บทที่ 1

บทนำ

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์ม ซึ่งต้นปาล์มเป็นไม้ยืนต้นมีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guinunsis* มีถิ่นกำเนิดในแอฟริกาและได้กระจายพันธุ์ไปยังลาตินอเมริกาและเอเชียตอนใต้ การผลิตน้ำมันปาล์มทำได้ 2 ส่วน คือจากเนื้อที่หุ้มเมล็ดเรียกว่าน้ำมันปาล์ม (palm oil) และจากเนื้อเมล็ดในเรียกว่าน้ำมันเนื้อเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) ซึ่งน้ำมันทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์และองค์ประกอบภายในที่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาคผนวก ก (1) น้ำมันจากเนื้อเมล็ดในจะมีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันมะพร้าว คือ มีกรดลอริกในปริมาณสูง นิยมนำไปใช้ทำเนยเทียมหรือเนยขาว , ทำนมผงและเครื่องสำอาง ส่วนน้ำมันจากเนื้อปาล์มมีองค์ประกอบของไขมันอิ่มตัวน้อยกว่าเป็นพวกกรดปาเมติก นอกจากนี้ถ้านำน้ำมันปาล์มมาแยกส่วนที่เป็นไขมันออกจะได้ ปาล์มโอเลอีน(palm olein) ซึ่งน้ำมันปาล์มโอเลอีนนี้จะนำมาบริโภคและขายในท้องตลาด ส่วนไขซึ่งเป็นปาล์มสเตริน นำมาใช้ในอุตสาหกรรมสบู่

ปัจจุบันมาเลเซียเป็นแหล่งผลิตน้ำมันปาล์มที่ใหญ่ที่สุดเป็นอันดับหนึ่งของโลกซึ่งผลิตได้ 6.650 ล้านตัน คิดเป็นอัตราร้อยละ 54 ของผลผลิตโลก รองลงมาเป็นอินโดนีเซีย ผลิตได้ 3.100 ล้านตัน คิดเป็นอัตราร้อยละ 25 ของผลผลิตโลก และไนจีเรียผลิตได้ 0.60 ล้านตัน คิดเป็นอัตราร้อยละ 5 ของผลผลิตโลก (2) สำหรับประเทศไทยปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญทางภาคใต้ซึ่งรัฐบาลให้การสนับสนุน การผลิตน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทยยังมีการผลิตไม่มากนักเมื่อเทียบกับการผลิตทั่วโลก แสดงเนื้อที่เพาะปลูกและผลผลิตของน้ำมันปาล์มในภาคผนวก ข และน้ำมันปาล์มที่ผลิตได้ภายในประเทศส่วนใหญ่จะจำหน่ายให้กับอุตสาหกรรมต่อเนื่องภายในประเทศเป็นหลัก มีส่วนน้อยมากที่ส่งจำหน่ายไปยังประเทศเพื่อนบ้าน เนื่องจากต้นทุนการผลิตน้ำมันปาล์มของไทยค่อนข้างสูงจึงส่งผลให้ราคาน้ำมันปาล์มของไทยสูงและทำให้ตลาดการส่งออกน้ำมันปาล์มของไทยค่อนข้างจำกัด ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มภายในประเทศในแต่ละปีมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยแยกความต้องการเพื่อบริโภคโดยตรงประมาณร้อยละ 64 และร้อยละ 36 เป็นความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหาร

เช่น ทำเนยเทียม , ครีมเทียม , นมข้นหวานและจืด , อุตสาหกรรมอาหารขบเคี้ยวต่างๆ , บะหมี่สำเร็จรูป ฯลฯ และอุตสาหกรรมที่มิใช่อาหาร เช่น สบู่ เทียนไข ผงซักฟอก สี เครื่องสำอาง ยา กรดไขมันอิสระ เป็นต้น จากตารางที่1.1 ซึ่งแสดงปริมาณผลผลิตและความต้องการน้ำมันปาล์มของไทยซึ่งคาดว่าในปี 2539-2540 ปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ ดังนั้นจำเป็นต้องนำเข้าน้ำมันปาล์มจากต่างประเทศดังแสดงปริมาณและมูลค่าส่งออกและนำเข้าน้ำมันปาล์ม ระหว่างปี 2531-2535 ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 ปริมาณผลผลิตและความต้องการน้ำมันปาล์มไทยปี 2535-2540

หน่วย : พันตัน

รายการ	2535	2536	2537	2538	2539	2540
ความต้องการ	252.25	272.53	306.68	344.93	388.05	436.86
ปริมาณผลผลิต	259.16	301.46	325.51	354.97	361.25	377.19
ผลผลิตส่วนเกิน	6.91	28.93	18.83	10.04	-26.80	-58.87

ที่มา : ศูนย์สถิติการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2536

หมายเหตุ : 1. ความต้องการเป็นความต้องการที่ไม่รวมสต๊อก

2. ผลผลิตเป็นผลผลิตรวมของน้ำมันจากผลปาล์มและเมล็ดในปาล์ม

3. อัตราแปลงค่าผลปาล์มสด : น้ำมัน เท่ากับ 100 : 20

ตารางที่ 1.2 ปริมาณและมูลค่าส่งออกและนำเข้าน้ำมันปาล์ม ปี 2531-2535

ปี	ส่งออก		นำเข้า	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า(พันบาท)	ปริมาณ(ตัน)	มูลค่า(พันบาท)
2531	0.799	27.214	5,994.364	97,088.213
2532	148.514	2,833.793	2,391.205	57,007.176
2533	247.286	4,772.187	2,928.205	57,007.220
2534	576.046	8,359.577	4,408.502	77,975.220
2535	1,675.689	21,210.978	12,949.676	183,711.457

ที่มา : ศูนย์สถิติการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2536

ในการผลิตน้ำมันปาล์มเพื่อการอุปโภคและบริโภคดังกล่าวข้างต้น จำเป็นที่จะต้องกำจัดแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดสีในน้ำมันปาล์ม พบว่ามีปริมาณของแคโรทีนอยด์ 500-700 ppm ซึ่งมีปริมาณ บีตา-แคโรทีนและแอลฟาแคโรทีน 91% นอกนั้นเป็นแซนโทฟิลและไลโคฟิล (3) ดังจะเห็นได้ว่าปริมาณบีตา-แคโรทีนมีอยู่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (ตารางที่ 1.3) ซึ่งทำให้เกิดสีในน้ำมันปาล์ม ในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอีนนั้นมีกระบวนการในการกำจัดสีออก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางฟิสิกส์ ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการนี้จะทำลายบีตา-แคโรทีนที่อยู่ในน้ำมันปาล์ม ดังแสดงแผนภาพกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโดยย่อๆ ในรูปที่ 1.1 (4)

ตารางที่ 1.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์ม (3)

แคโรทีนอยด์	ปริมาณ (%)
บีตา-แคโรทีน	62
แอลฟา-แคโรทีน	29
แกมมา-แคโรทีน	4
แซนโทฟิล	3
ไลโคฟิล	2

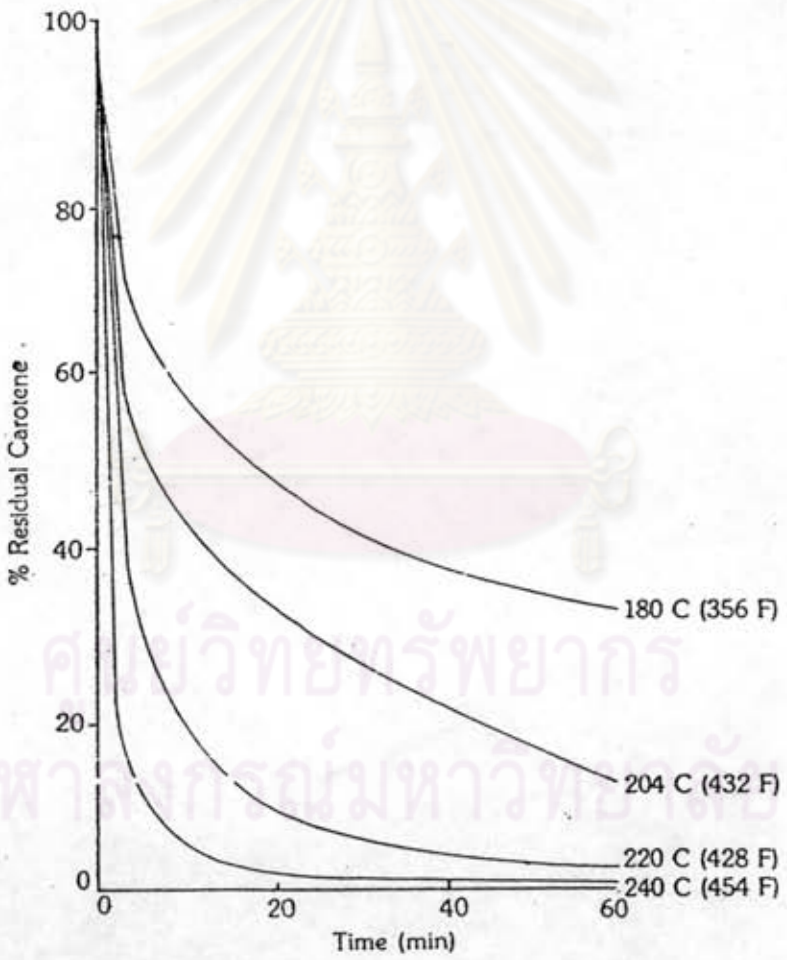
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มอย่างย่อ (4)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในขั้นตอนแรกจะเป็นกระบวนการทางเคมีโดยน้ำมันปาล์มจะผ่านกระบวนการ Degumming โดยทำปฏิกิริยากับ 0.1 %กรดฟอสฟอริก เพื่อกำจัดยางเหนียวๆ และอิออนของโลหะหนักที่อยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ จากนั้นจะทำการฟอกสีกำจัดสารแคโรทีนอยด์ต่างๆ ออกโดยใช้ตัวดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวก Bleaching Earth (5) ใช้ตัวดูดซับ 1-2 % ของปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ (4) น้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการฟอกสีด้วยตัวดูดซับแล้วจะผ่านมายังกระบวนการทางฟิสิกส์ โดยการกลั่นให้ความร้อนอุณหภูมิ 240 °ซ - 270°ซ ซึ่งจะทำให้ปริมาณสีในน้ำมันปาล์มลดลงทำให้บีตา-แคโรทีนถูกทำลายไป ดังแสดงผลของอุณหภูมิกับปริมาณบีตา-แคโรทีนที่เหลืออยู่ในน้ำมันปาล์ม ในรูปที่ 1.2 (7)



รูปที่ 1.2 แสดงผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนในกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์ม (7)

บีตา-แคโรทีนจึงถูกทำลายไปในระหว่างกระบวนการฟอกสีทั้ง 2 กระบวนการ คือในกระบวนการฟอกสีโดยตัวดูดซับและการฟอกสีโดยการกลั่นที่อุณหภูมิสูง ในกระบวนการฟอกสีด้วยตัวดูดซับนั้นตัวดูดซับส่วนใหญ่ที่ใช้ในการฟอกสีเป็นพวกแอคติเวเตดเคลย์ซึ่งเป็นการดูดซับแบบเคมี บีตา-แคโรทีนจึงถูกทำลายไปในระหว่างนี้ด้วยและตัวดูดซับเหล่านี้จะถูกทิ้งกลายเป็นของเสียออกจากโรงงาน ดังนั้นจึงน่าที่จะทำการสกัดบีตา-แคโรทีนออกจากน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์ก่อนที่จะถูกทำลายไปโดยกระบวนการทางอุตสาหกรรม

จากปริมาณบีตา-แคโรทีนในน้ำมันปาล์มและปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผลิตได้ในประเทศในแต่ละปี บีตา-แคโรทีนจึงถูกทำลายไปเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น ในปี 2537 ซึ่งมีปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์ม 325.51 พันตัน เมื่อคำนวนปริมาณบีตา-แคโรทีนที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มทั้งหมดแล้วจะมีปริมาณเท่ากับ 195.3 พันกิโลกรัม ซึ่งจะถูกทำลายไปในกระบวนการผลิตคิดเป็นมูลค่า 170 ล้านบาท ดังนั้นถ้าหากเราสามารถทำการสกัดสารบีตา-แคโรทีนในส่วนนี้จากน้ำมันปาล์มออกมาได้ก่อนที่จะถูกทำลายโดยกระบวนการทางอุตสาหกรรม จะเป็นการประหยัดเงินตราในการนำเข้าปริมาณบีตา-แคโรทีนจากต่างประเทศ ซึ่งปริมาณการนำเข้าปีหนึ่งๆ มีปริมาณมากและมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.4 การนำเข้าบีตา-แคโรทีนของกรมศุลกากรไม่ได้ระบุแยกเป็นบีตา-แคโรทีนชนิดเดียวกันแต่ระบุในรูปของวิตามินเอและอนุพันธ์ของวิตามินเอ

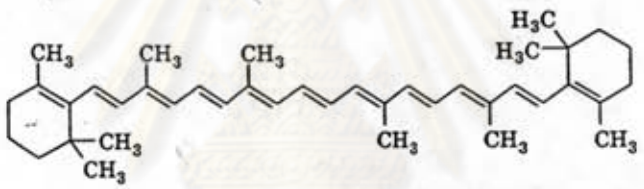
ตารางที่ 1.4 ปริมาณการนำเข้าวิตามินเอและอนุพันธ์จากต่างประเทศ

ปี	ปริมาณการนำเข้า (กิโลกรัม)	มูลค่า(บาท)
2531	31,568	23,984,145
2532	41,617	32,303,644
2533	41,939	30,699,916
2534	43,650	35,031,625
2535	51,169	44,641,261

ที่มา : กรมศุลกากร ปี 2531-2535

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับบีตา-แคโรทีน

บีตา-แคโรทีนเป็นรงควัตถุสีเหลืองเ ไม-สีแดงเข้มจำพวกแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่แพร่หลายมากที่สุดในสิ่งมีชีวิตเพราะพบทั้งในอาณาจักรพืชและอาณาจักรสัตว์ (8) มีสูตรโครงสร้างเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวน β-ionone 2 วง มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{40}H_{56}$ น้ำหนักโมเลกุล 536.88 กรัม / โมล หนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม อยู่ในรูปไอโซปรีน (Isoprene group) แปดโมเลกุลมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะคู่ ดังแสดงสูตรโครงสร้างในรูปที่ 1.3

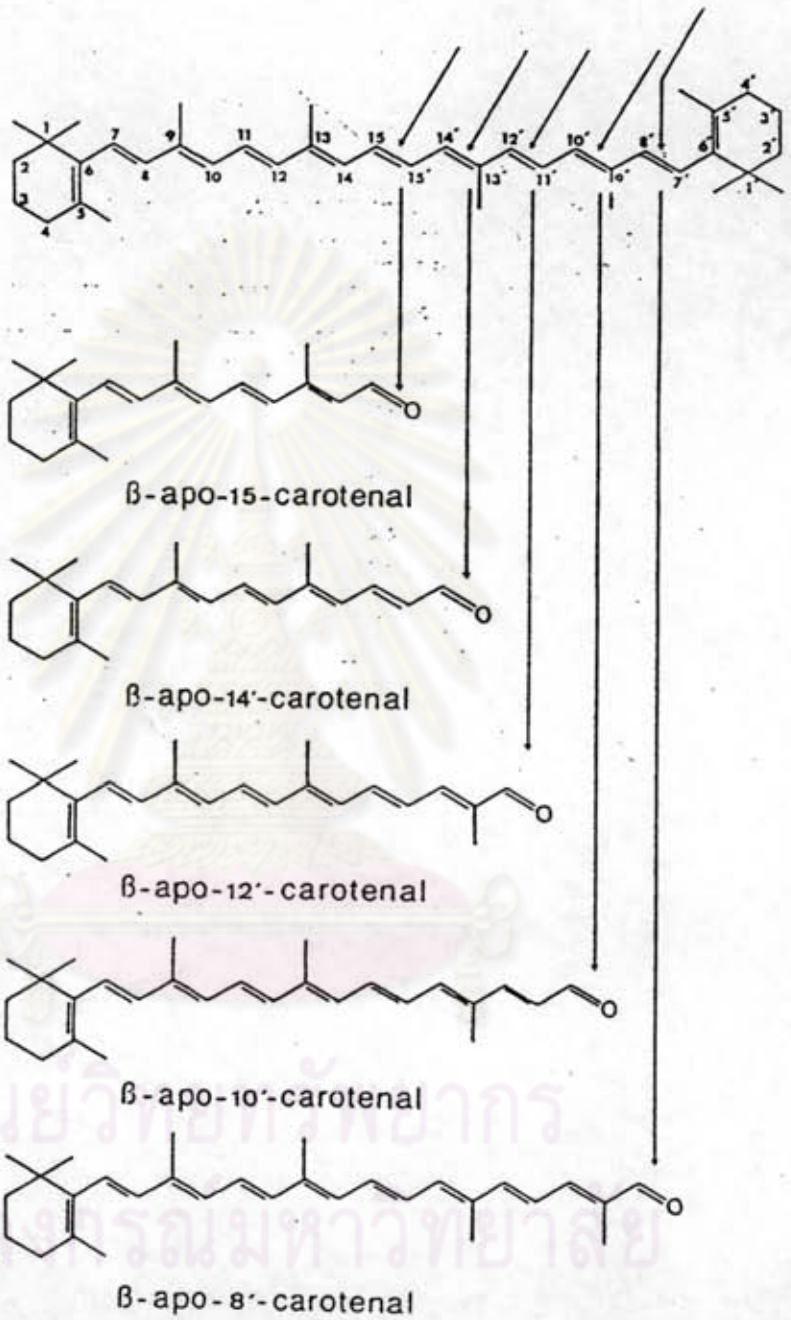


รูปที่ 1.3 แสดงสูตรโครงสร้างของ all.trans - β - carotene

1. **สมบัติทางฟิสิกส์-เคมี**

- ผลึกของบีตา-แคโรทีนในเบนซินและเมทธานอล มีลักษณะเป็นรูปเหลี่ยมสีม่วงเข้มหรือเป็นรูป Rhombic square leaflets สีแดงเข้มถ้าตกผลึกใน ปิโตรเลียมอีเธอร์ (9)

- จุดหลอมเหลว 176 °ซ - 183 °ซ (10) และเป็นช่วงเดียวกันกับที่บีตา-แคโรทีนเริ่มสลายตัว (11) โดยเกิดการออกซิไดส์ที่พันธะคู่เกิดเป็นบีตา-แคโรทีนไอโซเมอร์ชนิดต่างๆ มีผลทำให้สีของบีตา-แคโรทีนจางลง (12-16) โดยตำแหน่งที่เกิดการออกซิเดชัน ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงตำแหน่งที่เกิดการออกซิเดชันบีตา-แคโรทีน (15)

2. ความสามารถในการละลาย

- ไม่ละลายในน้ำและในสภาวะที่เป็นกรด หรือด่าง (17)
- ละลายได้น้อยมากใน เมทธานอล , อะซีโตไนตริล , เอทธานอล (18)
- ละลายได้ดีในไดคลอโรมีเทน , โทลูอีน , คลอโรฟอร์ม , ไซโคลเฮกซาโนน ไซโคลเฮกเซน และเอทธิลอีเทอร์ตามลำดับ (18)
- ละลายได้ดีมากใน เตตราไฮโดรฟูราน (18)

ดังจะเห็นว่าบีตา-แคโรทีนจะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว ความสามารถในการละลายของบีตา-แคโรทีนในตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 แสดงความสามารถในการละลายของบีตา-แคโรทีนในตัวทำละลายแต่ละชนิด(18)

ชนิดของตัวทำละลาย	ความสามารถในการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
อะซีโตไนตริล	10
เมทธานอล	10
เอทธานอล	30
เอทธิลอีเทอร์	1000
ไซโคลเฮกเซน	2000
ไซโคลเฮกซานอล	2000
คลอโรฟอร์ม	2000
โทลูอีน	4000
เบนซีน	4000
ไดคลอโรมีเทน	6000
เตตราไฮโดรฟูราน	10000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากการเลือกใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดในการสกัดแยกบีตา-แคโรทีนจะคำนึงถึงความสามารถในการละลายของสารบีตา-แคโรทีนในตัวทำละลายแต่ละชนิดแล้วยังต้องคำนึงถึงความเป็นพิษของตัวทำละลาย (18) , ความสามารถในการระเหยเอาตัวทำละลายออกจากสารสกัดที่ได้ รวมทั้งราคาของตัวทำละลายและความเสถียรของบีตา-แคโรทีนในตัวทำละลายชนิดต่างๆด้วย จากการศึกษาความเสถียรของสารบีตา-แคโรทีนในตัวทำละลายชนิดต่างๆโดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารบีตา-แคโรทีนที่ระยะเวลาต่างๆกัน พบว่าบีตา-แคโรทีนมีความเสถียรมากที่สุดในเตตราไฮโดรฟูรานที่มีสารป้องกันการเกิดการออกซิเดชันคือบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีนผสมอยู่ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนในตัวทำละลายชนิดต่างๆ (18)

ตัวทำละลาย	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงของบีตา-แคโรทีน			
	เวลา (วัน)			
	1	3	6	10
อะซีโตไนตริล	99	96	93	92
เมทธานอล	97	92	89	88
เอทานอล	98	94	92	91
เอธิลอีเทอร์	94	78	70	69
ไซโคลเฮกเซน	98	98	93	91
ไซโคลเฮกซานอล	86	67	45	32
คลอโรฟอร์ม	97	91	92	91
โทลูอีน	90	80	76	71
ไดคลอโรมีเทน	77	59	47	34
เตตราไฮโดรฟูราน+BHT	99	98	99	97

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของบีตา-แคโรทีน

3.1 ความร้อน

ปริมาณความร้อนและระยะเวลาในการได้รับความร้อนที่แตกต่างกันมีผลต่อการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนแตกต่างกัน Onyewu , Ho and Daun ศึกษาผลของความร้อนต่อการสลายตัวของบีตา-แคโรทีน และรายงานไว้ว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 210 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง บีตา-แคโรทีนมีการสลายตัวจนเกือบสมบูรณ์ (19) ดังแสดงผลในตารางที่ 1.7

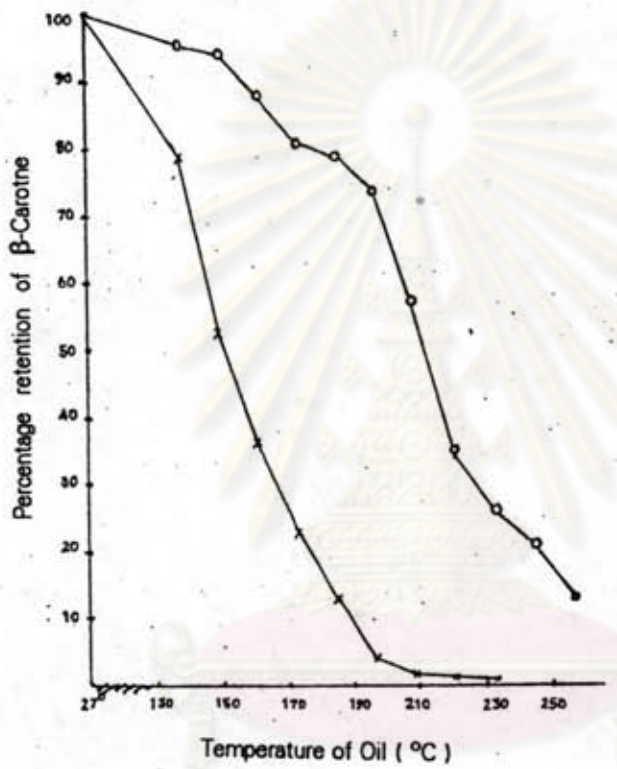
ตารางที่ 1.7 การสลายตัวของบีตา-แคโรทีนที่อุณหภูมิ 210 °ซ (19)

เวลา	เปอร์เซ็นต์การสลายตัว
4 ชม.	97.8
1 ชม.	97.2
15 นาที	91.9
5 นาที	91.1

Mudambi and Rajagopal (20) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสลายของบีตา-แคโรทีนในน้ำมันปาล์มดิบโดยให้ความร้อนอุณหภูมิตั้งแต่ 138 °ซ - 258°ซ พบว่าการสลายตัวบีตา-แคโรทีนเกิดขึ้นจนเกือบสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 258°ซ เมื่อให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 1.5

3.2 แสงและออกซิเจน

Scita (21) ได้ศึกษาถึงความเสถียรของบีตา-แคโรทีนในสภาวะที่แตกต่างกัน โดยพบว่าแสงแต่ละชนิดมีผลต่อการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนแตกต่างกัน โดยแสงอัลตราไวโอเลตมีผลต่อการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนมากกว่าแสงฟลูออเรสเซนซ์ประมาณ 3 เท่า โดยที่ปริมาณบีตา-แคโรทีนสลายตัวไปประมาณ 50 % เมื่อฉายแสงอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ขณะที่เมื่อฉายแสงฟลูออเรสเซนซ์มีการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนในสัดส่วนเดียวกันแต่ใช้เวลานานกว่าเป็น 24 ชั่วโมง และพบว่าการเติมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันคือบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีนและแอลฟา-โทโคเฟอรอลทั้งสองชนิดลงในสารละลายบีตา-แคโรทีนสามารถลดการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.6

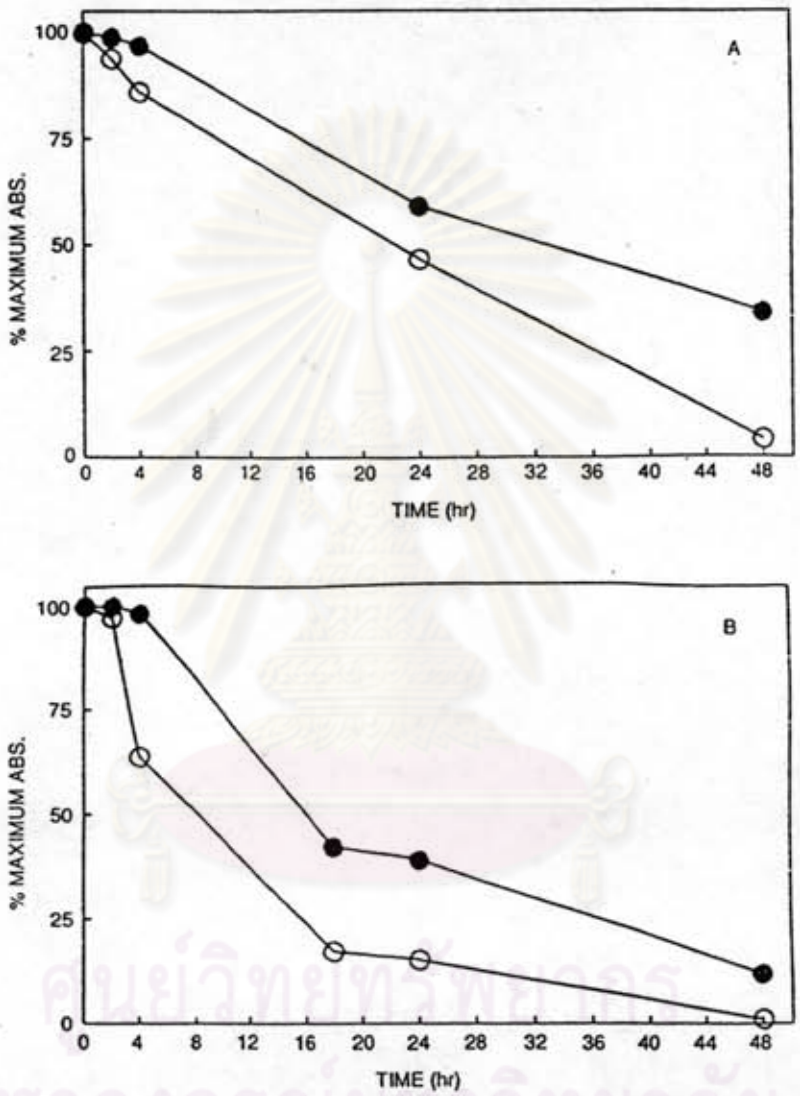


รูปที่ 1.5 แสดงปริมาณบีตา-แคโรทีนที่อยู่ในน้ำมันปาล์มเมื่อให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 138°ซ - 258 °ซ เป็นเวลา 30 นาที (20)

o น้ำมันที่ได้รับความร้อนและทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วเมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

× น้ำมันที่ได้รับความร้อนเป็นเวลา 30 นาทีที่แต่ละอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.6 อัตราการสลายตัวของสารละลายบีตา-แคโรทีนในโทลูอีนเนื่องจากแสงและออกซิเจน (21)

● : มีสาร BHT

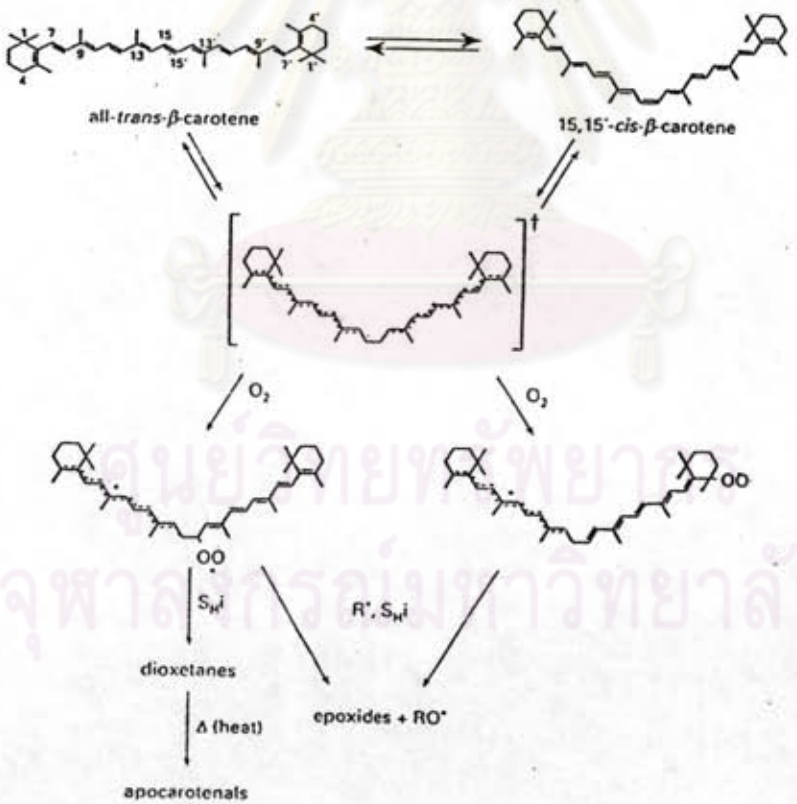
○ : ไม่มีสาร BHT

A : ภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต

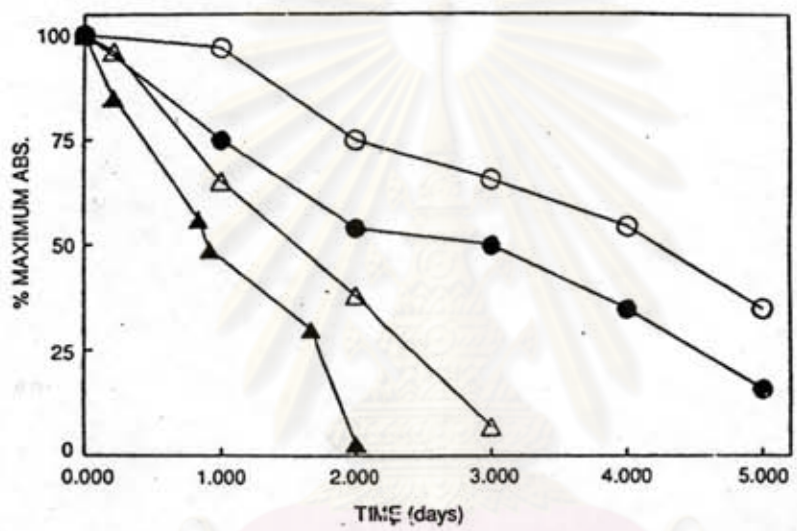
B : ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการศึกษาพบว่าการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนในแอลฟา-โทโคเฟอรอลเมื่อฉายแสงฟลูออเรสเซนซ์มีการสลายตัวน้อยกว่าเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน แสดงให้เห็นว่าแอลฟา-โทโคเฟอรอลมีความสามารถในการป้องกันการเกิดการออกซิเดชันของบีตา-แคโรทีนได้มากกว่าบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน และการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นแบบ Autooxidation (22) โดยมีกลไกการสลายตัวดังแสดงในรูปที่ 1.7 และอัตราการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนในแสงฟลูออเรสเซนซ์มีความสัมพันธ์กับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในสารละลายบีตา-แคโรทีนด้วย ขึ้นอยู่กับผิวหน้าของสารละลายที่สัมผัสกับอากาศ โดยพื้นที่ผิวที่สารละลายสัมผัสกับอากาศมากที่สุดจะมีการสลายตัวมากกว่าพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศน้อยกว่า (21) ดังแสดงในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.7 แสดงกลไกในการสลายตัวของบีตา-แคโรทีน โดยกระบวนการออกซิเดชัน (22)



รูปที่ 1.8 อัตราการสลายตัวเนื่องจากแสงฟลูออเรสเซนซ์และออกซิเจนของสารละลายบีตา-แคโรทีน 4.0 μM ในโทลูอีนซึ่งบรรจุในภาชนะเปิด (21)

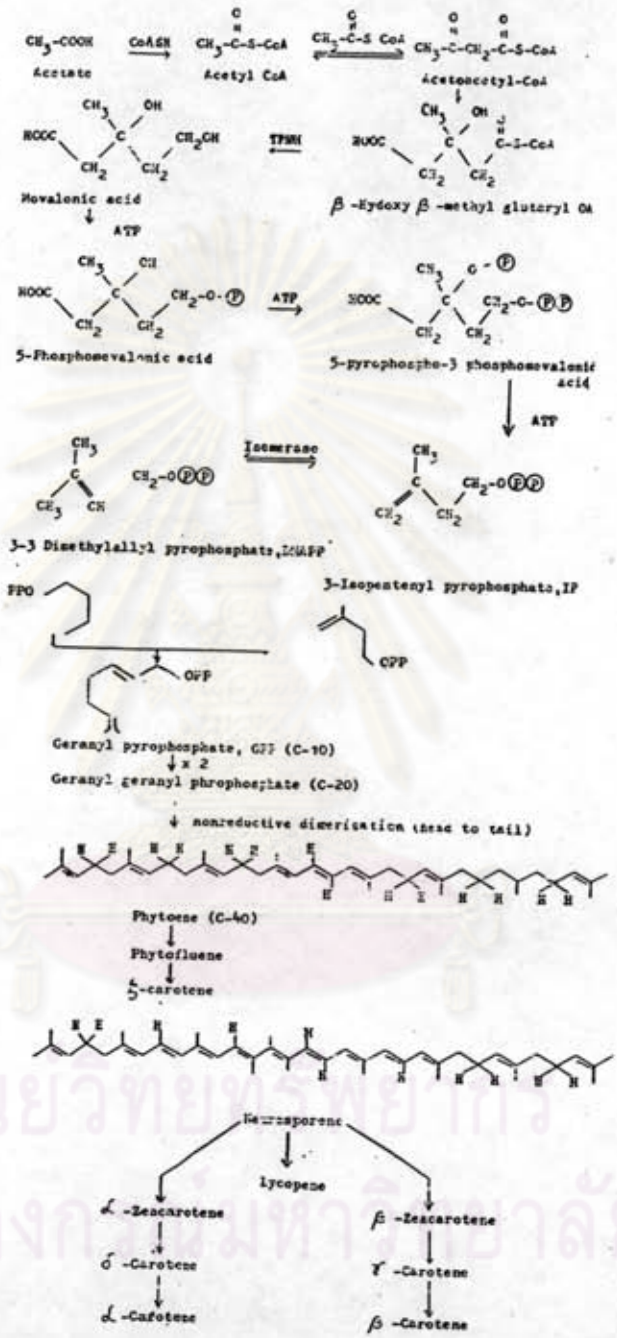
- ○ : ตัวอย่างบรรจุในหลอดทดลอง (พื้นที่ผิว 0.785 ตร.ซม.) และมี 0.025 % BHT
- ● : ตัวอย่างบรรจุในหลอดทดลอง (พื้นที่ผิว 0.785 ตร.ซม.) และไม่มี 0.025 % BHT
- △ : ตัวอย่างบรรจุในบิกเกอร์ (พื้นที่ผิว 45.3 ตร.ซม.) และมี 0.025 % BHT
- ▲ : ตัวอย่างบรรจุในบิกเกอร์ (พื้นที่ผิว 45.3 ตร.ซม.) และไม่มี 0.025 % BHT

แหล่งของบีตา-แคโรทีน

บีตา-แคโรทีนเป็นรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ พืชมีการสังเคราะห์จากวิถีอะซิเตท-เมวาโลเนท เช่นเดียวกับสารประกอบพวกเทอร์ปีนชนิดอื่นๆ ดังแสดงกระบวนการสังเคราะห์บีตา-แคโรทีนในรูปที่ 1.9 (17) จะพบบีตา-แคโรทีนในพืชสีเขียวทั่วๆไป โดยเฉพาะในพืชที่มีสีเหลืองส้มจะมีปริมาณบีตา-แคโรทีนสูงกว่าพืชชนิดอื่น ดังแสดงปริมาณบีตา-แคโรทีนในพืชชนิดต่างๆ ในตารางที่ 1.8

ตารางที่ 1.8 ปริมาณบีตา-แคโรทีนในพืชชนิดต่างๆ (23-27)

พืช	ปริมาณบีตา - แคโรทีน (ไมโครกรัม/100กรัม)
Sweet Potatoes	8,288
Carrot	7,293
Spinach	3,842
Apricot	3,370
Beet Greens	2,181
Cantaloupe	1,510
Mango	1,312
Squash	1,275
Papaya	910
Broccoli	543
Asparagus	362
Tomato	170
Pink Grapefruit	144
Green Papper	129
Nectarines	103
Orange	80 - 190
White Grapefruit	84
Lettuce	83



รูปที่ 1.9 ชีวสังเคราะห์ของแคโรทีนอยด์ (17)

นอกจากนี้ยังพบบีตา-แคโรทีนในข้าวโพด, มันเทศ, หัวผักกาด, และน้ำส้ม แต่พบในปริมาณน้อยมาก (28, 29) และในน้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณแคโรทีน 500-700 ppm ซึ่งมีปริมาณบีตา-แคโรทีนและแอลฟา-แคโรทีนคิดเป็น 90 % ของปริมาณทั้งหมด (30) ในแบคทีเรีย , ยีสต์ และเชื้อราก็ยังพบว่ามีการสร้างบีตา-แคโรทีนด้วย เช่นเดียวกัน (31-34)

ประโยชน์และการนำไปใช้

สารแคโรทีนอยด์ที่พบทั่วไปในธรรมชาติมีมากกว่า 600 ชนิด ซึ่งในจำนวนนี้มีเพียง 50 ชนิดเท่านั้นที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (Provitamin A) และบีตา-แคโรทีนเป็นสารแคโรทีนอยด์เพียงชนิดเดียวที่สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นวิตามินเอได้มากที่สุด (35) เมื่อสัตว์กินพืชเข้าไป บีตา-แคโรทีนจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอโดยเอนไซม์ β-carotene dioxygenase ที่เยื่อบุลำไส้เล็กเป็นส่วนใหญ่และอาจถูกย่อยที่ตับบ้าง เพราะที่ตับก็มีเอนไซม์ชนิดนี้เช่นกัน โดยบีตา-แคโรทีน 1 โมเลกุลจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ 2 โมเลกุล (36) ซึ่งพบว่าในน้ำมันปาล์มมีแอคติวิตีของวิตามินเอ (vitamin A activity) มากกว่าในแครอท 15 เท่า และมากกว่าที่พบในมะเขือเทศถึง 300 เท่า (37) ดังแสดงแอคติวิตีของวิตามินเอในน้ำมันปาล์มในตารางที่ 1.9

การศึกษาระดับของเรตินอลหรือวิตามินเอ และระดับของแคโรทีนอยด์ในเลือด พบว่ามีผลต่อการเกิดโรคมะเร็ง (38) โดยบีตา-แคโรทีนสามารถป้องกันการเกิดโรคมะเร็งที่ผิวหนัง, มะเร็งที่ปาก, มะเร็งที่ปอด (39), มะเร็งกระเพาะอาหาร (40) ยังยับยั้งการเกิดเนื้องอกและการขยายตัวของเซลมะเร็งอีกด้วย (41, 42)

ทางด้านเภสัชกรรมและเครื่องสำอาง บีตา-แคโรทีนเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางหลายชนิด เช่น ในครีมแก้สิวซึ่งมีปริมาณ 0.1 - 10 มิลลิกรัมต่อปริมาณตัวยา 1 กรัม โดยทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งแบคทีเรียและจุลินทรีย์ต่างๆที่เป็นตัวก่อให้เกิดสิวและแผลมีหนองที่เกิดจากการติดเชื้อ (43,44) นอกจากนี้ยังเป็นส่วนผสมในตัวยาสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคแพ้แดด(45)

ทางด้านอาหารและเครื่องดื่มก็มีการผสมบีตา-แคโรทีนลงในอาหารพวก ครีม, เนยเทียม, ไส้กรอก, ไอศกรีม, มาการีน โดยทำให้อาหารมีสีสวยน่ารับประทาน (46, 47) และยังเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มพวกเกลือแร่และวิตามินบำรุงร่างกายอีกด้วย เนื่องจากบีตา-แคโรทีนเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (48, 49) ซึ่งร่างกายต้องการใช้วิตามินเอในแต่ละวันแตกต่างกันตามอายุ เพศ และภาวะของร่างกายซึ่งองค์การอาหารและยาได้

รายงานไว้ดังตาราง 1.10 ในภาวะที่ขาดวิตามินเอความต้องการของร่างกายจะเพิ่มสูง 5-20 เท่าของคนปกติ การได้รับวิตามินเอมากเกินความต้องการของร่างกายจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายได้ เนื่องจากวิตามินเอละลายน้ำได้น้อยและจะไม่ถูกขับออกจากร่างกาย ในผู้ใหญ่จะทำให้เกิดพิษแบบเฉียบพลัน เช่น ปวดศีรษะ มึนงง คลื่นไส้อาเจียน ผิวหนังลอก ผมร่วง ปวดตามข้อ ความผิดปกติของเนื้อเยื่อหุ้มกระดูก และในทารกจะมีพิษทำให้เกิดเป็นแผลเรื้อรัง, ผิวหนังอักเสบ , ตับโต , น้ำหนักตัวลดลง แต่การรับประทานบีตา-แคโรทีนไม่ทำให้เกิดอาการเป็นพิษเหล่านี้ ทั้งนี้เนื่องจากบีตา-แคโรทีนจะถูกเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอเท่าปริมาณที่ร่างกายต้องการใช้เท่านั้น และบีตา-แคโรทีนส่วนที่เหลือจะถูกสะสมไว้ที่ชั้นเนื้อเยื่อไขมัน (17, 49)

นอกจากนี้บีตา-แคโรทีนยังมีคุณค่าต่ออาหารสัตว์ โดยเฉพาะในอาหารสัตว์ปีก เช่น เป็ด, ไก่ การผสมบีตา-แคโรทีนในอาหารสัตว์จะทำให้ไข่แดงของสัตว์ปีกเหล่านี้มีสีแดงน่ารับประทานเป็นที่นิยมของผู้บริโภค และเติมลงในอาหารเลี้ยงกุ้งเพื่อทำให้กุ้งมีสีสวยน่ารับประทานเมื่อทำให้สุก (48,50) และจากการศึกษาพบว่าบีตา-แคโรทีนยังสามารถทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการเกิดออกซิเดชันโดยทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระ (49-53)

ตารางที่ 1.9 แสดงแอคติวิตีของวิตามินเอจากแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มดิบ (37)

แคโรทีนอยด์	แอคติวิตีของวิตามินเอ (%)
β - Carotene	100
- 9 cis	38
- 13 cis	53
- 5, 6 epoxide	21
- 9 hydroxy	50-60
α - Carotene	50-54
- 9 cis	13
- 5,6 epoxide	25
γ - Carotene	42-50
β - Zea Carotene	20-40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.10 แสดงปริมาณความต้องการวิตามินเอของมนุษย์ในแต่ละวัน (17)

วัย / เพศ	ปริมาณเฉลี่ยของวิตามินเอ / วัน (Retinol Equivalent)*
ผู้ใหญ่ - ชาย	1000
- หญิง (ปกติ)	850
- หญิง (ตั้งครรภ์)	1000
- หญิง (ให้นมบุตร)	1200
เด็ก - ต่ำกว่า 1 ขวบ	400
- 1-10 ขวบ	400 - 700

* Retinol equivalent หรือ R.E. หมายถึงปริมาณวิตามินเอในรูปใดก็ตามที่มีฤทธิ์เปรียบเทียบเท่ากับ 1 ไมโครกรัมเรตินอล หรือ
1.45 ไมโครกรัมเรตินอลอะซิเตท หรือ
6 ไมโครกรัม บีตา-แคโรทีน หรือ
12 ไมโครกรัม สารแคโรทีนอยด์

การสกัดสารบีตา-แคโรทีนจากน้ำมันปาล์ม

1. การสกัดในระบบแบทช์

การสกัดสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบมีหลายวิธีการด้วยกัน (54) ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาการสกัดสารแคโรทีนเพื่อจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมการผลิตอย่างจริงจัง

1.1 การสกัดโดยวิธีการซาพอนนิฟิเคชัน (Saponification)

บีตา-แคโรทีนเป็นสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาซาพอนนิฟิเคชัน (Unsaponification) ดังนั้นการสกัดโดยวิธีนี้เป็นการแยกบีตา-แคโรทีนออกจากน้ำมันซึ่งเป็นพวกไตรกลีเซอไรด์ เมื่อทำปฏิกิริยากับด่างจะเกิดเป็นสบู่ขึ้น จากนั้นจึงใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมแยกเอาบีตา-แคโรทีนในส่วนที่ไม่เกิดซาพอนนิฟิเคชัน (54)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม (Selective Solvent) เนื่องจากบีตา-แคโรทีนเป็นสารที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นตัวทำละลายที่เลือกใช้ในการสกัดส่วนมากจึงเป็นพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งการสกัดโดยวิธีนี้ต้องใช้ตัวทำละลายในการสกัดจำนวนมาก และต้องทำการระเหยตัวทำละลายเหล่านี้ออกให้หมด วิธีการนี้จึงยังไม่ใช่วิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดบีตา-แคโรทีนจากน้ำมันปาล์มในปริมาณมากๆ ระดับอุตสาหกรรม (54)

1.3 วิธีการทางไอโอดีน

โดยการเติมไอโอดีนลงในน้ำมันปาล์มดิบซึ่งละลายในปิโตรเลียมอีเธอร์ ทำให้เกิดเป็นตะกอนของ carotene di-iodide ขึ้น แต่การสกัดโดยวิธีการนี้จะทำให้บีตา-แคโรทีนเกิดการเสียสภาพไปทำให้ไม่มีผลทางด้านชีววิทยา (54)

จากวิธีการสกัดสารแคโรทีนด้วยวิธีการดังกล่าวข้างต้นเป็นเพียงการสกัดสารแคโรทีนในระดับเล็กและยังไม่สามารถนำมาใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม ซึ่งต้องใช้ปริมาณการสกัดในปริมาณมากๆได้ ต่อมาจึงมีการพัฒนาการสกัดโดยวิธีการสกัดการใช้ตัวดูดซับ (Adsorption Method), Transesterfication , Molecular Distillation และ Tranesterification - Molecular Distillation ดังแสดงวิธีการสกัดสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มในตารางที่ 1.11

1.4 Transesterification

เป็นวิธีการสกัดโดยการเปลี่ยนรูปของน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์ ให้อยู่ในรูปของเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอลซึ่งแยกชั้นกัน บีตา-แคโรทีนซึ่งละลายปนอยู่ด้วยกันกับชั้นเอสเทอร์ของกรดไขมันจะถูกแยกออกมา (54)

1.5 การกลั่น (Molecular Distillation)

โดยนำน้ำมันปาล์มดิบมาเติมกรดโฟลีฟอสฟอริกหรือกรดฟอสฟอริกเพื่อดึงเอาอิออนของโลหะออก ทั้งนี้เนื่องจากอิออนของโลหะที่ปนจะทำให้บีตา-แคโรทีนสลายตัวเร็วยิ่งขึ้นเมื่อทำการกลั่นที่อุณหภูมิสูงประมาณ 240 °ซ แล้วเก็บลำดับส่วนของบีตา-แคโรทีนที่สกัดออกมาได้ที่อุณหภูมิ 215 °ซ และ 225 °ซ (54) แต่อย่างไรก็ตามการสกัดบีตา-แคโรทีนด้วยวิธีนี้ยังไม่ดีนัก เพราะที่อุณหภูมิสูงจะทำให้บีตา-แคโรทีนสลายตัวไปด้วย ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาวิธีการโดยการกลั่นขึ้นโดยนำน้ำมันปาล์มดิบมาผ่านวิธีการ Transesterification ทำให้น้ำมันปาล์มอยู่ในรูปเอสเทอร์ของกรดไขมันเสียก่อนแล้วจึงนำไปกลั่นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 °ซ ความดัน 0.002 - 0.060 บรรยากาศ (55)

ตารางที่ 1.11 แสดงวิธีการสกัดสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์ม

ปี	วิธีการสกัด	อ้างอิง
1945	Saponification	56
1947	Selective solvent	57
1948	Saponification	58
1949	Saponification	59,60
1951	Saponification	61
1952	Selective solvent	62
1953	Saponification	63
1975	Transesterification	64
1986	Transesterification	65
1986	Molecular distillation	54
1987	Transesterification	66
1989	Transesterification-Molecular distillation	28
1990	Transesterification	65
1993	Transesterification-Molecular distillation	55

1.6 การสกัดโดยวิธีการดูดซับ (Adsorption Method)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดจากการสะสมของสารที่บริเวณผิวหน้าระหว่างสองวัฏภาคซึ่งอาจเป็นระหว่างวัฏภาคของเหลว-ของเหลว, ของเหลว-ของแข็ง, แก๊ส-ของเหลว และ แก๊ส-ของแข็ง ซึ่งกระบวนการดูดซับสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของสารไปเกาะอยู่บนผิวหน้าของแข็ง สารที่ไปเกาะอยู่บนผิวหน้าของแข็งเรียกว่า สารที่ถูกดูดซับ (Adsorbed) ส่วนของแข็งที่ผิวหน้าถูกสารไปเกาะเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) การดูดซับมี 2 แบบคือ

การดูดซับทางฟิสิกส์ (Physical Adsorption) เป็นการดูดซับที่สารที่ถูกดูดซับไปเกาะติดผิวหน้าของสารดูดซับ โดยแรงที่ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของ

สารที่ถูกดูดซับกับโมเลกุลที่ผิวหน้าของสารดูดซับนั้นเป็นแบบแรงแวนเดอร์วาลส์ซึ่งเป็นแรงยึดอย่างอ่อน ๆ

การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เป็นการดูดซับที่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับโมเลกุลที่ผิวหน้าของสารดูดซับ

ดังนั้นการสกัดสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มจึงมี 2 ขั้นตอนที่สำคัญในการสกัด คือขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนในการดูดซับสารแคโรทีนบนตัวดูดซับ และขั้นตอนที่สองคือการชะเอาสารแคโรทีนที่อยู่บนตัวดูดซับออกมา เป็นที่ทราบกันแล้วว่าในกระบวนการฟอกสีน้ำมันปาล์มดิบตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับสีส่วนใหญ่เป็นพวกแอคติเวเตดเคลย์ (67-72) ซึ่งการดูดซับดังกล่าวเป็นการดูดซับทางเคมี (73-76) สารแคโรทีนที่ถูกดูดซับจะเกิดการออกซิไดส์เปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปไม่สามารถที่จะทำการชะเอาสารแคโรทีนออกจากตัวดูดซับได้

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมา (74- 83) ได้มีความพยายามใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆในการดูดซับสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์ม ดังแสดงชนิดของตัวดูดซับและปัจจัยของกระบวนการดูดซับในตารางที่ 1.12

ตารางที่ 1.12 ชนิดตัวดูดซับและปัจจัยของการดูดซับสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์ม (77- 83)

ชนิดตัวดูดซับ	อุณหภูมิดูดซับ (° ซ)	ตัวชะ	อ้างอิง
Alumina	50	20%Acetic acid in heptane	77-78
Silica	50	Benzene , Ethanol, Chloroform	77-78
Activated clay	50	Benzene,Ethanol,Chloroform	77-78
Activated clay:Alumina	50	Benzene,Ethanol,Chloroform	77-78
Polyacrylate resin	55	Hexane	79
Acrylate resin	60	Hexane	79
Silicic acid gel	-	Hexane	80
Activated carbon	29	Xylene,Dichloromethane,Toluene	75,76
Bentonite	50	-	81
Acid-treated rice hull ash	30	-	82
Bentonite : Alumina	80	20% Acetic acid in 95%ethanol	83

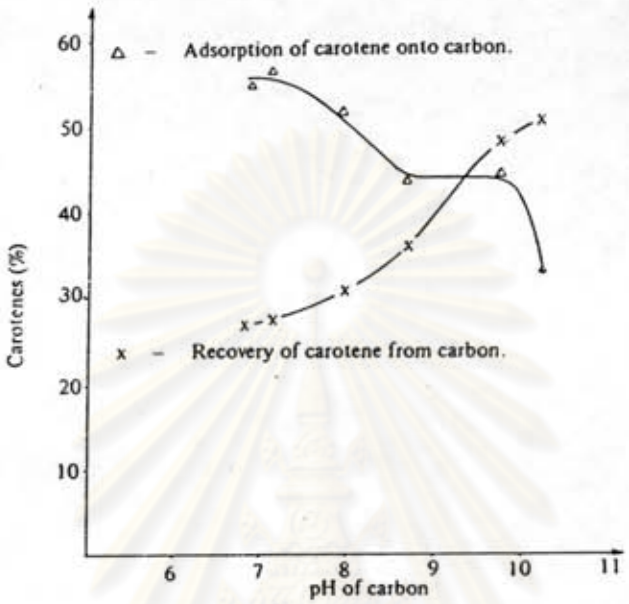
1.6. 1 การสกัดสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ผงคาร์บอนกัมมันต์

การสกัดสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบโดยการใช้ผงคาร์บอนกัมมันต์ และการใช้ Fuller·s earth โดยไม่ผ่านการบำบัดด้วยสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันจะทำให้สารแคโรทีนเกิดการออกซิไดส์และเกิดไอโซเมอไรเซชั่น (84- 86) เกิดเป็นซิส-ทรานไอโซเมอร์ มีผลทำให้การดูดกลืนแสงในช่วง 320-380 นาโนเมตรลดลง และมีพีคใหม่เกิดขึ้นที่ 337.5 นาโนเมตร ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารแคโรทีน (87) และจากการศึกษาการเกิดการออกซิเดชันของบีตา-แคโรทีนโดยใช้ไฮโดรเจนเพอออกไซด์ซึ่งมีออสเมียมเตตระคลอไรด์เป็นตัวคะตะไลส์ (88) ปรากฏว่าเกิดพีคต่าง ๆ ขึ้นใหม่ที่ 325 นาโนเมตร, 341 นาโนเมตร, 372 นาโนเมตร และที่ 402.5 นาโนเมตร และจากการศึกษาของ Friend (89) พบว่าการออกซิเดชันทำให้ปรากฏพีคที่ 328 นาโนเมตร, 400 นาโนเมตรและที่ 424 นาโนเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าออกซิเจนมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของสารแคโรทีน (90)

Khoo et al. (68) ได้ทำการศึกษาการดูดซับสารบีตา-แคโรทีนโดยใช้ bleaching earth เช่น tonsil, fuller·s earth, kaolin และ silica เป็นตัวดูดซับโดยเปรียบเทียบการดูดซับของตัวดูดซับแต่ละชนิดพบว่า tonsil มีความสามารถในการดูดซับได้สูงสุด รองลงไปเป็น fuller·s earth, silica และ kaolin ตามลำดับซึ่ง silica และ kaolin มีความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกันส่วน fuller·s earth มีความสามารถในการดูดซับสูงกว่า silica และ kaolin ประมาณ 10 เท่า นอกจากนี้พบว่าการดูดซับบีตา-แคโรทีนบน bleaching earth เป็นการดูดซับทางเคมีซึ่งตัวดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป สังเกตจากสีของตัวดูดซับหลังจากการดูดซับเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเขียวออกดำ และการดูดกลืนแสงของสารบีตา-แคโรทีนหลังการดูดซับที่ความยาวคลื่น 453 นาโนเมตรลดลง และปรากฏพีคใหม่ขึ้นที่ความยาวคลื่น 330 นาโนเมตร และ 360 นาโนเมตร

Ong and Boey (75) และ Ong et al. (91) ทำการสกัดสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มด้วยผงคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการบำบัดด้วยด้วยสารป้องกันการออกซิเดชันเช่น แอลฟา-โทโคเฟอรอล , บิวทิลไฮดรอกซีอะนีโซลและเตตระบิวทิลไฮโดรควิโนน พบว่าการเติมสารดังกล่าวสามารถป้องกันการเกิดการออกซิเดชันของสารแคโรทีน การศึกษาการดูดซับของผงคาร์บอนกัมมันต์ชนิดต่างๆ พบว่าผงคาร์บอนกัมมันต์ชนิด S511 ซึ่งเป็นผงคาร์บอนจากขี้เลื่อยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารแคโรทีนได้สูงสุดและยังได้ศึกษาปัจจัยของความเป็นกรดด่างของ

ผงคาร์บอนกัมมันต์ในการดูดซับ ซึ่งค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 9.7 ดังแสดงในรูปที่ 1.10 เป็นค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับสารแคโรทีนด้วยผงคาร์บอนกัมมันต์



รูปที่ 1.10 แสดงผลของค่าความเป็นกรดด่างของผงคาร์บอนกัมมันต์ในการสกัดสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบ (75, 91)

การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานของผงคาร์บอนกัมมันต์ (75,91) พบว่าผงคาร์บอนกัมมันต์สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก 10-20 ครั้ง โดยประสิทธิภาพในการดูดซับไม่ลดลง และเมื่อประสิทธิภาพในการดูดซับลดลงสามารถทำการคืนสภาพของผงคาร์บอนกัมมันต์ โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 30°ซ โดยการลดความดันจนกระทั่งน้ำหนักของผงคาร์บอนกัมมันต์คงที่ ก็สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่โดยไม่ต้องผ่านการแช่กับสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน

ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในกระบวนการสกัดสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มโดยการดูดซับคือ ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ชะสารแคโรทีนออกจากผงคาร์บอนกัมมันต์ ได้มีรายงาน (91) ความสามารถในการชะสารแคโรทีนออกจากผงคาร์บอนกัมมันต์ โดยตัวทำละลายในการชะชนิดต่าง ๆ และพบว่าการเติมสารลดแรงตึงผิวลงไปกับตัวทำละลายที่ใช้ชะ มีผลต่อการชะสารแคโรทีนออกจากผงคาร์บอนกัมมันต์จริง โดยการเติม Span 85 ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวปริมาณ 2 % ปนกับโทลูอีน มีประสิทธิภาพในการชะสารแคโรทีนออกจากผงคาร์บอนกัมมันต์ได้ดีที่สุด

ทั้งนี้เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวจะช่วยลดแรงตึงผิวที่เกิดขึ้นระหว่างสารแคโรทีนกับผิวหน้าของผงคาร์บอนกัมมันต์ทำให้โทลูอีนสามารถชะสารแคโรทีนออกมาได้ง่ายขึ้น และในขั้นตอนการดูดซับนั้นการเติมอิออนของเหล็กปนกับผงคาร์บอนกัมมันต์ทำให้การดูดซับดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอิออนของเหล็กที่เกาะติดบนผงคาร์บอนกัมมันต์เกิดพันธะπ-complex อย่างหลวม ๆ กับสารแคโรทีนทำให้สารแคโรทีนสามารถเกาะติดบนผงคาร์บอนกัมมันต์ได้ดีขึ้น แต่การชะสารแคโรทีนออกทำได้ยากขึ้น (91)

ได้มีการนำสารสกัดที่ได้มาศึกษาโดยให้สารสกัดที่ได้แก่หนู แล้วดูอัตราการเจริญเติบโตของหนู จากการทดสอบ (91) พบว่าสารแคโรทีนที่สกัดได้ไม่ทำให้หนูมีอาการผิดปกติเกิดขึ้น และจากการผ่าตัดเพื่อดูอวัยวะภายในที่กระเพาะอาหารและที่ไตไม่พบเนื้องอกหรือสิ่งผิดปกติใดเกิดขึ้น

ปี 1994. Liew, Yee and Nordin. (82) ศึกษาการดูดซับสารแคโรทีน จากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวดูดซับ acid-treated rice hull ash พบว่ามีการดูดซับสูงถึง 90 % แต่น้ำมันปาล์มหลังการดูดซับสารแคโรทีนแล้วกลายเป็นสีน้ำเงินออกเขียว ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดกับสารแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มเกิดเป็นแคโรทีนแคตอิออน (92) ดังแสดงปฏิกิริยาในรูปที่ 1.11

$$\alpha \text{ and } \beta \text{ - carotene} + H^{+} \rightleftharpoons \text{Carotene Cation } (\lambda_{max} \text{ 900 nm})$$

$$\text{Carotene Cation} \rightleftharpoons H^{+} + \text{Oxidized , Isomerized and Other product}$$

รูปที่ 1.11 ปฏิกิริยาระหว่างกรดกับสารแคโรทีนในน้ำมันปาล์ม (92)

เนื่องจากการดูดซับของตัวดูดซับชนิดนี้เป็นการดูดซับทางเคมี สารแคโรทีนจะถูกทำลายไปด้วยในระหว่างกระบวนการดูดซับ ดังนั้นยังไม่มีการนำมาใช้ในการสกัดสารแคโรทีนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์

จากรายงานเอกสารที่ผ่านมาการสกัดสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวดูดซับเป็นการศึกษาเฉพาะในระบบแบทช์เท่านั้นซึ่งข้อมูลที่ได้อาจไม่สมบูรณ์ที่จะนำไปใช้ในระดับใหญ่ในอุตสาหกรรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวิธีการดูดซับจากระบบแบทช์ มาใช้ในระบบคอลัมน์ซึ่งสารที่ดูดซับจะอยู่กับที่ส่วนสารที่จะถูกดูดซับนั้นจะเคลื่อนที่ผ่านตัวดูดซับที่อยู่ในคอลัมน์ไปเรื่อยๆ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดจุดหนึ่งซึ่งเกินความสามารถในการดูดซับของคอลัมน์สารที่ไม่ถูกดูดซับจะหลุดออกจากคอลัมน์ ดังนั้นการศึกษาในระบบคอลัมน์จึงต้องศึกษาอัตราการไหลของสารในช่วงการดูดซับและการชะ และการศึกษาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการดูดซับเช่นเดียวกับในระบบแบทช์

ในงานวิจัยนี้นอกจากศึกษาในระบบคอลัมน์เดี่ยวแล้วยังทำการศึกษาในระบบคอลัมน์ต่อเนื่อง 3 คอลัมน์ โดยสารที่ไม่ถูกดูดซับในคอลัมน์ที่ 1 จะผ่านลงยังคอลัมน์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับให้ดีขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.เพื่อมุ่งหากระบวนการสกัดสารบีตา-แคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบโดยวิธีการดูดซับซึ่งใช้ผงคาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวดูดซับและหาสภาวะต่างที่เหมาะสมในการสกัด โดยเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อนจนเกินไปเพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการผลิตในระดับใหญ่ขึ้น โดยที่ไม่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงระบบต่างๆที่มีอยู่เดิมในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มมากนัก

2. ศึกษาวิธีการสกัดสารบีตา-แคโรทีนในระบบแบทช์และในระบบคอลัมน์

ขอบเขตของงานวิจัย

1. หาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการดูดซับและการชะสารแคโรทีนบนคาร์บอนกัมมันต์ ทั้งในระบบแบทช์และระบบคอลัมน์
2. หาปริมาณบีตา-แคโรทีนและแอลฟา-แคโรทีนในสารแคโรทีนเข้มข้นที่สกัดได้ ด้วย HPLC