±0.00^{g}	14.80±0.01^{e}	21.37±0.01^{d}	25.20±0.02^{c}	16.76±0.06^{e}	11.60±0.02^{c}	4.96±0.03^{f}	1.90±0.04^{d}
Chumphon 2	Fermentation	4.22±0.01^{d}	17.31±0.03^{d}	23.45±0.04^{c}	24.14±0.06^{g}	15.21±0.03^{f}	9.95±0.26^{d}	4.26±0.03^{g}	1.46±0.07^{fg}
	Cold pressing	4.29±0.01^{c}	17.48±0.02^{c}	23.45±0.05^{c}	24.03±0.08^{h}	15.06±0.14^{f}	10.02±0.27^{d}	4.20±0.04^{gh}	1.47±0.02^{fg}
Chumphon 60	Fermentation	3.19±0.05^{h}	13.82±0.27^{g}	20.29±0.26^{f}	25.03±0.02^{d}	17.54±0.25^{d}	12.48±0.28^{b}	5.53±0.15^{d}	2.13±0.09^{b}
	Cold pressing	3.15±0.02^{i}	13.59±0.08^{f}	20.09±0.11^{g}	25.14±0.10^{c}	17.75±0.13^{c}	12.60±0.21^{b}	5.65±0.05^{c}	2.03±0.05^{c}

[A] Means within each column with different superscript are significantly different ($p \leq 0.05$); WAT: West African tall; MYD: Malayan Yellow Dwarf; THT: Thai tall; Sawi 1: WAT x MYD; Chumphon 2: THT x MYD; Chumphon 60: WAT x THT

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผลิตด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

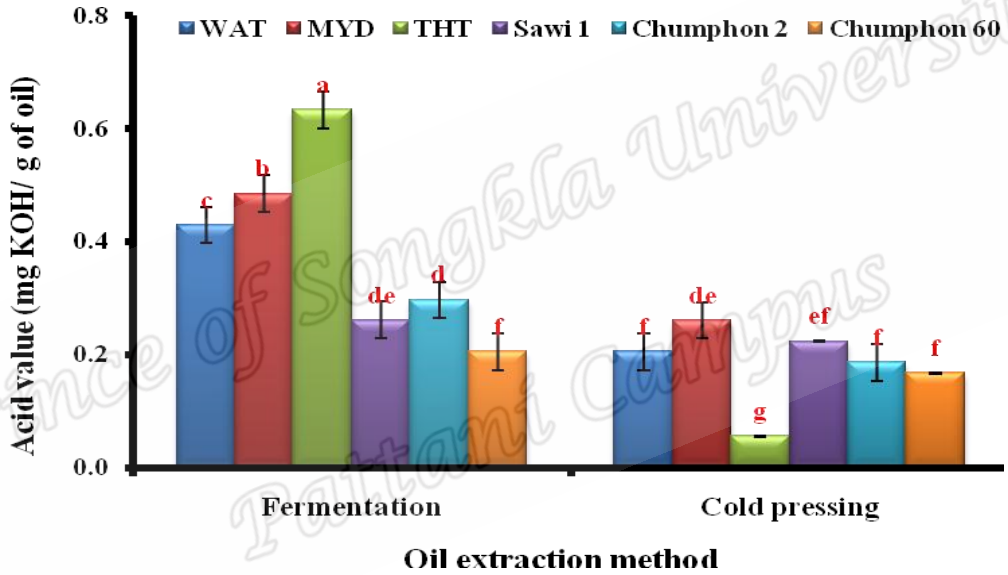
Factor	**Triacylglycerol carbon number (%wt)** [A]							
	30	**32**	**34**	**36**	**38**	**40**	**42**	**44**
Cold pressing	15.39±0.73[a]	21.78±2.48[a]	24.80±2.07[a]	16.40±0.81[a]	11.33±1.65[a]	4.88±1.62[a]	1.80±0.86[a]	15.39±0.40[a]
Fermentation	15.35±0.88[a]	21.75±2.84[a]	24.65±2.35[a]	16.46±1.00[a]	11.35±1.87[a]	4.90±1.86[a]	1.87±0.98[a]	15.35±0.42[a]
Oil extraction method (M)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
West African Tall	4.11±0.02	17.22±0.03	23.65±0.07	24.42±0.16	15.11±0.06	9.96±0.08	4.05±0.04	1.48±0.12
Malayan Yellow Dwarf	2.40±0.03	11.12±0.15	18.24±0.19	26.09±0.05	19.15±0.14	14.15±0.16	6.35±0.11	2.51±0.06
Thai Tall	4.70±0.30	18.52±0.63	24.11±0.51	23.40±0.39	14.34±0.38	9.49±0.45	3.96±0.25	1.48±0.06
Sawi Hybrid No.1	3.28±0.14	14.23±0.62	20.96±0.45	25.27±0.07	17.19±0.47	11.94±0.37	5.16±0.23	1.98±0.09
Chumphon Hybrid No.2	4.25±0.04	17.40±0.10	23.45±0.04	24.09±0.09	15.13±0.12	9.99±0.24	4.23±0.05	1.47±0.05
Chumphon Hybrid No.60	3.17±0.04	13.71±0.22	20.19±0.21	25.09±0.09	17.64±0.21	12.54±0.23	5.59±0.12	2.08±0.09
Varieties (V)	**	**	**	**	**	**	**	**
V*M	**	**	**	**	**	**	**	**

[A] Means within each column with different superscript are significantly different ($p \leq 0.05$); ns mean not significant; ** mean significant; Sawi 1: WAT x MYD; Chumphon 2: THT x MYD; Chumphon 60: WAT x THT

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.3 ค่ากรด

ค่ากรด (Acid value) หรือ ค่า AV เป็นค่าที่บ่งบอกคุณภาพของน้ำมันและไขมัน โดยเป็นค่าที่บ่งชี้ว่าไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบหลักในไขมันและน้ำมัน ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยมีเอนไซม์ไลเปสและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตผล คือ กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ ซึ่งทำให้น้ำมันและไขมันมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2556) จากผลการทดลองพบว่า ค่า AV ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 0.06-0.63 mg KOH/ g oil (รูปที่ 15 และตารางภาคผนวกที่ 1) ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 57 (พ.ศ.2524) เรื่อง น้ำมันมะพร้าวที่กำหนดให้น้ำมันมะพร้าวที่ผลิตด้วยวิธีธรรมชาติ มีค่า AV ไม่เกิน 4.0 mg KOH/ g oil



รูปที่ 15 ค่ากรด (Acid value) ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตด้วยวิธีการหมัก และการหีบเย็น

WAT: West African Tall; MYD: Malayan Yellow Dwarf; THT: Thai Tall; Sawi 1; WAT x MYD; Chumphon 2: THT x MYD; Chumphon 60: WAT x THT

อักษร a-g ที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 15 พบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตด้วยวิธีการหีบเย็นจะมีค่า AV ต่ำกว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตด้วยวิธีการหมัก ทั้งนี้เนื่องจากการหมักกะทิด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม Proteolytic, Amylolytic และ Lipolytic ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ธรรมชาติ (Natural microbial flora) ที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื้อมะพร้าว จุลินทรีย์เหล่านั้นจะมีการเจริญโดยใช้โปรตีนและน้ำตาลในกะทิเป็นแหล่งคาร์บอน การย่อยโปรตีนที่หุ้มล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน ทำให้อนุภาคน้ำมันรวมตัวกันเป็นชั้นน้ำมัน แยกออกจากส่วนอื่นๆ ได้ (Soeka *et al*, 2008; Rahayu *et al*, 2008; Gunetileke and

Prince of Songkla University Pattani Campus

Laurentius, 1974) การเกิดไฮโดรไลซิสเพียงบางส่วน (partial hydrolysis) โดยเอนไซม์ที่มีความจำเพาะ จึงทำให้ไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระได้มากขึ้น (Lalas and Tsaknis, 2002) Lawson (1985) และ Che Man *et al*. (1997) รายงานว่า ไตรกลีเซอไรด์จะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระได้มากขึ้นในสภาวะที่มีน้ำ อย่างไรก็ตามค่า AV ที่พบในการศึกษาครั้งนี้มีค่อนข้างต่ำแสดงให้เห็นว่าน้ำมันมีคุณภาพดี

4.1.4 ปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอล

โทโคฟีรอล หรือวิตามินอีเป็นวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกาย ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ ช่วยปกป้องเซลล์ในร่างกายให้ทำงานได้อย่างปกติ ช่วยบำรุงและป้องกันโรคหัวใจ มีคุณสมบัติบำรุงกล้ามเนื้อหัวใจที่เสื่อมโทรม ในขณะเดียวกันวิตามินอียังช่วยลดปริมาณออกซิเจนที่เนื้อเยื่อต้องการ นอกจากนี้ยังลดการเกิดลิ่มเลือดจึงช่วยป้องกันการอุดตันของเส้นเลือดหัวใจด้วย แอลฟาโทโคฟีรอล (α-Tocopherol) เป็นรูปที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาของวิตามินอี ทำหน้าที่ป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์จากสารอนุมูลอิสระ (Free radical) (Weber *et al*., 2001) การศึกษาหาปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลในครั้งนี้ใช้วิธีการสกัดแอลฟาโทโคฟีรอลออกจากตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ แล้ววิเคราะห์ปริมาณวิตามินอีโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 695 นาโนเมตร

จากผลการศึกษาปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 2.99-5.78 mg/ 100 g oil (ตารางที่ 21) ซึ่งใกล้เคียงกับที่รายงานโดย Syvaoja *et al*. (1986) โดยรายงานว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอล 3.88 mg/ 100 g oil เมื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ต่อปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอล พบว่า ปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) จากแต่ละวิธีการผลิตน้ำมัน โดยปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลที่พบในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตด้วยวิธีการหีบเย็นสูงกว่าที่ผลิตด้วยวิธีการหมัก (ตารางที่ 21) เนื่องจาก 3 ปัจจัย (1) ความเป็นขั้วและไม่มีขั้วของสาร (3) การเจือจางสารละลายด้วยน้ำจากขั้นตอนการหมัก และ (3) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีการหมักจะผสมเนื้อมะพร้าวกับน้ำเพื่อคั้นกะทิ และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำมันแยกตัวออกมาจากน้ำ แอลฟาโทโคฟีรอลเป็นสารที่ไม่มีขั้ว จึงยากที่จะละลายออกมาในขณะที่คั้นกะทิ และแอลฟาโทโคฟีรอลอาจสูญเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการหมักน้ำกะทิ นอกจากนี้แอลฟาโทโคฟีรอลในมะพร้าวจะพบมากตรงบริเวณ Testa (ชั้นสีน้ำตาลบางๆ ที่ยึดติดกับเนื้อมะพร้าวสีขาว) แรงกดจากการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีการหีบเย็นสามารถทำให้วิตามินอีที่อยู่ในส่วน Testa ออกมา (Marina *et al*., 2009)

Prince of Songkla University Pattani Campus

เมื่อเปรียบเทียบผลของสายพันธุ์มะพร้าวต่อปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอล พบว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 มีปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลสูงที่สุด รองลงมาคือพันธุ์เวสท์แอฟริกันต้นสูง และพันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 (4.91, 4.78 และ 4.02 mg/ 100 g oil ตามลำดับ) ดังแสดงในตารางที่ 22 การเปรียบเทียบปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลในกลุ่มของต้นพันธุ์ พบว่ามะพร้าวพันธุ์เวสท์แอฟริกันต้นสูงมีปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลสูงที่สุด และแตกต่าง ($p \leq 0.05$) กับมะพร้าวต้นพันธุ์อีกสองพันธุ์ ในกลุ่มของพันธุ์ลูกผสม พบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 มีปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลสูงที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับมะพร้าวลูกผสมอีกสองพันธุ์ (มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 และพันธุ์สวีลูกผสม 1) การเปรียบเทียบปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลของมะพร้าวลูกผสมกับต้นพันธุ์แสดงให้เห็นแนวโน้มที่ต่างกัน คือ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 และพันธุ์สวีลูกผสม 1 มีปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับมะพร้าวต้นพันธุ์ แต่มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 มีปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลสูงกว่าต้นพันธุ์ ($p \leq 0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 21 ปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอล สารประกอบฟีนอล และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

Coconut varieties	**Oil extraction method**	**Alfa-Tocopherol (mg/100 g oil)**	**Total phenolic (mg GAE/100 g oil)**	**EC_{50} (mg GAE/ml)**
West African Tall	Fermentation	4.15 ± 0.12^{ef}	53.71 ± 0.26^{c}	0.81 ± 0.02^{de}
	Cold pressing	5.40 ± 0.06^{ab}	57.77 ± 0.36^{a}	0.48 ± 0.01^{g}
Malayan yellow Dwarf	Fermentation	2.14 ± 0.32^{j}	51.72 ± 0.15^{d}	0.87 ± 0.01^{d}
	Cold pressing	4.67 ± 0.24^{cd}	53.15 ± 0.58^{cd}	0.74 ± 0.09^{e}
Thai Tall	Fermentation	2.66 ± 0.22^{i}	52.10 ± 1.56^{d}	0.79 ± 0.03^{de}
	Cold pressing	3.67 ± 0.18^{fg}	55.45 ± 1.61^{b}	0.62 ± 0.03^{f}
Sawi 1	Fermentation	3.27 ± 0.05^{gh}	52.91 ± 1.10^{cd}	1.15 ± 0.06^{b}
	Cold pressing	4.45 ± 0.69^{de}	56.66 ± 0.80^{ab}	1.01 ± 0.15^{c}
Chumphon Hybrid No.2	Fermentation	4.03 ± 0.25^{ef}	48.17 ± 0.74^{e}	1.27 ± 0.04^{a}
	Cold pressing	5.78 ± 0.18^{a}	48.60 ± 0.80^{e}	1.20 ± 0.02^{ab}
Chumphon Hybrid No.60	Fermentation	2.99 ± 0.36^{hi}	55.38 ± 0.40^{b}	0.80 ± 0.09^{de}
	Cold pressing	5.04 ± 0.07^{bc}	57.89 ± 0.57^{a}	0.53 ± 0.0^{fg}

Means within each column with different superscript are significantly different ($p \leq 0.05$). The EC_{50} value is defined as the amount of oil necessary to decrease the initial DPPH radical concentration by 50%. Sawi 1: WAT x MYD; Chumphon 2: THT x MYD; Chumphon 60: WAT x THT

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยของปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอล สารประกอบฟีนอล และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวทั้ง 6 สายพันธุ์ ที่ผลิตด้วยวิธีการหมักและการหีบเย็น

Factor	**Alfa-Tocopherol (mg/100 g oil)**	**Total phenolic (mg GAE/100 g oil)**	**EC_{50} (mg GAE/ml)**
Cold pressing	4.84±0.75[a]	54.92±3.42[a]	0.75±0.27[b]
Fermentation	3.21±0.76[b]	52.33±2.38[b]	0.93±0.20[a]
Oil extraction method (M)	**	**	**
West African Tall	4.78±0.69	55.74±2.24	0.65±0.18
Malayan Yellow Dwarf	3.41±1.41	52.44±0.87	0.81±0.09
Thai Tall	3.16±0.58	53.78±2.32	0.71±0.10
Sawi Hybrid No.1	3.86±0.78	54.79±2.22	0.97±0.26
Chumphon Hybrid No.2	4.91±1.15	48.39±1.44	1.23±0.16
Chumphon Hybrid No.60	4.01±0.98	56.63±0.73	0.67±0.06
Varieties (V)	**	**	**
V*M	**	**	ns

Means within each column with different superscript are significantly different ($p \leq 0.05$). The EC_{50} value is defined as the amount of oil necessary to decrease the initial DPPH radical concentration by 50%; ns mean not significant; ** mean significant; Sawi 1: WAT x MYD; Chumphon 2: THT x MYD; Chumphon 60: WAT x THT

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอลเป็นสารทุติยภูมิ (Secondary substance) ซึ่งพบได้ในพืชทั่วไป แต่ปริมาณและตำแหน่งที่พบสารกลุ่มนี้มักแตกต่างกันตามชนิดของพืช (Duh and Yen, 1997) สารประกอบฟีนอล เช่น กรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มีสมบัติเป็นนิวคลีโอไฟล์ (Nucleophile) ที่ดี สามารถดักจับอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ได้ ผลการวิจัยของ Visioli and Galli (1998) แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลในอาหารสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein, LDL) ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจ (Coronary heart disease)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในงานวิจัยนี้ใช้การเปรียบเทียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid)

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่เตรียมโดยวิธีการหีบเย็นจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 54.92±3.42 mg GAE/ 100 g oil สูงกว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่เตรียมโดยวิธีการหมักเท่ากับ 52.33±2.38 mg GAE/ 100 g oil (ตารางที่ 22) ชี้ให้เห็นว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลแตกต่างกันตามวิธีการสกัด ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Dia *et al*. (2005) ที่รายงานว่ากระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวที่แตกต่างกันมีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลในน้ำมันมะพร้าวที่ได้แตกต่างกัน การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากกระบวนการหมักกะทิด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติ (Natural microbial flora) ที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื้อมะพร้าว จุลินทรีย์เหล่านั้นจะมีการเจริญโดยใช้โปรตีนและน้ำตาลในกะทิเป็นแหล่งคาร์บอน การย่อยโปรตีนที่หุ้มล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน ทำให้อนุภาคน้ำมันรวมตัวกันเป็นชั้นน้ำมัน แยกออกจากส่วนอื่นๆ ได้ สารประกอบฟีนอลเป็นสารประกอบที่มีขั้วจึงละลายอยู่ในชั้นน้ำมากกว่าชั้นของน้ำมัน เมื่อครบเวลาการหมักจะทำการแยกชั้นน้ำกับชั้นของน้ำมันออก ทำให้สารประกอบฟีนอลที่พบในน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตด้วยวิธีการหมักมีปริมาณน้อย

เมื่อพิจารณาถึงผลของสายพันธุ์มะพร้าวต่อปริมาณสารประกอบฟีนอล พบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุด รองลงมาคือพันธุ์เวสท์แอฟริกันต้นสูง และพันธุ์สวีลูกผสม 1 เท่ากับ 56.63, 55.74 และ 54.79 mg GAE/ 100 g oil ตามลำดับ (ตารางที่ 22) ในกลุ่มของต้นพันธุ์พบว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวพันธุ์ต้นสูง (เวสท์แอฟริกันต้นสูง และไทยต้นสูง) จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าพันธุ์ต้นเตี้ย (มลายูสีเหลืองต้นเตี้ย) จึงเป็นผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลในกลุ่มของพันธุ์ลูกผสมที่มาจากพันธุ์ต้นสูง (มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 60) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุด

การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลของมะพร้าวลูกผสมกับต้นพันธุ์แสดงให้เห็นแนวโน้มที่ต่างกัน คือน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 (WAT x THT) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับต้นพันธุ์ ในขณะที่น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวพันธุ์สวีลูกผสม 1 (WAT x MYD) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่แตกต่าง ($p \leq 0.05$) กับต้นพันธุ์ที่เป็นต้นเตี้ย แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับต้นพันธุ์ที่เป็นต้นสูง สำหรับน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 (MYD x THT) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่แตกต่าง ($p \leq 0.05$) กับต้นพันธุ์ (ตารางที่ 22) ซึ่งปริมาณของสารประกอบฟีนอลที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากการสร้างสารประกอบฟีนอลของพืชจะมีปัจจัยทางพันธุกรรมมาเกี่ยวข้อง ดังนั้นพันธุ์มะพร้าวที่แตกต่างกันมีผลให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลแตกต่างกัน (Wua *et al*., 2004)

4.1.6 ความสามารถของการต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ DPPH เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว มีสีม่วง ใช้ในการทดสอบความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของตัวอย่าง (Scavenging activity) สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH มีสีม่วงในเอทานอล และเมื่อได้รับ H จะเปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลือง การวิเคราะห์เป็นการวัดความสามารถของสารสกัดในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สามารถลดความสามารถของอนุมูลอิสระ DPPH จากสีม่วงไปเป็นสีเหลือง หมายความว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนและทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากผลการทดลอง พบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สามารถดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีโดยมีค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 0.48-1.27 mg GAE/mL (ตารางที่ 21) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการให้ไฮโดรเจนและความสามารถในการต้านการออกซิเดชันของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ พบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตด้วยวิธีที่แตกต่างกันมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตด้วยวิธีการหีบเย็นมีสมบัติการให้ไฮโดรเจนและความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าที่ผลิตด้วยวิธีการหมัก โดยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ พันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 ที่ผลิตด้วยวิธีการหมักให้ค่า EC_{50} สูงถึง 1.27 mg GAE/mL (ตารางที่ 22) ทำให้ทราบว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตด้วยวิธีนี้มีความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ได้ไม่ดีนัก เนื่องจากวิธีผลิตน้ำมันที่แตกต่างกัน มีผลให้มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนและความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันแตกต่างกัน (Moure *et al*., 2001)

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แต่ละสายพันธุ์ พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะพร้าวแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) สำหรับน้ำมันมะพร้าวที่มีความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีคือน้ำมันจากมะพร้าวพันธุ์เวสท์แอฟริกันต้นสูง และน้ำมันจากมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 (WAT x THT) โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 0.48 และ 0.53 mg GAE/mL ตามลำดับ (ตารางที่ 22) การทดลองหาค่าความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในครั้งนี้ได้ใช้สารสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในการทดสอบ เนื่องจากสารสกัดวิตามินอีเป็นสารที่ไม่มีขั้ว ไม่สามารถละลายเข้ากับสารละลาย DPPH ซึ่งเป็นสารที่มีขั้วสูงได้ และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองดังกล่าวกับผลการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตารางที่ 21 จะเห็นว่า ลำดับความสามารถดักจับอนุมูลอิสระ DPPH กับลำดับของปริมาณสารประกอบฟีนอลในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการให้ไฮโดรเจนของสารประกอบฟีนอลไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณหรือจำนวนของหมู่ฟีนอลิกเท่านั้น แต่

Prince of Songkla University Pattani Campus

อาจขึ้นกับตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group, OH) ซึ่งเป็นส่วนประกอบโครงสร้างด้วย เนื่องจากมีหลักฐานว่า หมู่ ortho-dihydroxyl บนวงแหวนบี (B-ring) ของฟลาโวนอยด์ สามารถให้ไฮโดรเจนได้ดีกว่าหมู่ hydroxyl ที่ตำแหน่งอื่นๆ บนโมเลกุลเดียวกัน (Morel and Cillard, 1998)

โดยรวมแล้วมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมจากมะพร้าวพันธุ์เวสท์แอฟริกันต้นสูง กับไทยต้นสูง คือ มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 มีลักษณะที่โดดเด่นกว่าลูกผสมอื่นๆ คือ มีปริมาณ กรดลอริก ปริมาณสารประกอบฟีนอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด จึงเลือกน้ำมันมะพร้าวจากมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 60 เพื่อเตรียมโมโนลอรินในขั้นตอนต่อไป

4.2 การเตรียมโมโนลอริน

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโมโนลอรินด้วยเอนไซม์ 3 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์ไลเปสจี (Lipase G) จากเชื้อ *Panicillium camembertii* เอนไซม์ไลโปไซม์ (Lypozyme®) จากเชื้อ *Rhizomucor miehei* และเอนไซม์ไลเปสอาร์ (Lipase R) จากเชื้อ *Rhizopus arrhizus* โดยศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก ความเข้มข้นของเอนไซม์ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณโมโนลอริน ผลการศึกษาแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 4.2.1-4.2.3

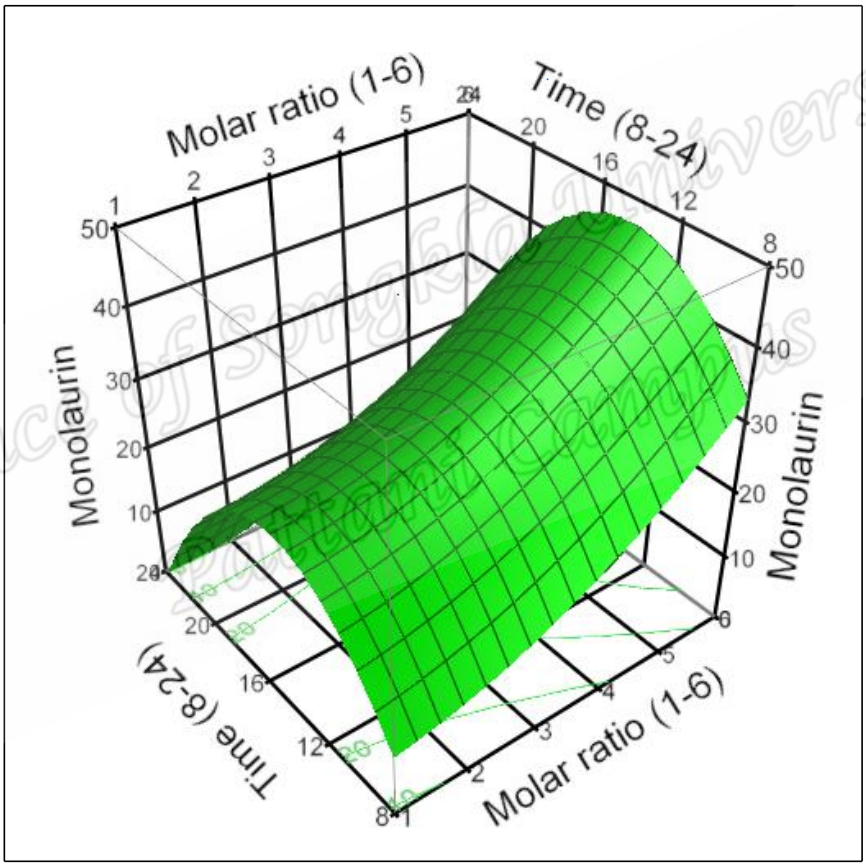
4.2.1 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโมโนลอรินด้วยเอนไซม์ Lipase G

ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก 1:1-6:1 ความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G 0.1-3.0 % โดยน้ำหนักของกรดลอริก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 8-24 ชั่วโมง โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) วิเคราะห์ปริมาณของโมโนลอรินที่ได้โดยเทคนิคโครมาโทกราฟ รายละเอียดของผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 16-18 และตารางภาคผนวกที่ 2 พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมโมโนลอริน คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก 6:1 ความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G 1.6 % โดยน้ำหนักของกรดลอริก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 16 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณโมโนลอรินสูงที่สุด เท่ากับ 60.93% โดยน้ำหนักของกรดลอริก (ตารางภาคผนวกที่ 2) ในขณะที่ Freitas *et al.* (2010) ศึกษาการเตรียมโมโนลอรินโดยใช้กรดลอริกบริสุทธิ์ทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลที่อัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 8:1 และใช้เอนไซม์ Lipase G ที่ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักของกรดลอริก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ปริมาณโมโนลอรินที่ได้เท่ากับ 60% โดยน้ำหนักของกรดลอริก

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณโมโนลอรินดังแสดงในรูปที่ 16 พบว่า ที่ระยะเวลาใดๆ การ

Prince of Songkla University Pattani Campus

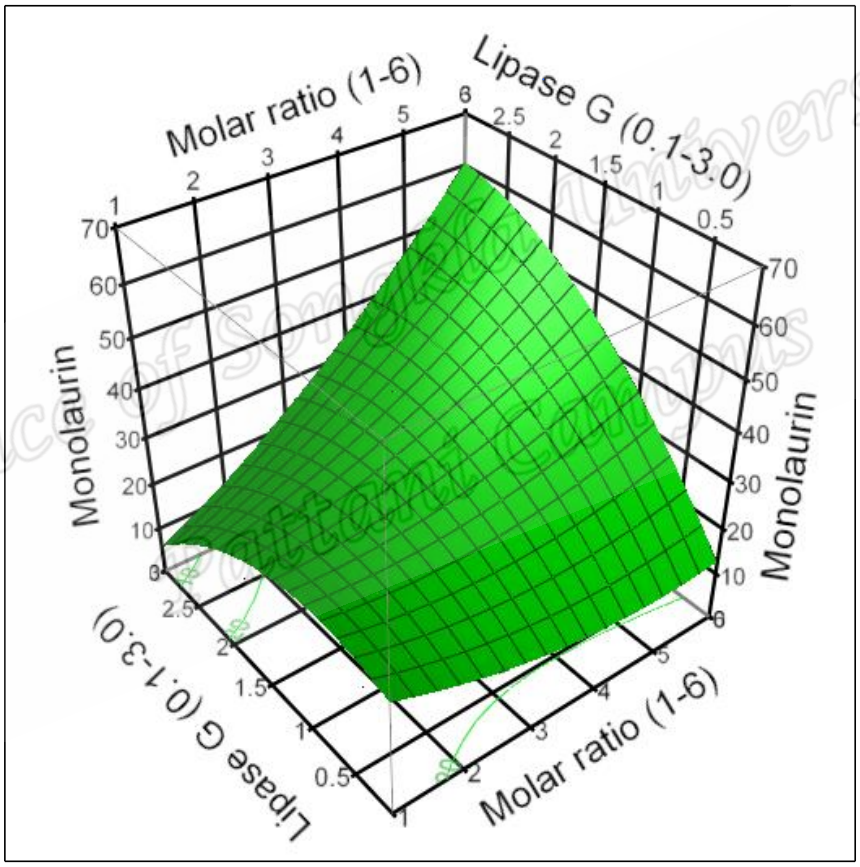
เพิ่มขึ้นของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก ปริมาณโมโนลอรินมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณกลีเซอรอลที่มากขึ้นทำให้กรดลอริกสามารถทำปฏิกิริยา หรือจับกับกลีเซอรอลได้มากขึ้น ปริมาณโมโนลอรินจึงสูงขึ้นตามไปด้วย และที่อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกระดับต่างๆ เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นปริมาณโมโนลอรินที่ได้เพิ่มขึ้นด้วย แต่หลังจากเวลาผ่านไป 16 ชั่วโมง ปริมาณโมโนลอรินที่ได้ลดลง ทั้งนี้เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นในระบบมีปริมาณลดลง กรดลอริกที่ยังเหลืออยู่จึงเข้าไปทำปฏิกิริยากับผลผลิตที่เป็นโมโนลอริน ทำให้โมโนลอรินเปลี่ยนเป็นไดลอริน และไตรลอริน เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาที่ 24 ชั่วโมงจึงทำให้โมโนลอรินที่ได้มีปริมาณน้อย



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณโมโนลอริน โดยใช้เอนไซม์ Lipase G เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G ต่อปริมาณโมโนลอริน ดังแสดงในรูปที่ 17 พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์มีผลต่อการผลิตโมโนลอรินอย่างชัดเจน ที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G

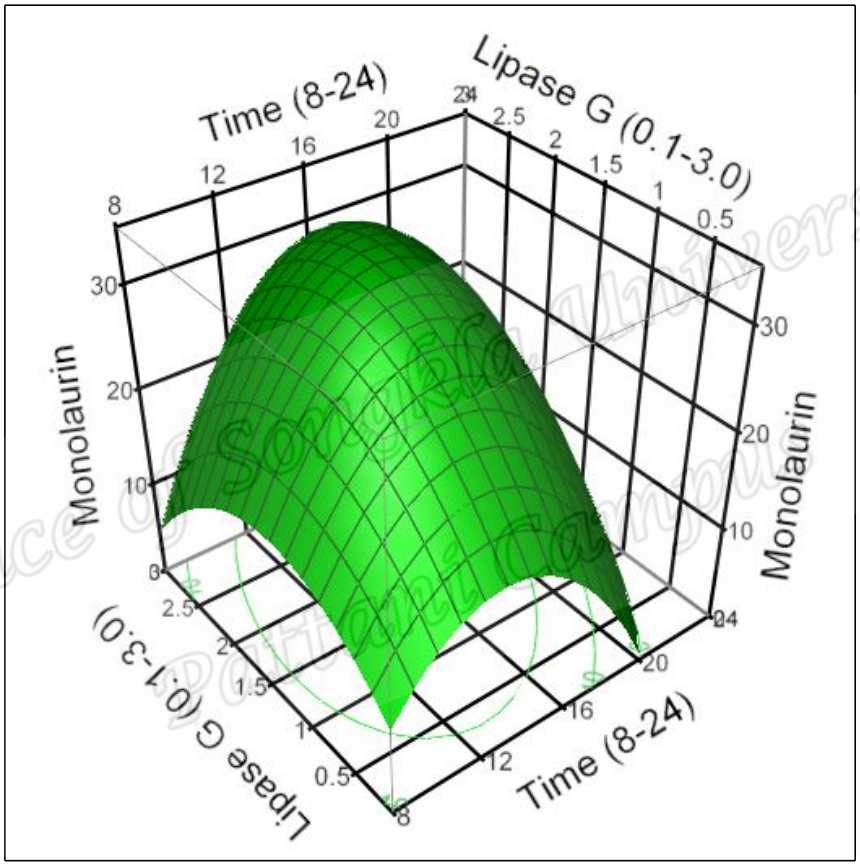
0.5% โดยน้ำหนักของกรดลอริก อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลให้ปริมาณของโมโนลอรินเพิ่มขึ้น แต่ที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G ที่สูงขึ้น โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G 3% โดยน้ำหนักของกรดลอริก การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกมีผลให้ปริมาณโมโนลอรินที่ได้สูงถึง 60.93% โดยน้ำหนักของกรดลอริก ที่ระดับอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกเท่ากับ 1 เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G เพิ่มขึ้นปริมาณของโมโนลอรินลดลง ในทางกลับกัน ที่ระดับอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกเท่ากับ 6 ปริมาณโมโนลอรินเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของเอนไซม์ Lipase G



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G ต่อปริมาณโมโนลอริน

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G ต่อปริมาณโมโนลอริน ดังแสดงในรูปที่ 18 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G เพิ่มขึ้น ปริมาณโมโนลอรินที่ได้เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

มากกว่า 16 ชั่วโมง และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G มากกว่า 2.0% โดยน้ำหนักของกรดลอริก ปริมาณโมโนลอรินที่ได้ลดลง ทั้งนี้เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นในระบบมีปริมาณลดลง กรดลอริกที่ยังเหลืออยู่จึงเข้าไปทำปฏิกิริยากับผลผลิตที่เป็นโมโนลอริน โดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipase G ทำให้หมู่คาร์บอกซิลของกรดลอริกเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของโมโนลอรินได้ผลผลิตเป็นไดลอริน และไตรลอริน (Fureby *et al*., 1997) ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาที่ 24 ชั่วโมงจึงทำให้โมโนลอรินที่ได้มีปริมาณน้อย



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ของระยะเวลาการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase G ต่อปริมาณโมโนลอริน

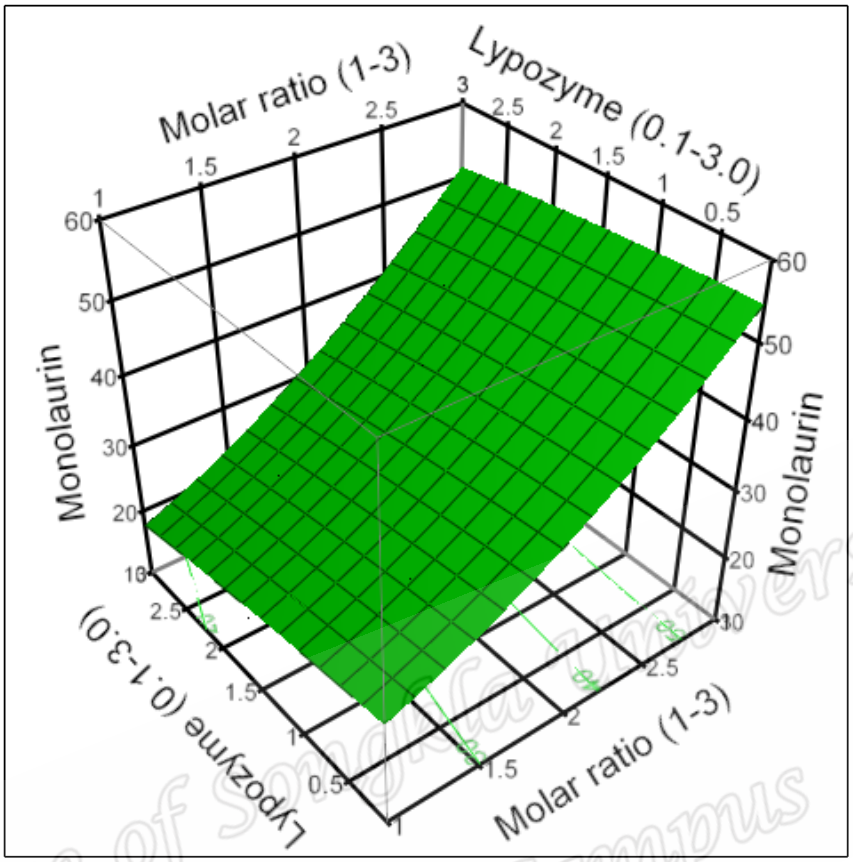
4.2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโมโนลอรินด้วยเอนไซม์ Lypozyme®

ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก 1:1-3:1 ความเข้มข้นของเอนไซม์ Lypozyme® 0.1-3.0% โดยน้ำหนักของกรดลอริก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 8-24 ชั่วโมง โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) วิเคราะห์ปริมาณของโมโนลอรินที่ได้โดยเทคนิคโครมาโทกราฟ รายละเอียดของผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 19-21

และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมโมโนลอริน คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก 3:1 ความเข้มข้นของเอนไซม์ Lypozyme® 1.6% โดยน้ำหนักของกรดลอริก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 16 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณโมโนลอรินสูงที่สุด เท่ากับ 52.24% โดยน้ำหนักของกรดลอริก (ตารางภาคผนวกที่ 3) ซึ่งสูงกว่าที่รายงานโดย Pereira *et al*. (2004) ที่ศึกษาการเตรียมโมโนลอรินโดยใช้เอนไซม์ Lypozyme® ที่ความเข้มข้น 3.0% โดยน้ำหนักของกรดลอริก อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกเท่ากับ 1 หลังจากผ่านไป 6 ชั่วโมง ปริมาณโมโนลอรินที่ได้เท่ากับ 45.50% โดยน้ำหนักของกรดลอริก

เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lypozyme® ต่อปริมาณโมโนลอริน ดังแสดงในรูปที่ 19 พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ Lypozyme® ใดๆ อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณโมโนลอรินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในระบบของสารละลายมีกรดลอริกและกลีเซอรอลเป็นสารตั้งต้นในการผลิตโมโนลอริน และมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าในระบบมีสัดส่วนของกลีเซอรอลกับกรดลอริกที่เหมาะสมจะทำให้ผลิตโมโนลอรินได้มากขึ้น ในทางกลับกันหากในระบบมีปริมาณของกรดลอริกมากกว่ากลีเซอรอล ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นไดลอรินและไตรลอริน แต่หากในระบบมีปริมาณของกลีเซอรอลมากเกินไป กลีเซอรอลซึ่งเป็นสารที่มีขั้วจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์อยู่ในรูปที่ไม่แอคทีฟ ส่งผลให้ปริมาณโมโนลอรินที่ได้ลดลง (Wong *et al*., 2000)

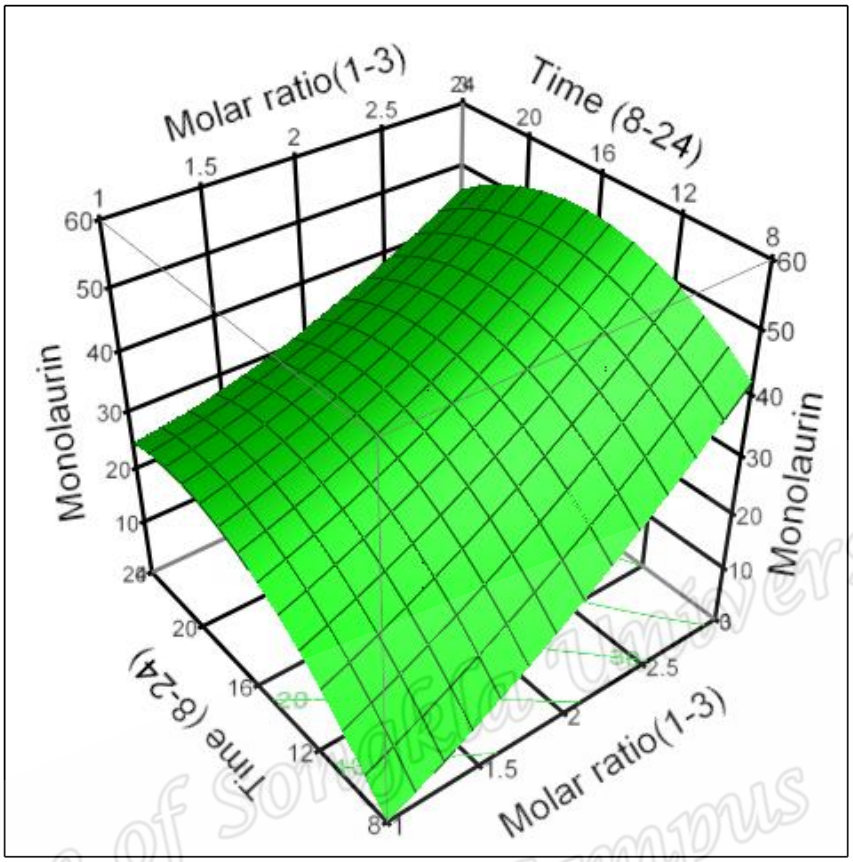
Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lypozyme® ต่อปริมาณโมโนลอริน

เมื่อพิจารณาถึงผลของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกและระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณโมโนลอริน ดังแสดงในรูปที่ 20 พบว่า ที่ระดับของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกใดๆ การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาให้มากกว่า 16 ชั่วโมง มีผลให้ปริมาณโมโนลอรินที่ได้ลดลง ยกเว้นที่อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกเท่ากับ 1 ปริมาณของโมโนลอรินเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

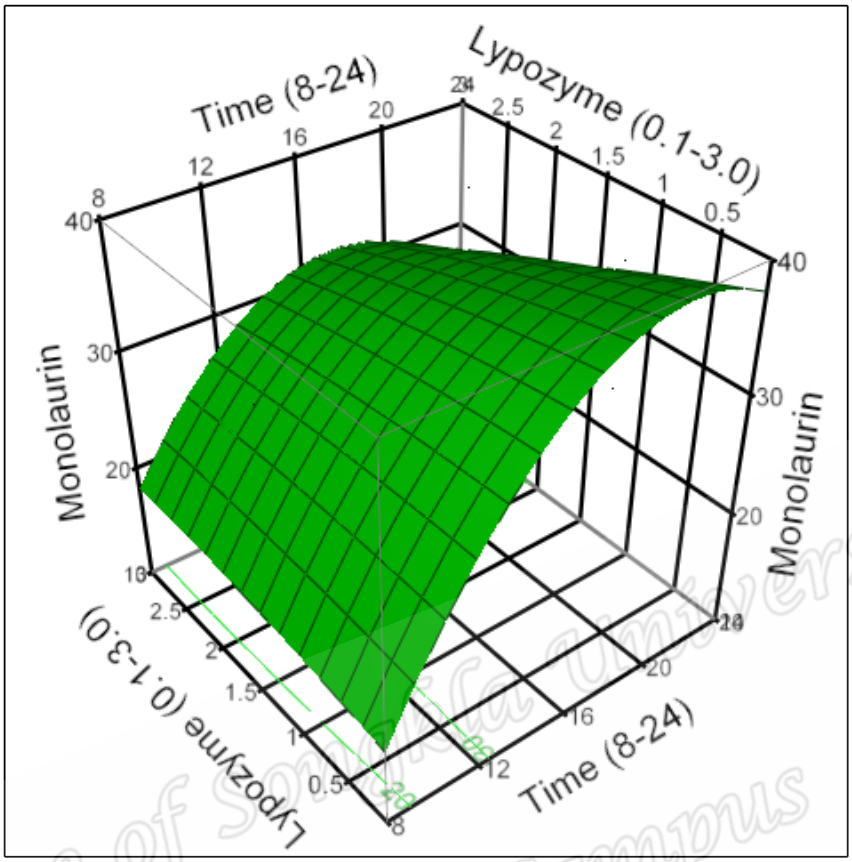
Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณโมโนลอริน โดยใช้เอนไซม์ Lypozyme® เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lypozyme® ต่อปริมาณโมโนลอริน ดังแสดงในรูปที่ 21 พบว่า เอนไซม์ Lypozyme® ที่ระดับความเข้มข้น 0.1% โดยน้ำหนักของกรดลอริก การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามีผลให้ปริมาณโมโนลอรินที่ได้เพิ่มขึ้น แต่ที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ Lypozyme® ที่สูงขึ้น (3% โดยน้ำหนักของกรดลอริก) เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 16 ชั่วโมง ปริมาณโมโนลอรินที่ได้ลดลง และเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่ 8 ชั่วโมง ปริมาณโมโนลอรินไม่เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อเพิ่มระยะเวลาการทำปฏิกิริยาจาก 8 ชั่วโมง เป็น 24 ชั่วโมง ปริมาณโมโนลอรินลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น ดังนั้นหากพิจารณาถึงข้อดีของการลดต้นทุนการดำเนินงาน ความเข้มข้นที่ดีที่สุดของการเตรียมโมโนลอรินคือความเข้มข้นของเอนไซม์ Lypozyme® 0.1% โดยน้ำหนักของกรดลอริก

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ของระยะเวลาการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lypozyme® ต่อปริมาณโมโนลอริน

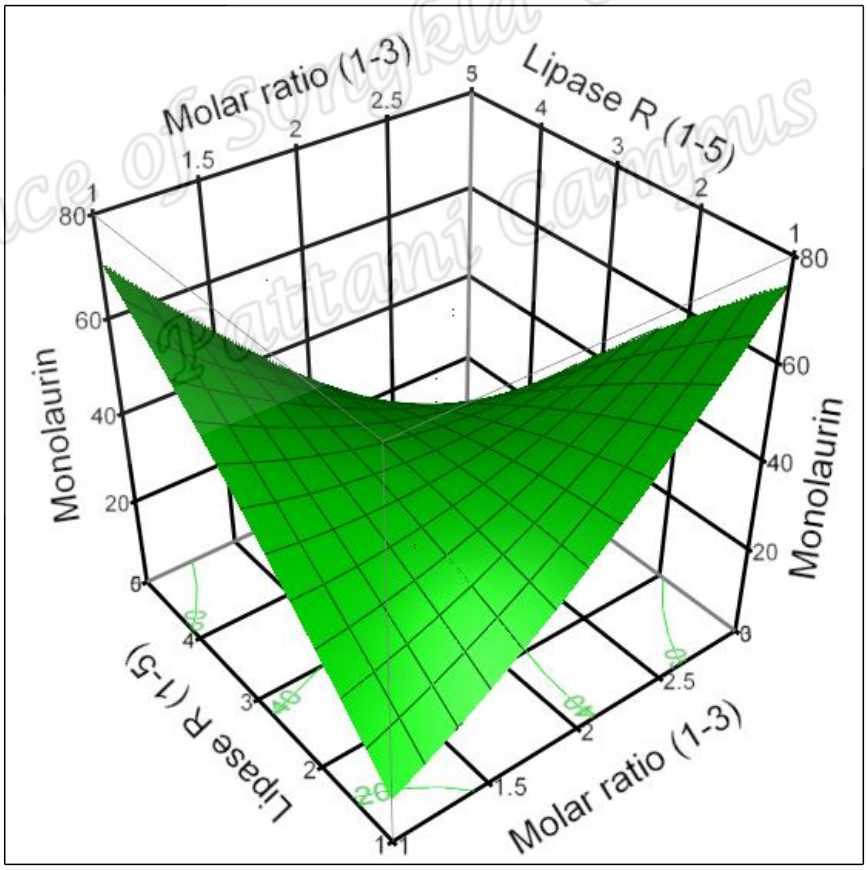
Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.3 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโมโนลอรินด้วยเอนไซม์ Lipase R

ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก 1:1-3:1 ความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R 1.0-5.0% โดยน้ำหนักของกรดลอริก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 8-24 ชั่วโมง โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) วิเคราะห์ปริมาณของโมโนลอรินที่ได้โดยเทคนิคโครมาโทกราฟ รายละเอียดของผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 22-24 และตารางภาคผนวกที่ 4 พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมโมโนลอริน คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก 1.5:1 ความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R 4.0% โดยน้ำหนักของกรดลอริก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 11.2 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณโมโนลอรินสูงที่สุด เท่ากับ 69.51% โดยน้ำหนักของกรดลอริก (ตารางภาคผนวกที่ 4)

เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R ต่อปริมาณโมโนลอริน ดังแสดงในรูปที่ 22 พบว่า ที่ระดับของอัตราส่วนโดย

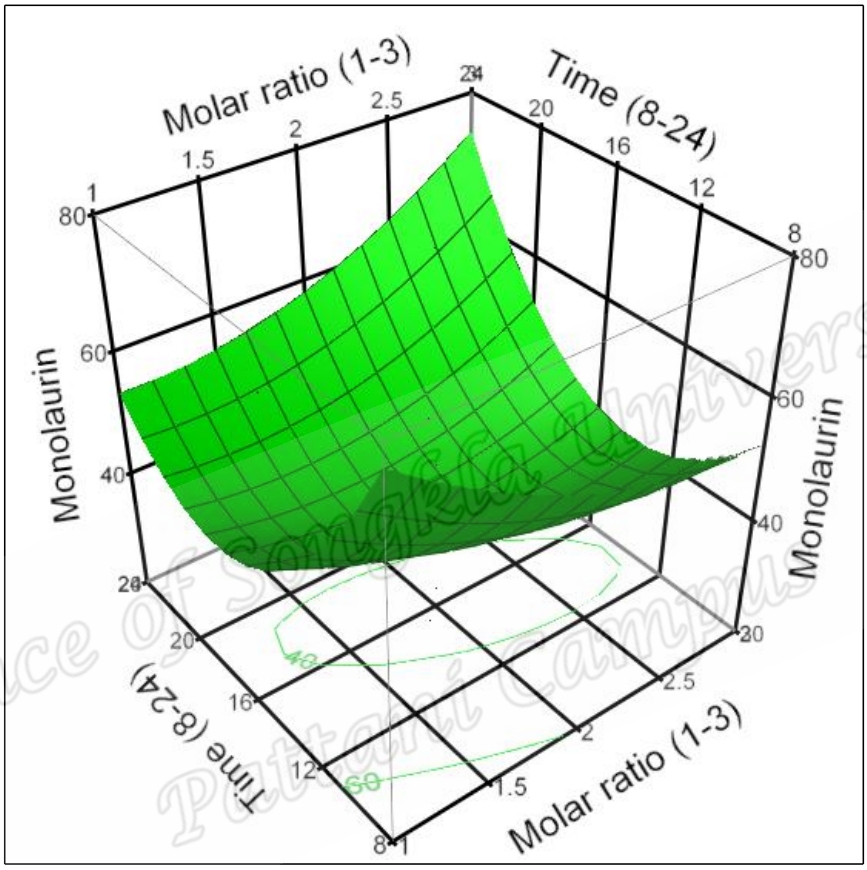
โมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกเท่ากับ 1 เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R เพิ่มขึ้นปริมาณโมโนลอรินเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเอนไซม์ Lipase R เป็นเอนไซม์ที่มีความจำเพาะต่อกรดลอริก (Fureby *et al*., 1997) เมื่อปริมาณของเอนไซม์ Lipase R เพิ่มขึ้น ความสามารถในการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับกรดลอริกจึงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ คือ โมโนลอรินเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R 1% โดยน้ำหนักของกรดลอริก ปริมาณของโมโนลอรินเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในระบบของสารละลายมีปริมาณของกลีเซอรอลที่มากเกินพอที่จะทำปฏิกิริยากับกรดลอริก โอกาสที่กรดลอริกจะทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลจึงมากขึ้น ทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณมากขึ้น ในขณะเดียวกับ ที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R สูงๆ การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก มีผลให้ปริมาณโมโนลอรินลดลง เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารที่มีขั้ว เมื่อปริมาณของกลีเซอรอลมากเกินไปจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทำให้เอนไซม์อยู่ในรูปที่ไม่แอคทีฟ ส่งผลให้ปริมาณโมโนลอรินที่ได้ลดลง (Wong *et al*., 2000)



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R ต่อปริมาณโมโนลอริน

Prince of Songkla University Pattani Campus

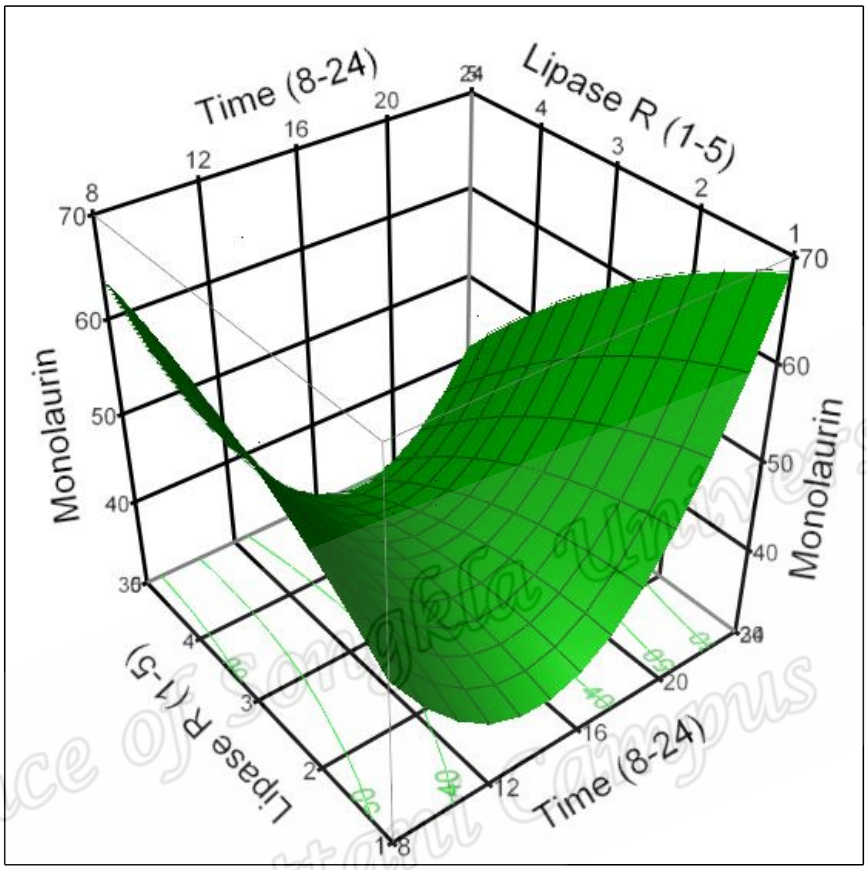
เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณโมโนลอริน ดังแสดงในรูปที่ 23 พบว่า ที่ระดับของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริกใดๆ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่น้อยกว่าหรือมากกว่า 16 ชั่วโมง มีผลให้ปริมาณโมโนลอรินลดลง



รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลกับกรดลอริก และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณโมโนลอริน โดยใช้เอนไซม์ Lipase R เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R ต่อปริมาณโมโนลอริน ดังแสดงในรูปที่ 24 พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R ใดๆ การใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่น้อยกว่าหรือมากกว่า 16 ชั่วโมง มีผลให้ปริมาณโมโนลอรินที่ได้ลดลง ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R เพิ่มขึ้น ปริมาณของโมโนลอรินเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 8 ชั่วโมง เป็น 24 ชั่วโมง เมื่อความความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R เพิ่มขึ้น ปริมาณของ

โมโนลอรินลดลง เป็นไปได้ว่าระยะเวลาที่นานเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนจากโมโนลอริน เป็นไดลอรินและไตรลอริน (Fureby *et al*., 1997)



รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ของระยะเวลาการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของเอนไซม์ Lipase R ต่อปริมาณโมโนลอริน

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของเอนไซม์ (Lipase G, Lypozyme® และ Lipase R) ต่อปริมาณโมโนลอริน พบว่า เอนไซม์ Lipase R สามารถผลิตโมโนลอรินได้สูงที่สุด 69.51% โดยน้ำหนักของกรดลอริก รองลงมา คือ เอนไซม์ Lipase G และ Lypozyme® ผลิตโมโนลอรินได้ 60.93 และ 52.24% โดยน้ำหนักของกรดลอริก ตามลำดับ โดยรวมแล้ว หากพิจารณาถึงต้นทุนในการผลิตโมโนลอรินโดยใช้เอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด พบว่า เอนไซม์ Lipase G มีความเหมาะสมที่สุด เพราะสามารถเลือกใช้ที่ความเข้มข้นต่ำเพียง 1.6% โดยน้ำหนักของกรดลอริก สามารถผลิตโมโนลอรินได้ในปริมาณที่สูง คือ 60.93% โดยน้ำหนักของกรดลอริก โดยมีต้นทุนค่าวัตถุดิบและเอนไซม์ที่ใช้ในการผลิตเพียง 10 บาทต่อโมโนลอริน 1 กรัม ในขณะที่ความเข้มข้นที่ดีที่สุดของเอนไซม์ Lipase R และ Lypozyme® คือ 4.0 และ 1.6% โดยน้ำหนักของกรดลอริก ซึ่งผลิตโมโนลอรินได้ 69.51 และ

Prince of Songkla University Pattani Campus

52.24% โดยน้ำหนักของกรดลอริก และมีต้นทุนในการผลิต 25 และ 17 บาทต่อโมโนลอริน 1 กรัม ตามลำดับ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโมโนลอรินด้วยเอนไซม์ 3 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์ Lipase G เอนไซม์ Lypozyme® และเอนไซม์ Lipase R ในครั้งนี้เลือกใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้นเพื่อทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลแทนการใช้กรดลอริกบริสุทธิ์ เนื่องจากเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด เป็นเอนไซม์ที่มีความจำเพาะต่อกรดไขมันที่มีความยาวของสายโซ่ขนาดปานกลางมากกว่ากรดไขมันที่มีความยาวของสายโซ่ขนาดยาว โดยเฉพาะกับกรดลอริก จึงสามารถใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้นได้ ทำให้สามารลดขั้นตอนและต้นทุนในการแยกกรดลอริกออกมา จึงแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ที่ใช้กรดลอริกบริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตโมโนลอรินจากผลการทดลองกับทางการค้า ยี่ห้อ Ecological Formulas (รูปภาคผนวกที่ 9) พบว่า ต้นทุนในการผลิตโมโนลอรินโดยเอนไซม์ Lipase G เท่ากับ 10 บาทต่อโมโนลอริน 1 กรัม ในขณะที่โมโนลอรินทางการค้ามีราคาขายเท่ากับ 60 บาทต่อโมโนลอริน 1 กรัม

Prince of Songkla University Pattani Campus