

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของการแช่เมล็ดทานตะวันก่อนลดขนาดและค่าพีเอชต่อความสามารถในการสกัดน้ำมันและโปรตีนจากเมล็ดทานตะวันโดยใช้น้ำ

เมล็ดทานตะวัน (ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟลาวเวอร์ฟูด) มีลักษณะยาวรี มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ ความชื้น 4.32% เถ้า 2.81% โปรตีน 19.31% น้ำมัน 49.39% เส้นใยหยาบ 10.87% และคาร์โบไฮเดรต 13.29% โดยมีปริมาณน้ำมันสูงกว่าเมล็ดทานตะวันที่ปลูกในต่างประเทศซึ่งมีปริมาณน้ำมัน 38.40% (Hagenmaier, 1974) ทั้งนี้อาจเนื่องจากพันธุ์ที่ต่างกัน ร่วมกับสภาพแวดล้อมในการปลูก เมล็ดทานตะวันที่ใช้ในการทดลอง เป็นเมล็ดทานตะวันที่ปลูกภายในประเทศไทย ซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของทานตะวัน โดยทานตะวันเจริญได้ดีในภูมิอากาศร้อน ทำให้เมล็ดทานตะวันที่ได้มีปริมาณน้ำมันและโปรตีนสูงกว่าเมื่อเทียบกับเมล็ดทานตะวันที่ปลูกในต่างประเทศที่มีอากาศเย็นกว่า

จากการทดลองเบื้องต้นใช้ระยะเวลาในการสกัดนาน 30 45 และ 60 นาที พบว่าปริมาณน้ำมันในสารสกัดที่ได้ไม่แตกต่างกัน คือ 3.73 3.89 และ 4.09% ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะเวลาในการสกัดเพียง 30 นาที เพื่อประหยัดเวลาและพลังงานที่ใช้ การสกัดน้ำมันและโปรตีนออกจากเมล็ดทานตะวัน ใช้ช่วงพีเอชเป็นกรดถึงกลาง เนื่องจากการทดลองเบื้องต้นปรับพีเอชเป็น 4 7 7.5 8 และ 8.5 พบว่าที่พีเอช 4 ถึง 7 สารสกัดที่ได้จะมีลักษณะเป็นสีขาวนวล และมีกลิ่นของเมล็ดทานตะวัน แต่ที่พีเอชตั้งแต่ 7.5 ขึ้นไป สารสกัดที่ได้จะมีสีเขียวและมีกลิ่นเหม็นเขียวเล็กน้อย และสีเขียวเข้มขึ้นเมื่อปรับพีเอชสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเป็นลักษณะเฉพาะของกรดคลอโรจีนิกที่มีอยู่ในเมล็ดทานตะวัน (ที่มีอยู่ในปริมาณ 1.3%) (Dominguez and Lema, 1995) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ กรดคลอโรจีนิกจะให้สีเขียวและมีกลิ่นเหม็นเขียวเมื่อละลายน้ำ และจะละลายได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อพีเอชเป็นกลางถึงด่าง (Sosulski and Mccleary, 1972) การปรับพีเอชเป็นกรดหรือด่างที่รุนแรงจะทำให้เกิดการสูญเสียไขมันจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้น้ำมันแตกตัวเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระเมื่อใช้กรด หรือเป็นสบู่เมื่อใช้ด่าง

เมื่อพิจารณาน้ำมันและโปรตีนที่สกัดได้จากเมล็ดทานตะวัน ที่ผ่านการแช่น้ำหรือไม่ผ่านการแช่น้ำก่อนบด พบว่าการเพิ่มพีเอชจาก 4 เป็น 7 ทำให้สามารถสกัดโปรตีนได้เพิ่มขึ้น คือ 0.63% เป็น 1.88% (ไม่แช่เมล็ดทานตะวันก่อนบด) และ 1.09% เป็น 1.55% (แช่เมล็ดทานตะวันก่อนบด) ดัง

แสดงในตารางที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการละลายของโปรตีนจากพืชน้ำมัน ที่มีค่าต่ำในช่วงพีเอชเป็นกรดและละลายได้เพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเป็นด่าง (Hagenmaier, 1974)

การเพิ่มของปริมาณโปรตีนเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 7 ทำให้ปริมาณน้ำมันเพิ่มตามจาก 0.37% เป็น 3.70% (ไม่แช่เมล็ดทานตะวันก่อนบด) และจาก 2.07% เป็น 3.13% (แช่เมล็ดทานตะวันก่อนบด) การบดเมล็ดทานตะวันกับน้ำจะทำให้ผนังเซลล์และเซลล์เนื้อเยื่อของเมล็ดทานตะวันถูกทำลาย ทำให้น้ำมันและโปรตีนที่อยู่ภายในเมล็ดกระจายตัวออกมาในน้ำได้ เนื่องจากน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วจึงไม่สามารถสร้างพันธะกับน้ำมันที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วได้ แต่โปรตีนสามารถสร้างพันธะกับน้ำมันได้ โดยใช้ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจับกับน้ำมัน สารสกัดที่ได้จึงอยู่ในสภาพอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ ที่มีโปรตีนเป็นอิมัลซิไฟเออร์ล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน สารสกัดที่มีโปรตีนสูงจึงมีน้ำมันสูง

ตารางที่ 5 ปริมาณโปรตีนและน้ำมันที่มีอยู่ในสารสกัดจากการแช่และไม่แช่เมล็ดทานตะวันก่อนบดที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

พีเอช	ไม่แช่เมล็ดทานตะวันก่อนบด		แช่เมล็ดทานตะวันก่อนบด	
	น้ำมัน (%)	โปรตีน (%)	น้ำมัน (%)	โปรตีน (%)
4	0.37	0.63	2.07	1.09
5	0.60	0.67	2.48	1.19
6	1.76	0.97	2.76	1.18
7	3.70	1.88	3.13	1.55

ความเข้มข้นของน้ำมันและโปรตีนในสารสกัดที่ได้ค่อนข้างต่ำ แสดงว่าสามารถสกัดน้ำมันและโปรตีนออกจากเมล็ดทานตะวันได้น้อย ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลผลผลิตดังแสดงในตารางที่ 6 การดูค่าผลผลิตน้ำมันและโปรตีนทำให้สามารถบอกได้ว่า การสกัดที่พีเอช 7 โดยไม่ต้องแช่เมล็ดทานตะวันก่อนบด ให้ผลผลิตน้ำมันและโปรตีนมากที่สุด และเหมาะสมที่สุดในการนำไปศึกษาขั้นต่อไป เมื่อเปรียบเทียบที่ค่าพีเอช 4 5 และ 6 พบว่าการแช่เมล็ดทานตะวันในน้ำข้ามคืน ทำให้สามารถสกัดน้ำมันและโปรตีนได้มากขึ้น โดยเห็นผลอย่างชัดเจนที่พีเอช 4 และ 5 คือ 25.11%, 33.90% และ 30.07%, 36.98% ดังแสดงในตารางที่ 6 เนื่องจากการแช่น้ำจะทำให้เมล็ดทานตะวันพองตัวและการบดมีประสิทธิภาพดีขึ้น การพองตัวของเนื้อเยื่อพืชทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ แยกตัวออกจากกันได้ง่ายขึ้นโดยเฉพาะเมื่อได้รับแรงจากการบด ทำให้ชะล้างน้ำมันและโปรตีนออกมาในสารสกัดได้มากขึ้น

ตารางที่ 6 ผลผลิตน้ำมันและโปรตีนที่สกัดได้จากการแช่และไม่แช่เมล็ดทานตะวันก่อนบด ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันและโปรตีนที่มีอยู่ในเมล็ดทานตะวันเริ่มต้น

พีเอช	ไม่แช่เมล็ดทานตะวันก่อนบด		แช่เมล็ดทานตะวันก่อนบด	
	ผลผลิตน้ำมัน	ผลผลิตโปรตีน	ผลผลิตน้ำมัน	ผลผลิตโปรตีน
	(%)	(%)	(%)	(%)
4	4.45 ^h	19.58 ^G	25.11 ^c	33.90 ^D
5	7.49 ^g	20.82 ^F	30.07 ^d	36.98 ^C
6	21.67 ^f	30.24 ^E	33.51 ^c	36.77 ^C
7	45.03 ^a	58.35 ^A	38.07 ^b	48.06 ^B

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันในกลุ่มข้อมูลเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

$$\text{ผลผลิตน้ำมันที่สกัดได้, (\%)} = \frac{\text{น้ำมันที่มีอยู่ในสารสกัด} \times 100}{\text{น้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ดทานตะวันเริ่มต้น}}$$

$$\text{ผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้, (\%)} = \frac{\text{โปรตีนที่มีอยู่ในสารสกัด} \times 100}{\text{โปรตีนที่มีอยู่ในเมล็ดทานตะวันเริ่มต้น}}$$

อย่างไรก็ตามที่ค่าพีเอช 7 การแช่เมล็ดทานตะวันก่อนบดกลับมีผลทำให้ผลผลิตน้ำมันและโปรตีนที่สกัดได้ลดลงจาก 45.03% เป็น 38.07% และ 58.35% เป็น 48.16% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเนื้อเยื่อพืชมีความอ่อนนุ่มจากการแช่น้ำข้ามคืนและมีขนาดเล็กจากการบด การปรับค่าพีเอชเป็น 7 (จากค่าพีเอชเริ่มต้น 6.25) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังที่เดิมในช่วงแรกของการปรับค่าพีเอชสามารถย่อยสลายบางส่วนให้แตกตัว และทำปฏิกิริยากับโปรตีนด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้โปรตีนส่วนที่ทำปฏิกิริยานี้ไม่สามารถละลายได้เนื่องจากเมล็ดทานตะวันมีปริมาณสตาร์ช 11.42% (Hagenmaier, 1974) เมื่อเดิมค่าในสารสกัดปริมาณโปรตีนที่ได้จึงลดลง ประกอบกับจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการแช่เมล็ดทานตะวันข้ามคืนสามารถเจริญได้ดีในสถานะเป็นกลาง (พีเอช 7) ระหว่างการสกัด จึงใช้น้ำมันและโปรตีนในสารสกัดไปบางส่วน

เมื่อพิจารณาจากผลการสกัดที่ได้ การสกัดที่พีเอช 7 ให้ผลดีกว่าพีเอชอื่นอย่างเด่นชัด และแม้ว่าการแช่เมล็ดทานตะวันก่อนบดจะทำให้การสกัดดีขึ้น แต่การแช่มีผลเสียต่อการสกัดที่พีเอช 7 ทำให้สกัดน้ำมันได้น้อยลง ดังนั้นสถานะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันและโปรตีน คือ การสกัดที่ค่าพีเอช 7 โดยไม่ต้องแช่เมล็ดทานตะวันก่อนการบดลดขนาด นอกจากนี้ยังเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการผลิตอีกด้วย

2. ผลของขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการสกัดน้ำมันและโปรตีน

2.1 ผลของระยะเวลาที่ใช้บดต่อขนาดอนุภาคของแข็งที่ได้

เมล็ดทานตะวันประกอบด้วยน้ำมัน โปรตีน สตาร์ช เส้นใย คาร์โบไฮเดรต และเถ้า โดยองค์ประกอบต่าง ๆ จะกระจายกันภายในเนื้อเยื่อเซลล์ การเลือกใช้วิธีบดที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อปริมาณน้ำมันและโปรตีนที่สกัดได้ วิธีการบดแบบแห้งเป็นการนำวัตถุดิบมาบดก่อนแล้วจึงผสมน้ำ ส่วนวิธีการบดแบบเปียกเป็นการนำวัตถุดิบผสมน้ำก่อนแล้วจึงบด แม้ว่าทั้งสองวิธีสามารถบดให้วัตถุดิบมีขนาดอนุภาคที่เท่ากัน แต่ความสามารถในการสกัดน้ำมันและโปรตีนอาจแตกต่างกัน เนื่องจากอนุภาคของแข็งที่ได้จากการบดแบบแห้งจะมีความแข็ง ไม่อ่อนนุ่มเหมือนอนุภาคที่ได้จากการบดแบบเปียก อนุภาคของแข็งที่มีความอ่อนนุ่มมากกว่าย่อมมีความสามารถในการสกัดน้ำมันและโปรตีนได้ดีกว่า การนำเมล็ดทานตะวันผสมกับน้ำและบดลดขนาดด้วยเครื่องบดผสม ใบมีดของเครื่องบดจะทำให้โครงสร้างของเมล็ดทานตะวันถูกทำลาย องค์ประกอบที่อยู่ภายในจะกระจายตัวมาอยู่ในน้ำ การบดเมล็ดทานตะวันที่ระยะเวลานานขึ้นจากระยะเวลา 30 วินาที เป็น 210 วินาที ทำให้เมล็ดทานตะวันมีขนาดอนุภาคของแข็งเล็กลงจาก 0.64 เป็น 0.03 มิลลิเมตร(เฉลี่ย จาก 30 อนุภาค) ดังแสดงในตารางที่ 7 และมีผลต่อการกระจายตัวของขนาด การใช้ระยะเวลาบดที่สั้นกว่า (30 วินาที) จะมีการกระจายของขนาดมากกว่าการใช้ระยะเวลาบดที่นานขึ้น (240 วินาที) ถ้าของผสมมีการกระจายตัวของขนาดมาก จะทำให้ระบบมีอนุภาคของแข็งหลายขนาด ซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการสกัดน้ำมันและโปรตีน และการเพิ่มระยะเวลาบดจาก 210 วินาทีเป็น 240 วินาที จะไม่ทำให้ขนาดอนุภาคของแข็งเล็กลงอีก เนื่องจากการทำงานของเครื่องบดมีขีดจำกัด

ตารางที่ 7 อิทธิพลของระยะเวลาที่ใช้บังคับต่อขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของแข็ง

ระยะเวลาบด (วินาที)	ขนาดอนุภาคของแข็งเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	ขนาดอนุภาคของแข็ง เล็กสุด - ใหญ่สุด (มิลลิเมตร)
30	0.64	0.08 - 0.78
60	0.45	0.08 - 0.72
90	0.37	0.06 - 0.57
120	0.17	0.06 - 0.43
150	0.14	0.06 - 0.28
180	0.06	0.04 - 0.11
210	0.03	0.02 - 0.05
240	0.03	0.02 - 0.05

2.2 ผลของขนาดอนุภาคของแข็งต่อผลผลิตน้ำมันและโปรตีนที่สกัดได้

การบดเมล็ดทานตะวันเป็นการทำลายโครงสร้างเซลล์ของเมล็ดทานตะวัน ทำให้โปรตีนและน้ำมันที่มีอยู่ภายในถูกชะออกมาได้ง่าย ขนาดอนุภาคของแข็งจึงมีผลต่อปริมาณน้ำมันและโปรตีนที่สกัดได้ พบว่าผลผลิตน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นจาก 46.01% เป็น 62.56% เมื่อขนาดอนุภาคเล็กลงจาก 0.64 มิลลิเมตรเป็น 0.14 มิลลิเมตร ซึ่งไม่แตกต่างจากผลผลิตเมื่อลดขนาดเป็น 0.06 และ 0.03 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 8 ดังนั้นถ้าต้องการให้ได้ปริมาณน้ำมันและโปรตีนในสารสกัดมากที่สุด จะต้องลดขนาดอนุภาคของเมล็ดทานตะวันให้มีขนาด 0.14 มิลลิเมตรหรือเล็กกว่า

ตารางที่ 8 อิทธิพลของขนาดอนุภาคของเมล็ดทานตะวันต่อผลผลิตน้ำมันและโปรตีนที่สกัดได้ เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันและโปรตีนที่มีอยู่ในเมล็ดทานตะวันเริ่มต้น

ขนาดอนุภาค ของแข็งเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	น้ำมัน		โปรตีน	
	ในสารสกัด (%)	ผลผลิต (%)	ในสารสกัด (%)	ผลผลิต (%)
0.64	3.80	46.01 ^c	1.90	58.89 ^d
0.45	3.99	48.44 ^c	2.19	68.05 ^c
0.37	3.79	46.01 ^c	2.19	68.05 ^c
0.17	4.48	54.36 ^b	2.25	69.91 ^b
0.14	5.15	62.56 ^a	2.31	71.78 ^a
0.06	5.36	65.14 ^a	2.24	69.45 ^b
0.03	5.39	65.45 ^a	2.31	71.78 ^a
0.03	5.36	65.14 ^a	2.30	71.31 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

เห็นได้ว่าขนาดอนุภาคของแข็ง มีผลต่อความสามารถในการสกัดน้ำมันและโปรตีน เมื่อนำอนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่ น้ำมันและโปรตีนถูกชะล้างออกมาได้น้อย เพราะน้ำมันและโปรตีนส่วนหนึ่งจะอยู่ภายในเซลล์เนื้อเยื่อที่ไม่ถูกทำลาย ทำให้น้ำมันและโปรตีนไม่สามารถชะล้างออกมาได้ การลดขนาดให้ของแข็งมีอนุภาคเล็กลง เซลล์เนื้อเยื่อต่าง ๆ จะถูกทำลายมากขึ้น น้ำมันและโปรตีนที่มีอยู่ภายในเซลล์สามารถกระจายตัวมาอยู่ในน้ำได้มากขึ้น เมื่อลดขนาดของแข็งให้มีขนาดถึงระดับหนึ่งจะได้ผลผลิตน้ำมันและโปรตีนมากที่สุด แม้ว่าจะลดขนาดของแข็งให้เล็กลงอีกก็ไม่สามารถทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากขนาดของแข็งอาจลดลงอีกเพียงเล็กน้อย ทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นระยะเวลาบดที่เหมาะสมคือ 150 วินาที เพื่อให้มีขนาดอนุภาคของแข็งเฉลี่ย 0.14 มิลลิเมตร เนื่องจากที่ระยะเวลานี้ให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับการใช้ระยะเวลาบด 240 วินาที ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Rhee *et al.* (1972) ที่ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคถั่วลิสงต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ โดยบดถั่วลิสงเป็น 3 ขนาด คือ 0.01 0.03 และ 0.06 นิ้ว พบว่าถั่วลิสงให้ผลผลิตน้ำมันในสารสกัดลดลงตามขนาดที่เพิ่มขึ้น คือ 97.9 91.3 และ 73.2% ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในถั่วลิสง และผลงานวิจัยของ Kim (1989) พบว่าการใช้ระยะ

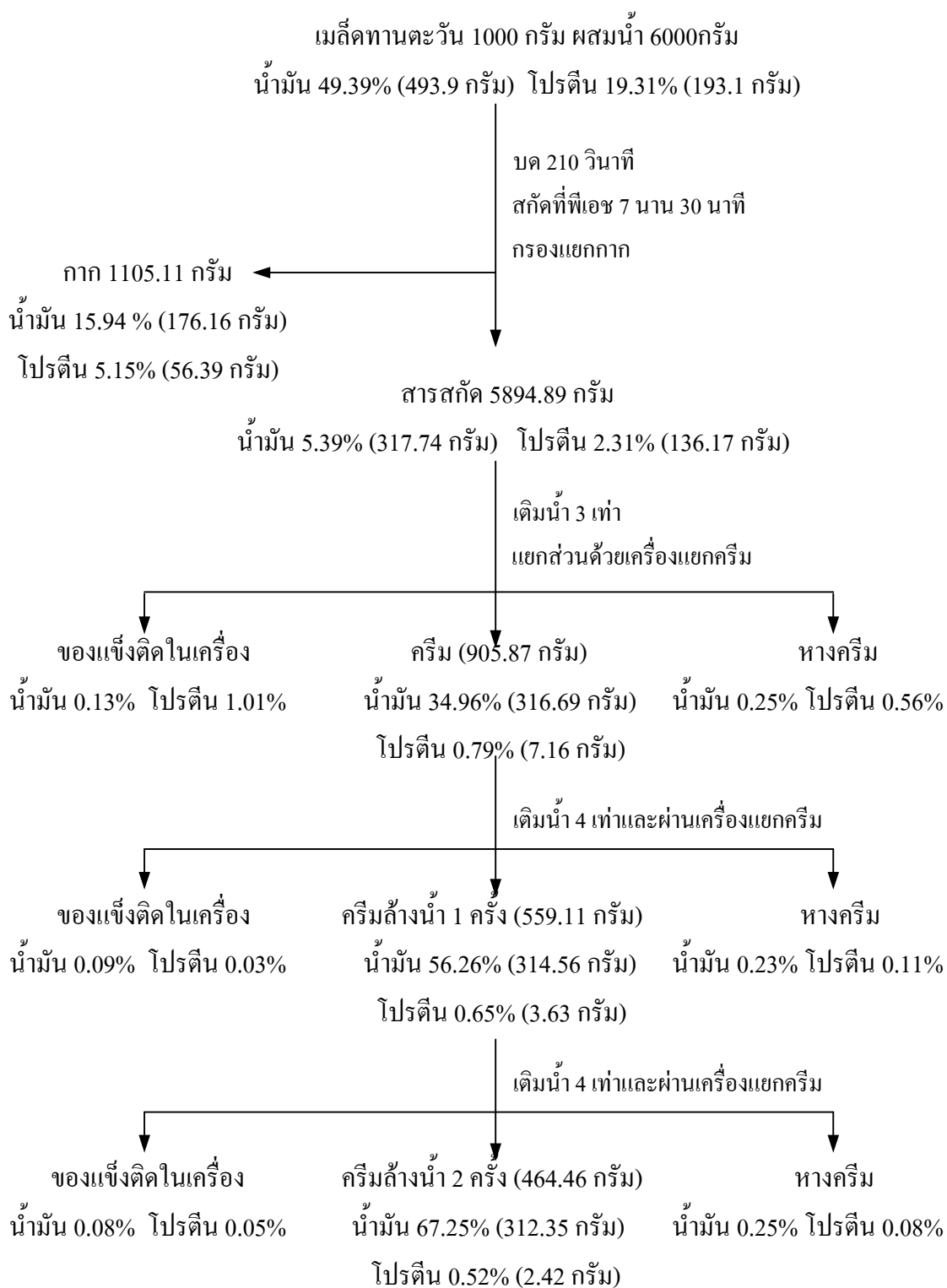
เวลาบดเมล็ดเนื้อในปาล์มที่นานขึ้น คือ 5 15 และ 20 นาที ซึ่งทำให้ของแข็งมีขนาดเล็กลง ให้ผลผลิตน้ำมันในสารสกัดเพิ่มขึ้นเป็น 71.9 74.8 และ 84.6% ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ดเนื้อในปาล์ม ตามลำดับ

3. ผลของการปรับปริมาณน้ำมันและโปรตีนในสารสกัดให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์

3.1 การปรับปริมาณน้ำมันและโปรตีนของสารสกัด

สารสกัดที่ได้จากการบดเมล็ดทานตะวันกับน้ำ สกัดที่พีเอช 7 นาน 30 นาที มีลักษณะขุ่นเป็นอิมัลชันคล้ายนมถั่วเหลือง มีสีขาวนวล เนื่องจากในเมล็ดทานตะวันจะมีน้ำมันและโปรตีนกระจายอยู่ในโครงสร้างเมล็ด เมื่อเติมน้ำลงไปแล้วนำไปบดผสมเพื่อลดขนาด น้ำจะชะน้ำมันและโปรตีนออกมา ในสภาพเป็นน้ำมันกระจายเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่มีโปรตีนดูดซับที่ผิว โปรตีนดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้น้ำมันสามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำที่เป็นเฟสต่อเนื่องได้ ปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในสารสกัดมีปริมาณต่ำเพียง 5.39% และมีโปรตีน 2.31% การนำสารสกัดที่ได้มาทำลายอิมัลชันโดยใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนโดยตรง ทำให้สิ้นเปลืองปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ เนื่องจากสารสกัดจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่สูงเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันและโปรตีนที่มีอยู่ และยังมีอนุภาคของแข็งกระจายอยู่ จึงจำเป็นต้องเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันก่อนเข้ากระบวนการต่อไป โดยการนำสารสกัดไปแยกส่วนโดยใช้เครื่องแยกครีม

เมื่อนำสารสกัดที่ได้ไปแยกส่วนโดยใช้เครื่องแยกครีมจะไม่สามารถแยกส่วนได้ อาจเนื่องจากปริมาตรของสารสกัดที่ใช้ไม่เหมาะสมกับความจุของเครื่องแยกครีม ส่วนของครีมติดอยู่ในช่องทางออกไม่ไหลออกมาจากเครื่อง จึงต้องผสมน้ำเพื่อให้มีปริมาตรที่เหมาะสม พบว่าการผสมน้ำลงในสารสกัด 3 เท่า ทำให้สามารถแยกส่วนสารสกัดโดยใช้เครื่องแยกครีมได้ ซึ่งเครื่องแยกครีมนี้เป็นเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบสองทาง (two way centrifuge) สำหรับแยกของเหลว 2 ชนิดที่มีความหนาแน่นต่างกัน ได้เป็นส่วนสารสกัดเข้มข้น (ครีม) ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำและอยู่ในรูปอิมัลชันที่มีปริมาณน้ำมันอยู่สูง ส่วนของโปรตีนของแข็งที่ติดในเครื่อง และส่วนของเหลวที่มีโปรตีนละลายอยู่เล็กน้อย ซึ่งเป็นส่วนที่มีความหนาแน่นสูง การแยกด้วยเครื่องนี้สามารถทำให้ส่วนครีมมีความเข้มข้นของน้ำมันเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของโปรตีนลดลงเมื่อเทียบกับสารสกัดเริ่มต้น สมดุลมวลสารในขั้นตอนการปรับความเข้มข้นด้วยการหมุนเหวี่ยง และล้างสารสกัดเข้มข้นหรือครีมด้วยน้ำ 2 ครั้ง แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 สมดุลมวลสารในขั้นตอนนำสารสกัดไปแยกส่วน และนำครีมที่ได้ไปล้างน้ำ 2 ครั้ง

การนำสารสกัดไปแยกส่วนโดยใช้เครื่องแยกครีม ทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันในสารสกัดเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันส่วนใหญ่อยู่ในส่วนสารสกัดเข้มข้นหรือครีม และปริมาณโปนดินที่มีอยู่ในครีมลดลง เนื่องจากโปนดินที่อยู่ล้อมรอบอนุภาคน้ำมันบางส่วน ถูกแรงเฉือนจากเครื่องแยกครีม ทำให้โปนดินส่วนนี้ติดอยู่ในเครื่อง (จาก 136.17 กรัม เหลือโปนดินในครีมเพียง 7.16 กรัม) โดยมีการสูญเสียน้ำมันในส่วนของแข็งที่ติดในเครื่องและหางครีมเพียงเล็กน้อย เมื่อนำครีมที่ได้มาล้างน้ำครั้งที่ 1 ทำให้โปนดินที่อยู่ในครีมที่ล้างน้ำ 1 ครั้งมีค่าลดลงจาก 7.16 เป็น 3.63 กรัม และลดลงเหลือ 2.42 กรัมเมื่อล้างน้ำ 2 ครั้ง แม้ว่าการนำสารสกัดไปแยกส่วนและนำครีมที่ได้ไปล้างน้ำ 2 ครั้งจะทำให้ปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ลดลงจาก 317.74 กรัม เป็น 312.35 กรัม โดยสูญเสียไปกับส่วนของแข็งที่ติดในเครื่องและหางครีม แต่เห็นได้ว่าการสูญเสียน้ำมันเพียง 5.39 กรัม ซึ่งค่อนข้างน้อยมาก การนำครีมไปล้างน้ำ 2 ครั้ง ทำให้สัดส่วนของน้ำมันต่อโปนดินเปลี่ยนแปลง ปริมาณโปนดินที่ลดลงเป็นมีผลต่อการนำไปศึกษาการทำลายอิมัลชันโดยใช้เอนไซม์ย่อยโปนดิน ทำให้ลดเวลา พลังงาน และค่าใช้จ่าย

ครีมที่แยกได้จากสารสกัดเริ่มต้นมีปริมาณน้ำมันและโปนดินเท่ากับ 34.96% และ 0.79% สัดส่วนของน้ำมันต่อโปนดินเป็น 44.25 : 1 และหลังผ่านการล้างด้วยน้ำ 2 ครั้ง โดยผสมครีมกับน้ำในอัตราส่วนครีมต่อน้ำเป็น 1 : 4 แล้วผ่านเครื่องแยกครีม จะมีปริมาณน้ำมันและโปนดิน 67.25% และ 0.52% และสัดส่วนของน้ำมันต่อโปนดินเพิ่มขึ้นเป็น 129.32 : 1 ดังแสดงในตารางที่ 9 แสดงว่าโปนดินที่ดูดซับที่ผิวของอนุภาคน้ำมันได้รับแรงเฉือนระหว่างการหมุนเหวี่ยงหลุดออกมาจากอนุภาคน้ำมัน การมีโปนดินปริมาณน้อยทำให้สามารถลดเวลาและปริมาณเอนไซม์ที่ต้องใช้ในการย่อยลงได้ครีมที่ล้างน้ำ 2 ครั้ง มีอัตราส่วนของปริมาณน้ำมันต่อโปนดินเพิ่มขึ้นเป็น 129.32 : 1 จากอัตราส่วนเริ่มต้นคือ 44.25 : 1 การเติมน้ำ 4 เท่าในครีมในขั้นตอนล้างครีม และนำไปแยกส่วนโดยใช้เครื่องแยกครีม น้ำที่เติมลงในครีมจะให้น้ำมันและโปนดินที่อยู่ในครีมกระจายตัวในน้ำ เมื่อนำไปผ่านเครื่องแยกครีม ปริมาณโปนดินที่มีในครีมที่ล้างน้ำ 1 และ 2 ครั้งจึงลดลง เนื่องจากแรงเฉือนที่ได้รับจากเครื่องแยกครีม ทำให้สามารถแยกส่วนได้เป็นครีม ส่วนของโปนดินของแข็งที่ติดในเครื่อง และส่วนของเหลวที่มีโปนดินละลายอยู่เล็กน้อย โดยโปนดินส่วนใหญ่จะติดอยู่ภายในเครื่องแยกครีมและส่วนของน้ำที่ล้างครีม ปริมาณโปนดินในส่วนครีมที่ล้างน้ำแล้วจึงมีค่าต่ำลง

ครีมที่ได้จากการล้างน้ำแล้ว 2 ครั้งมีปริมาณน้ำมันและโปนดินเท่ากับ 67.25% และ 0.52% โดยจะใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการทำลายอิมัลชันด้วยการใช้เอนไซม์ ซึ่งจำเป็นต้องปรับความเข้มข้นของน้ำมันและโปนดินที่มีอยู่ให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ด้วย โดยเอนไซม์จะย่อยโปนดินที่ดูดซับที่ผิวของอนุภาคน้ำมัน ทำให้อนุภาคน้ำมันสามารถมารวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น และลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของสารสกัดได้ และใช้แรงเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำมันให้รวมตัวกันเร็วขึ้น

ตารางที่ 9 ปริมาณน้ำมันและโปรตีนในสารสกัด จากขั้นตอนการปรับความเข้มข้นด้วยการหมุนเหวี่ยงและล้างด้วยน้ำ

สารสกัด	น้ำมัน (%)	โปรตีน (%)
สารสกัดเริ่มต้น	5.39	2.31
สารสกัดเข้มข้น (ครีม)	34.96	0.79
สารสกัดเข้มข้น 1 (ครีมล้างน้ำ 1 ครั้ง)	56.26	0.65
สารสกัดเข้มข้น 2 (ครีมล้างน้ำ 2 ครั้ง)	67.25	0.52

3.2 การปรับความเข้มข้นของครีมที่ผ่านการล้าง 2 ครั้ง ให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์โดยการเจือจางด้วยน้ำ

ครีมที่ล้างน้ำแล้ว 2 ครั้ง มีปริมาณน้ำมันอยู่สูงเมื่อเทียบกับโปรตีน คือ 67.25% และ 0.52% การใช้เอนไซม์ในการทำลายอิมัลชันจำเป็นต้องใช้น้ำเป็นตัวกลาง และต้องมีความเข้มข้นของน้ำมันและโปรตีนที่เหมาะสม นำครีมที่ล้างน้ำแล้ว 2 ครั้งมาเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 1 : 8 1 : 6 1 : 4 และ 1 : 2 เพื่อปรับความเข้มข้นของน้ำมันและโปรตีน ได้เป็นสารสกัดที่ปรับความเข้มข้นแล้วมีน้ำมันในช่วง 7.47 - 22.42% และโปรตีนในช่วง 0.06 - 0.17% ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณน้ำมันและโปรตีนในสารสกัดที่ได้จากการเจือจางครีมด้วยน้ำที่อัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วน ครีม : น้ำ	สารสกัดที่ปรับความเข้มข้น	
	น้ำมัน (%)	โปรตีน (%)
1 : 8	7.47	0.06
1 : 6	9.61	0.07
1 : 4	13.45	0.10
1 : 2	22.42	0.17

เมื่อนำสารสกัดที่ปรับความเข้มข้น ให้มีความเข้มข้นของน้ำมันและโปรตีนที่แตกต่างกันไปทำลายอิมัลชันโดยใช้เอนไซม์ปาเปน เอนไซม์โบรมิเลน และเอนไซม์อัลคาเลส โดยใช้เอนไซม์ปริมาณ 0.20% (น้ำหนักเอนไซม์/น้ำหนักของสารสกัด) ปรับพีเอชแล้วควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แต่ละชนิด เป็นเวลา 7 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกน้ำ

มันที่ความเร็ว 3500 รอบต่อนาที นาน 1 นาที พบว่าการใช้เอนไซม์อัลคาเลสทำลายอิมัลชัน ให้ผลผลิตน้ำมันคิดเทียบกับปริมาณน้ำมันในสารสกัดมากที่สุด เมื่อเทียบกับปริมาณผลผลิตน้ำมันที่ได้จากการใช้เอนไซม์ปาเปนและเอนไซม์โบรมิเลนทำลายอิมัลชัน ที่สภาวะความเข้มข้นของน้ำมันและโปรตีนในสารสกัดในระดับที่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 11 และการเจือจางครีมที่ล้างน้ำแล้ว 2 ครั้ง ด้วยน้ำ 4 เท่า ให้มีปริมาณน้ำมันและโปรตีนเท่ากับ 13.45% และ 0.10% ให้ผลผลิตน้ำมันคิดเทียบกับปริมาณน้ำมันในสารสกัดมากที่สุด จากการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน โบรมิเลน และอัลคาเลส 0.20% คือ 9.04 12.04 และ 70.92% ตามลำดับ

ตารางที่ 11 ปริมาณผลผลิตน้ำมันที่ได้จากการใช้เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ในส่วนผสมที่มีการเจือจางครีมด้วยน้ำในอัตราส่วนต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในสารสกัดปรับความเข้มข้น

อัตราส่วน ครีม : น้ำ	น้ำมัน เริ่มต้น (%)	โปรตีน เริ่มต้น (%)	ผลผลิตน้ำมัน (%)		
			ปาเปน	โบรมิเลน	อัลคาเลส
1 : 8	7.47	0.06	6.08 ^c	9.10 ^d	58.30 ^b
1 : 6	9.61	0.07	7.83 ^b	11.32 ^b	62.03 ^b
1 : 4	13.45	0.10	9.04 ^a	12.04 ^a	70.92 ^a
1 : 2	22.42	0.17	6.45 ^c	10.77 ^c	59.64 ^b

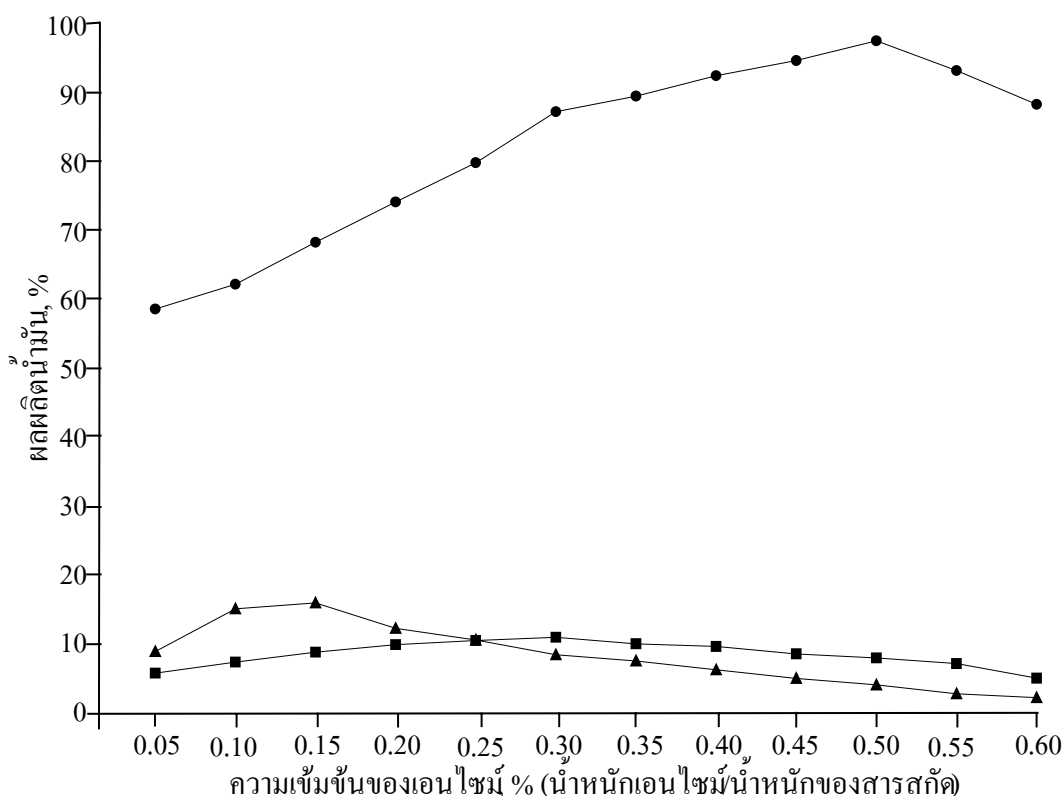
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

สารสกัดที่ปรับความเข้มข้นมีปริมาณน้ำมันและโปรตีนในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน แม้ว่าจะมีปริมาณน้ำมันสูงเมื่อเทียบกับโปรตีนที่มีอยู่ แต่ก็ไม่สามารถทำให้น้ำมันรวมตัวกันและแยกชั้นออกมาได้ เนื่องจากโปรตีนจะล้อมรอบอนุภาคน้ำมันทำให้สารสกัดที่ปรับความเข้มข้นมีลักษณะเป็นอิมัลชัน การใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ล้อมรอบอนุภาคน้ำมันจะทำให้สามารถแยกน้ำมันออกมาได้ เอนไซม์ที่ใช้เป็นเอนไซม์ในกลุ่มโปรติโอไลติก (proteolytic enzyme) ซึ่งจะไปย่อยโครงสร้างกลุ่มโปรตีนที่จับอยู่กับอนุภาคน้ำมัน (Yoon *et al.*, 1991) ทำให้อนุภาคน้ำมันเป็นอิสระจากโปรตีนและรวมตัวกันเป็นน้ำมันแยกออกมาได้

ผลผลิตน้ำมันที่ได้จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของน้ำมันและโปรตีนที่มีอยู่ เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์จะมีประสิทธิภาพสูงสุดและให้ผลผลิตน้ำมันมากที่สุด เมื่อมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ นอกจากจะควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แล้ว ปริมาณน้ำมันและโปรตีนส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ เอนไซม์ที่ใช้เป็นเอนไซม์กลุ่มโปรติโอไลติกซึ่งจะย่อยโปรตีนที่มีอยู่ การมีโปรตีนมากหรือน้อยเกินไป จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ ดังนั้นจึงต้องปรับความเข้มข้นของโปรตีนให้เหมาะสม เห็นได้ว่าการปรับความเข้มข้นของน้ำมันและโปรตีนเป็น 13.45% และ 0.10% ให้ผลผลิตน้ำมันมากที่สุด เนื่องจากที่ความเข้มข้นนี้มีโปรตีนในปริมาณที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ ไม่มีมากหรือน้อยเกินไปจนทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง

4. ผลของชนิดและปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมในการทำลายอิมัลชัน

สารสกัดที่ปรับความเข้มข้นให้มีน้ำมันและโปรตีนเป็น 13.45% และ 0.10% ให้ผลผลิตน้ำมันมากที่สุด โดยเอนไซม์อัลคาเลสให้ผลผลิตน้ำมันมากที่สุดเมื่อเทียบกับเอนไซม์ปาเปนและเอนไซม์โบรมิเลน ผลผลิตน้ำมันที่ปลดปล่อยเป็นผลจากการทำงานของเอนไซม์ ที่ไปย่อยโปรตีนซึ่งดูดซับบนอนุภาคน้ำมันตามชนิดและความเข้มข้นของเอนไซม์ แสดงในภาพที่ 11 มีลักษณะแบบพาราโบลา คือ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเอนไซม์ที่ใช้จนถึงระดับหนึ่ง แล้วลดลงเมื่อมีเอนไซม์มากเกินไปจนเกิดการขัดขวางการทำงาน ค่าความเข้มข้นของเอนไซม์ ณ จุดยอดคือค่าที่เหมาะสม ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดของเอนไซม์ พบว่าเอนไซม์ปาเปนที่ความเข้มข้น 0.30% (น้ำหนักเอนไซม์/น้ำหนักของสารสกัด) ให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุดคือ 10.79% เอนไซม์โบรมิเลนที่ความเข้มข้น 0.15% (น้ำหนักเอนไซม์/น้ำหนักของสารสกัด) ให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุดคือ 15.80% และเอนไซม์อัลคาเลสที่ความเข้มข้น 0.50% (น้ำหนักเอนไซม์/น้ำหนักของสารสกัด) ให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุดคือ 97.76% โดยเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นแต่ละระดับ ให้ผลผลิตน้ำมันแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)



ภาพที่ 11 อิทธิพลของชนิดและปริมาณเอนไซม์ต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันที่ได้ เทียบกับปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในสารสกัดปรับความเข้มข้น

- หมายถึง ผลผลิตน้ำมันจากการใช้เอนไซม์ปาเปน
- ▲ หมายถึง ผลผลิตน้ำมันจากการใช้เอนไซม์โบรมิเลน
- หมายถึง ผลผลิตน้ำมันจากการใช้เอนไซม์อัลคาเลส

ผลผลิตน้ำมันที่ได้มีลักษณะเป็นกราฟพาราโบลา เป็นผลเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ การเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงแรก เห็นได้ว่าผลผลิตน้ำมันที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น และที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ระดับหนึ่งจะให้ผลผลิตน้ำมันสูงสุด เนื่องจากมีเอนไซม์ในปริมาณที่เหมาะสมกับซับสเตรต (โปรตีน) ทำให้เอนไซม์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลผลิตน้ำมันที่ได้จึงมากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์มากขึ้นผลผลิตน้ำมันกลับลดลง เพราะเอนไซม์มีปริมาณมากเกินไปไม่สมดุลกับซับสเตรตที่มีอยู่ จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ลดลง

การที่เอนไซม์ปาเปนและเอนไซม์โบรมิเลนให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันน้อย เมื่อเทียบกับเอนไซม์อัลคาเลส ทั้งที่เอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะการย่อยจากภายใน (endopeptidase) เนื่องจาก

เอนไซม์ปาเปนและเอนไซม์โบรมิเลนเป็นเอนไซม์ในกลุ่มที่เจาะจงย่อยกรดอะมิโนซิสเทอีน โดยจะไปย่อยสายโพลีเปปไทด์จากภายในตรงตำแหน่งซิสเทอีน (Dominic and Wong, 1995) แต่เอนไซม์อัลคาเลสเป็นเอนไซม์ในกลุ่มที่เจาะจงย่อยกรดอะมิโนเซอรีน โดยเอนไซม์จะไปย่อยสายโพลีเปปไทด์จากภายในตรงตำแหน่งเซอรีน (The East Asiatic Public Company Limited, 2002) และโปรตีนเมล็ดทานตะวันมีปริมาณของกรดอะมิโนซิสเทอีนและกรดอะมิโนเซอรีนเป็น 0.60% และ 7.50% ของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดที่พบในสายโพลีเปปไทด์ (Katsumi *et al.*, 2002) การใช้เอนไซม์อัลคาเลสจึงสามารถทำให้สายโพลีเปปไทด์สั้นกว่า การใช้เอนไซม์ปาเปนและเอนไซม์โบรมิเลน ทำให้อนุภาคน้ำมันที่มีโปรตีนดูดซับที่ผิวถูกปลดปล่อยออกมามากกว่า และเอนไซม์อัลคาเลสจึงสามารถแยกผลผลิตน้ำมันออกมาได้มากที่สุด

จากผลการทดลองข้อ 1 ถึงข้อ 4 สามารถสรุปสถานะที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันจากเมล็ดทานตะวันโดยการใช้เอนไซม์และเอนไซม์ คือ การบดเมล็ดทานตะวันพร้อมน้ำในอัตราส่วน 1 : 6 ให้มีขนาดเท่ากับหรือเล็กกว่า 0.14 มิลลิเมตร และสกัดที่พีเอช 7.0 นาน 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง โดยควบคุมพีเอชให้คงที่ นำสารสกัดไปแยกส่วนและนำสารสกัดเข้มข้นหรือครีมที่ได้ ไปล้างน้ำ 2 ครั้งโดยผสมน้ำ 4 เท่า หลังจากนั้นนำครีมที่ล้างน้ำ 2 ครั้งผสมน้ำให้มีปริมาณน้ำมัน 13.45% และโปรตีน 0.10% แล้วทำลายอิมัลชันโดยใช้เอนไซม์อัลคาเลสที่ความเข้มข้น 0.50% (น้ำหนักเอนไซม์/น้ำหนักของสารสกัด) พีเอช 8.0 อุณหภูมิ 50°C นาน 7 ชั่วโมง สามารถให้ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 61.82% (305.35 กรัม) จากปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ดทานตะวันเริ่มต้น 493.9 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 12 โดยปริมาณน้ำมันและโปรตีนส่วนหนึ่งคงอยู่ในกากทานตะวัน สามารถนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์หรือผลิตภัณฑ์จากกากทานตะวันได้ เนื่องจากการสกัดด้วยวิธีนี้ไม่มีการใช้สารเคมีร่วมในการสกัด จึงมีความปลอดภัยหากนำไปเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น ในการผลิตอาหารสัตว์หรือผลิตภัณฑ์ใหม่จากการทานตะวัน

ตารางที่ 12 สภาวะที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันจากเมล็ดทานตะวันโดยใช้ น้ำและเอนไซม์ และปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ในแต่ละขั้นตอน

กระบวนการ	ผลิตภัณฑ์ที่ได้	ปริมาณ (กรัม)	ปริมาณน้ำมัน	
			(%)	กรัม
1. เมล็ดทานตะวัน		1000	49.39	493.9
2. บดเมล็ดทานตะวันพร้อมน้ำในอัตราส่วน 1: 6 ให้มีขนาดเท่ากับหรือเล็กกว่า 0.14 มิลลิเมตร สกัดที่พีเอช 7.0 นาน 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง แล้วกรองแยกกากออก	สารสกัด	5894.89	5.39	317.74
3. นำสารสกัดไปเพิ่มความเข้มข้นโดยใช้เครื่องแยกครีม	ครีม	905.87	34.96	316.69
4. ล้างครีมโดยผสมครีมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 4 แล้วผ่านเครื่องแยกครีม	ครีม (1)	559.11	56.26	314.56
5. ล้างครีม (1) โดยผสมครีม (1) กับน้ำในอัตราส่วน 1 : 4 แล้วผ่านเครื่องแยกครีม	ครีม (2)	464.46	67.25	312.35
6. ผสมครีม (2) กับน้ำในอัตราส่วน 1 : 4 ให้มีปริมาณน้ำมัน 13.45% และโปรตีน 0.10%	สารสกัดปรับความเข้มข้น	2322.30	13.45	312.35
7. ผสมเอนไซม์อัลคาเลส 0.50% ในสารสกัดปรับความเข้มข้น ปรับพีเอชเป็น 8.0 อุณหภูมิ 50°ซ นาน 7 ชั่วโมง แล้วแยกน้ำมันที่ได้	น้ำมัน	305.35		305.07

5. คุณภาพของน้ำมันทานตะวัน

5.1 สมบัติของน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ เปรียบเทียบกับน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด

เมื่อนำน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ที่เตรียมได้ มาเปรียบเทียบกับคุณภาพกับน้ำมันที่ได้จากกระบวนการบีบอัด (ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟลาวเวอร์ฟูด) พบว่าคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันทานตะวันที่ได้จากทั้งสองกระบวนการ มีค่าที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงที่กำหนดของค่าอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ 13 แต่เมื่อพิจารณาค่าสารที่ไม่สะaponนิไฟซ์ (unsaponifiable matter) พบว่าน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีสารที่ไม่สะaponนิไฟซ์น้อยกว่าน้ำมันที่ได้จากกระบวนการบีบอัด คือ 1.21 และ 1.89 ตามลำดับ

สารที่ไม่สะaponนิไฟซ์ที่พบในน้ำมันเป็นสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์ ได้แก่ สเตอรอล ไฮโดรคาร์บอน รงควัตถุ และสารประกอบฟีนอลิก (David, 1981) สารประกอบเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มลิพิด (lipid) เช่นเดียวกับไตรกลีเซอไรด์จึงมีสมบัติใกล้เคียงกัน สามารถพบได้ทั่วไปในส่วนประกอบของพืช เมื่อนำเมล็ดทานตะวันมาบีบอัดเพื่อแยกน้ำมันจึงมีปนอยู่ในน้ำมันด้วย น้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีกระบวนการผลิตที่ต้องผสมน้ำในขั้นตอนต่าง ๆ ทำให้สารประกอบอื่น ๆ ถูกกำจัดออกบางส่วน เมื่อนำไปวิเคราะห์จึงพบสารที่ไม่สะaponนิไฟซ์ต่ำกว่า ส่วนน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด เป็นการนำเมล็ดทานตะวันมาบีบอัดด้วยสกรูเพื่อให้น้ำมันออกมา น้ำมันทานตะวันที่ได้จึงมีสารประกอบอื่น ๆ ปนอยู่สูง เมื่อนำไปวิเคราะห์จึงพบสารที่ไม่สะaponนิไฟซ์สูงกว่า น้ำมันที่ได้จากกระบวนการทั้งสองวิธีดังกล่าวมีค่าไอโอดีน (iodine value) และค่าสะaponนิไฟซ์ (saponification value) ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากคุณสมบัติทั้งสองเป็นค่าเฉพาะตามชนิดของน้ำมัน ไม่ขึ้นกับวิธีการที่ใช้ในการสกัด โดยค่าไอโอดีนมีความสัมพันธ์กับระดับความไม่อิ่มตัวของน้ำมัน และค่าสะaponนิไฟซ์สัมพันธ์กับขนาดโมเลกุล (Triebold and Aurand, 1963)

ตารางที่ 13 คุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันทานตะวันที่ได้จากกระบวนการใช้น้ำและเอนไซม์และน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด

คุณลักษณะต่าง ๆ	ค่าอ้างอิง	น้ำมันจากกระบวนการใช้น้ำและเอนไซม์	น้ำมันจากกระบวนการบีบอัด
สารที่ไม่สะaponifiy (%)	< 1.5 *	1.21	1.89
ค่าไอโอดีน	130 - 144 *	132.16	130.53
ค่าสะaponifiy	188 - 194 *	190.91	191.3 8
กรดไขมันอิสระ (คิดเป็นกรดโอเลอิก, %)	< 4.0 **	1.74	1.97
ค่าเปอร์ออกไซด์, มิลลิอีควิว	< 10.0 **	5.06	9.20
เลนส์/กิโกลกรัมตัวอย่าง			
ความชื้น (%)	< 0.20 **	0.09	0.05
สีระบบโลวิบอนด์	สีแดง < 2*	1.0	1.23
	สีเหลือง < 45*	43.0	42.6
สีระบบฮันเตอร์ (L a b)	-	83.51 -0.19 56.35	80.25 -1.38 54.27
วิตามินอี (มิลลิกรัม/100กรัม)	-	128.21	88.29

ที่มา: * หมายถึง Lilleboe (1991)

** หมายถึง สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่ากรดไขมันอิสระ (free fatty acid) และค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) พบว่าน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีค่าทั้งสองค่าน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด ซึ่งค่าดังกล่าวจะเป็นตัวบ่งชี้การหืนของน้ำมัน แสดงว่าน้ำมันที่ได้จากการบีบอัดมีแนวโน้มที่จะเกิดการหืนเร็วกว่าน้ำมันที่ได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ แม้ว่าน้ำมันที่ได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์จะมีปริมาณน้ำมากกว่าก็ตาม โดยน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ และน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัดมีปริมาณน้ำ 0.09% และ 0.05% ตามลำดับ น้ำที่พบในน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ เป็นน้ำที่เกิดจากขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตน้ำมัน เนื่องจากต้องมีการผสมน้ำในขั้นตอนต่าง ๆ เช่น ขั้นตอนการทำลายอิมัลชัน ซึ่งต้องใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทำงานของเอนไซม์ การใช้วิธีหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3500 รอบต่อนาที นาน 1 นาที เพื่อแยกน้ำมันให้รวมตัวกันเร็วขึ้น จะไม่สามารถกำจัดน้ำที่ปนอยู่ออกไปได้หมด เนื่องจากจะมีน้ำบางส่วนละลายอยู่ในน้ำมัน ส่วนน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัดมีน้ำปนอยู่

0.05% เนื่องจากในเมล็ดทานตะวันมีน้ำเป็นองค์ประกอบ เมื่อนำมาแยกน้ำมัน น้ำมันที่ได้จึงมีน้ำละลายปนอยู่บ้างเล็กน้อย ปกติแล้วน้ำมันธรรมชาติที่มีคุณภาพดีสามารถมีน้ำปนอยู่ได้ไม่เกิน 0.20% ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค (มอก. 47 - 2516) น้ำมันทานตะวันจากกระบวนการทั้งสองแบบ จึงมีปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

สีของน้ำมันที่ปรากฏสามารถใช้คาดเดาคุณภาพของน้ำมันได้ โดยน้ำมันที่มีสีอ่อนกว่าจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเข้ม (Lehninger, 1975) จากการวิเคราะห์สีในระบบอัตโนมัติ (Lab) พบว่าน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีค่าความสว่างมากกว่าน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด คือ 83.51 และ 80.25 ดังแสดงในตารางที่ 11 มีค่าสีเขียวน้อยกว่า คือ - 0.19 และ - 1.38 และมีค่าสีเหลืองมากกว่า คือ 56.35 และ 54.27 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์สีในระบบโลวิบอนด์ โดยน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีค่าสีแดงน้อยกว่าน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด คือ 1.0 และ 1.23 และมีค่าสีเหลืองมากกว่า คือ 43.0 และ 42.6 ตามลำดับ และค่าสีที่วิเคราะห์ในระบบโลวิบอนด์ก็อยู่ในช่วงที่กำหนดของค่าอ้างอิง คือ มีค่าสีแดงไม่เกิน 2 และมีค่าสีเหลืองไม่เกิน 45 (Lilleboe, 1991)

จากการสังเกตด้วยสายตาพบว่าน้ำมันทั้งสองชนิดมีสีเหลืองอ่อน และใสไม่มีตะกอนแขวนลอย แต่มีกลิ่นของน้ำมันที่แตกต่างกัน น้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัดมีกลิ่นแรงกว่าน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ เนื่องจากเป็นน้ำมันที่ได้จากการบีบโดยตรง น้ำมันที่ได้จึงมีกลิ่นของเมล็ดทานตะวัน ส่วนน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์จะมีการใช้น้ำในขั้นตอนต่าง ๆ กลิ่นของเมล็ดทานตะวันจึงถูกกำจัดออกไปบางส่วน น้ำมันที่ได้จึงมีกลิ่นที่อ่อนกว่า

การวัดสีในระบบโลวิบอนด์และอัตโนมัติใช้เครื่อง Lovibond Tintometer PFX 990 ในการตรวจสอบ ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้สามารถวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และ เบตา - แคโรทีนที่มีอยู่ในน้ำมันได้ ซึ่งคลอโรฟิลล์ เอ และ เบตา - แคโรทีนเป็นรงควัตถุที่สามารถพบได้ในพืช พบว่าน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีค่าของคลอโรฟิลล์ เอ น้อยกว่าน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด คือ 0.001 และ 0.004 ppm จึงทำให้น้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์มีค่าสีเขียวน้อยกว่า เนื่องจากคลอโรฟิลล์ เอ เป็นรงควัตถุที่สามารถละลายได้ในน้ำ กระบวนการแยกน้ำมันทานตะวันจากการใช้น้ำและเอนไซม์ ต้องผสมน้ำในขั้นตอนต่างๆ จึงทำให้คลอโรฟิลล์ เอ บางส่วนสูญเสียไปในระหว่างขั้นตอนการสกัด แต่น้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัดจะมีค่าคลอโรฟิลล์ เอ มากกว่า เพราะคลอโรฟิลล์ เอ จะถูกสกัดออกมาพร้อมกับน้ำมันเมื่อนำ

เมล็ดทานตะวันไปบีบอัด ส่วนปริมาณของเบตา - แคโรทีนที่ตรวจพบในน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีค่ามากกว่าในน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด คือ 4.97 และ 4.82 ppm ตามลำดับ เนื่องจากเบตา - แคโรทีนเป็นรงควัตถุที่ละลายในน้ำมัน ดังนั้นการสกัดโดยใช้น้ำและเอนไซม์ จะไม่เกิดการสูญเสียเบตา - แคโรทีนไปในระหว่างการสกัด แต่เบตา - แคโรทีนนี้จะถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน การบีบอัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบอัดแบบสกรู มักมีความร้อนเกิดขึ้นจากแรงอัด จึงทำให้เบตา - แคโรทีนถูกทำลายไปบางส่วน ทำให้น้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัดจึงมีค่าเบตา - แคโรทีนน้อยกว่า เบตา - แคโรทีนเป็นโปรวิตามินเอที่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ต่อต้านมะเร็ง บำรุงความแข็งแรงของผิวหนัง เป็นต้น (Alton, 1996) น้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ จึงมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด เมื่อพิจารณาปริมาณกรดไขมันที่พบในน้ำมันที่ได้จากทั้งสองกระบวนการ สามารถตรวจพบกรดไขมัน 5 ชนิดในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 14 แสดงว่ากระบวนการผลิตน้ำมันที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อชนิดและปริมาณกรดไขมันที่พบในน้ำมันเมล็ดทานตะวัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ตรวจพบในเมล็ดทานตะวัน คือ กรดโอเลอิก (oleic acid) และ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) หรือที่เรียกว่า น้ำมันโอเมกา 9 และน้ำมันโอเมกา 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 14 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่ตรวจพบในน้ำมันทานตะวันที่ได้จากกระบวนการใช้น้ำและเอนไซม์ และกระบวนการบีบอัด

กรดไขมัน (%)	น้ำมันทานตะวัน * (การบีบอัด)	น้ำมันจากกระบวนการ ใช้น้ำและเอนไซม์	น้ำมันจากกระบวนการบีบอัด
กรดปาล์มมิก (C 16:0)	6.09	5.63	5.83
กรดสเตียริก (C 18:0)	3.13	3.18	3.43
กรดปัลมิติก (C 22:0)	-	0.54	0.44
กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด	9.22	9.35	9.70
กรดโอเลอิก (C 18:1, cis)	30.57	34.61	33.17
กรดลิโนเลอิก (C 18:2, cis)	60.21	56.04	57.13
กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด	90.78	90.65	90.30

ที่มา: * หมายถึง ไพจิตร (2530)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของน้ำมันทานตะวัน คือ กรดโอเลอิก และ กรดลิโนเลอิก เป็นกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย มีบทบาทต่อการพัฒนาสมองของมนุษย์ กรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบหลักของเปลือกหุ้มเซลล์ประสาท ที่เรียกว่า myelin sheath ซึ่งเป็นชั้นไขมันสีขาวที่หุ้มเซลล์ประสาท myelin จะทำหน้าที่ปกป้องและป้องกันเซลล์ประสาทให้แยกจากกัน และเพิ่มความเร็วในการส่งผ่านสัญญาณจากสมอง ส่วนกรดลิโนเลอิกทำหน้าที่รักษาความยืดหยุ่นของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งสำคัญต่อการส่งผ่านและการแปลงสัญญาณของประสาท การรับประทานอาหารที่มีกรดไขมันดังกล่าวเป็นประจำจะเป็นผลดีต่อระบบประสาท กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้ง 2 ชนิด สามารถพบได้ในปลาทูนา ปลาซาร์ดีน ปลาแซลมอน ผลิตภัณฑ์นม ไข่ และน้ำมันพืช (Alton, 1996) น้ำมันทานตะวันจัดเป็นน้ำมันคุณภาพสูง เนื่องจากมีกรดกรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิกมากกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณกรดโอเลอิกและกรดลิโนเลอิกในน้ำมันชนิดต่าง ๆ

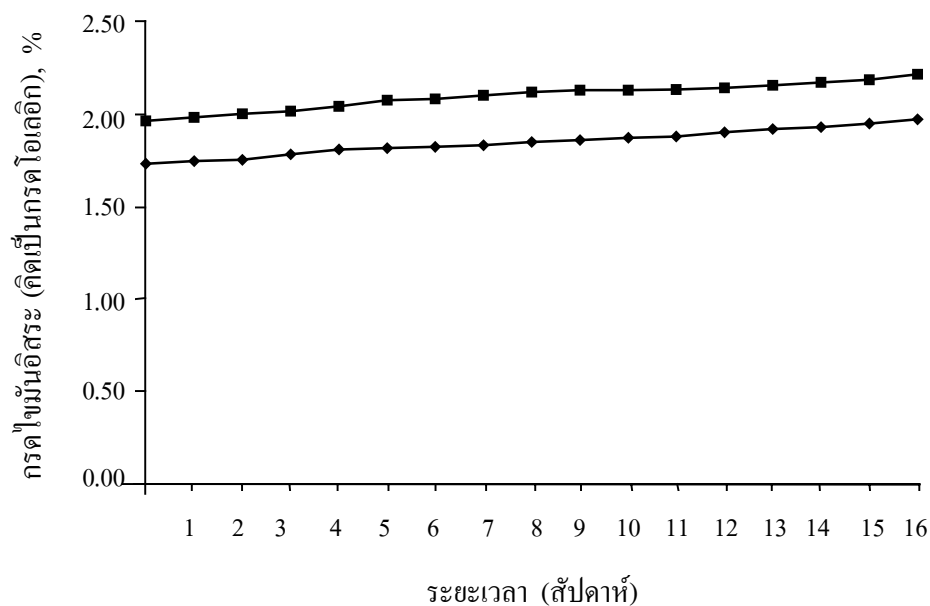
น้ำมันชนิดต่าง ๆ	ปริมาณกรดโอเลอิก (%)	ปริมาณกรดลิโนเลอิก (%)	รวม (%)
น้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการ ทอด (ใช้น้ำและเอนไซม์)	34.61	56.04	90.65
น้ำมันทานตะวันจากการบีบอัด (หจก. ฟลาวเวอร์ฟูด)	33.17	57.13	90.30
น้ำมันข้าวโพด*	27.5	57.0	84.5
น้ำมันมะกอก*	71.1	10.0	81.1
น้ำมันถั่วลิสง*	46.5	31.4	77.9
น้ำมันรำข้าว*	43.8	34.0	77.8
น้ำมันถั่วเหลือง*	23.4	53.2	76.6
น้ำมันปาล์ม*	38.8	9.4	48.2
น้ำมันเมล็ดเนื้อในปาล์ม*	13.7	2.0	15.7
น้ำมันมะพร้าว*	6.5	1.5	8

ที่มา: * หมายถึง White (1992)

5.2 ความคงทนต่อความหืนของน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ เปรียบเทียบกับน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด

การเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมัน นอกจากการตรวจวัดคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์แล้ว การตรวจวัดความคงทนต่อการหืนก็มีความสำคัญเช่นกัน เพราะน้ำมันที่เกิดการหืนเร็วย่อมไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เมื่อเปรียบเทียบความคงตัวต่อการหืนของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการใช้น้ำและเอนไซม์ และกระบวนการบีบอัด ใช้เครื่องวิเคราะห์ความหืนแบบเร่ง (Rancimat 679) (AOCS, 1998) พร้อมเก็บรักษาน้ำมันที่อุณหภูมิห้อง นาน 16 สัปดาห์ และนำมาตรวจวัดค่ากรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ทุกสัปดาห์ จากการตรวจสอบการหืนแบบเร่งของน้ำมันโดยใช้วิธี rancimat 679 ที่อุณหภูมิ 120°C พบว่าน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์มีความคงตัวต่อการหืน ดีกว่าน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด คือ มี induction time เท่ากับ 1.85 และ 1.65 ชั่วโมงตามลำดับ น้ำมันที่มีค่า induction time มากกว่าจะเกิดการหืนช้ากว่าน้ำมันที่มีค่า induction time น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าหากมีระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้น น้ำมันทานตะวันที่ได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์จะเกิดการหืนช้ากว่าน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด และสอดคล้องกับการตรวจค่ากรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ เมื่อเก็บรักษาน้ำมันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่าน้ำมันทานตะวันจากกระบวนการใช้น้ำและเอนไซม์ และกระบวนการบีบอัด มีค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้นเท่ากับ 1.74, 1.97 และมีค่าสุดท้ายเท่ากับ 1.98, 2.22 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้นของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด อยู่ในช่วงที่กำหนดของค่ามาตรฐาน (มอก. 47 - 2516) คือ ไม่เกิน 4.0 เมื่อใช้ระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้น น้ำมันทั้งสองชนิดมีอัตราการเพิ่มของค่ากรดไขมันอิสระเท่ากัน โดยสังเกตจากเส้นกราฟที่ขนานกัน คือ เพิ่มขึ้น 0.016%/สัปดาห์ แต่เนื่องจากน้ำมันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์มีค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้นที่ต่ำกว่า เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาเก็บรักษา 16 สัปดาห์ จึงพบว่าน้ำมันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่ได้จากการบีบอัด เนื่องจากมีค่ากรดไขมันอิสระต่ำกว่า คือ 1.98 และ 2.22 ตามลำดับ

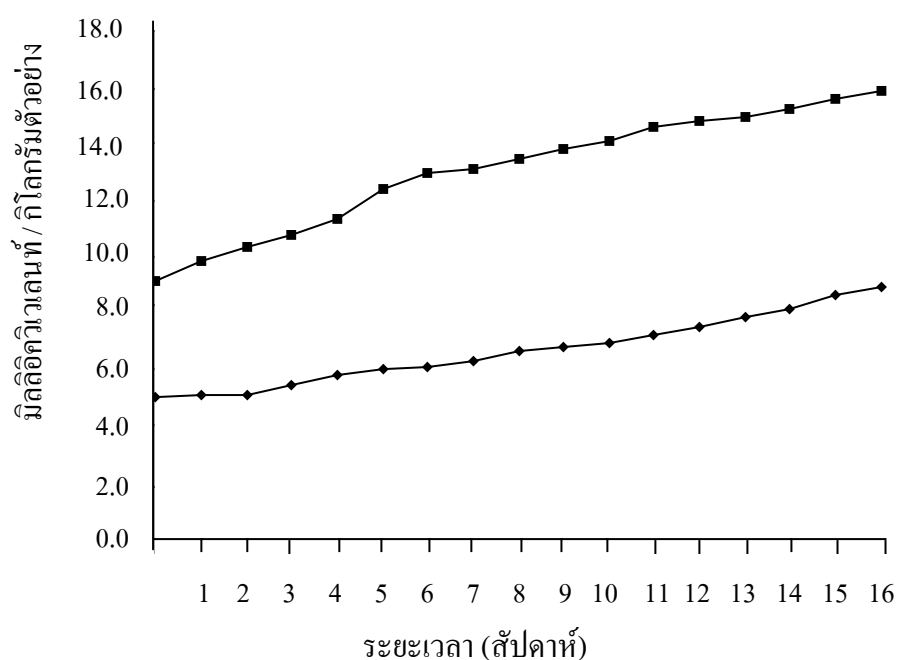


ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันทานตะวันจากกระบวนการใช้น้ำร่วมกับ เอนไซม์และกระบวนการบีบอัด เมื่อเก็บรักษาน้ำมันที่อุณหภูมิห้องนาน 16 สัปดาห์

- ◆ หมายถึง น้ำมันที่ได้จากกระบวนการใช้น้ำและเอนไซม์
- หมายถึง น้ำมันที่ได้จากกระบวนการบีบอัด

น้ำมันทานตะวันจากกระบวนการใช้น้ำและเอนไซม์ และกระบวนการบีบอัด มีค่าเปอร์ ออกไซด์เริ่มต้นเท่ากับ 5.06, 9.20 และมีค่าสุดท้ายเท่ากับ 8.98, 15.86 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 13 ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นของน้ำมันทั้ง 2 ชนิดอยู่ในช่วงที่กำหนดของค่ามาตรฐาน (มอก. 47 - 2516) คือ ไม่เกิน 10.0 เมื่อใช้ระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้น น้ำมันทั้งสองชนิดมีอัตราการเพิ่มของค่าเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน พบว่าในช่วงแรกของการเก็บรักษา (0 ถึง 5 สัปดาห์) น้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัดมีอัตราการเพิ่มของค่าเปอร์ออกไซด์ที่เร็วกว่า โดยสังเกตจากเส้นกราฟที่มีลักษณะที่ชันกว่า คือ เพิ่มจาก 9.20 เป็น 12.43 หรือเพิ่มขึ้น 0.646/สัปดาห์ แต่น้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีอัตราการเพิ่มของค่าเปอร์ออกไซด์ที่ช้ากว่า คือ เพิ่มจาก 5.06 เป็น 6.04 หรือเพิ่มขึ้น 0.200/สัปดาห์ แต่เมื่อเก็บรักษาน้ำมันมากกว่า 5 สัปดาห์ พบว่าน้ำมันทั้งสองชนิดมีอัตราการเพิ่มของค่าเปอร์ออกไซด์ใกล้เคียงกันโดยสังเกตจากเส้นกราฟที่ขนานกัน ในช่วงแรกของการเก็บรักษา (0 ถึง 5 สัปดาห์) น้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์มีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นช้ากว่า เพราะมีวิตามินอีมากกว่า คือ 128.21 และ 88.29 มิลลิกรัม /100 กรัม ตามลำดับ วิตามินอีจะทำหน้าที่ยับยั้งการหืน แต่เมื่อเก็บรักษานานกว่า 5 สัปดาห์ เห็นได้ว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน คือ เพิ่มขึ้น 0.286/สัปดาห์ เนื่อง

จากเป็นช่วงที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ค่าเปอร์ออกไซด์จึงเพิ่มขึ้นในอัตราที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้วิตามินอีที่มีอยู่อาจถูกทำลายไปบางส่วนเนื่องจากถูกแสง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง เนื่องจากน้ำมันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์มีค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นที่ต่ำกว่า เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาเก็บรักษา 16 สัปดาห์ น้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีค่าเปอร์ออกไซด์ 9.20 แต่น้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัดมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่า คือ 15.86 ทำให้สามารถบอกได้ว่าน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีคุณภาพดีกว่าน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด และมีแนวโน้มการเหม็นหืนช้ากว่า การเหม็นหืนของน้ำมันเกิดจากสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน แตกตัวเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ที่มีกลิ่นเหม็นหืน สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าเปอร์ออกไซด์ น้ำมันที่มีค่าเปอร์ออกไซด์มากกว่าย่อมเหม็นหืนกว่า น้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ช้ากว่าน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัดเมื่อเก็บรักษา 5 สัปดาห์แรก คือ 0.200/สัปดาห์ และ 0.646/สัปดาห์ ตามลำดับ จึงทำให้มีแนวโน้มเหม็นหืนช้ากว่า



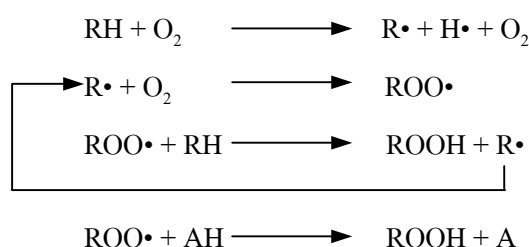
ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทานตะวันจากกระบวนการใช้น้ำร่วมกับเอนไซม์และกระบวนการบีบอัด เมื่อเก็บรักษาน้ำมันที่อุณหภูมิห้องนาน 16 สัปดาห์

- ♦ หมายถึง น้ำมันที่ได้จากกระบวนการใช้น้ำและเอนไซม์
- หมายถึง น้ำมันที่ได้จากกระบวนการบีบอัด

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด แสดงให้เห็นว่าคุณภาพเริ่มต้นของน้ำมันมีความสำคัญ ถ้าน้ำมันมีคุณภาพเริ่มต้นที่ดีเมื่อผ่านการเก็บรักษาที่นานขึ้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำมันช้ากว่า

จากการตรวจสอบการหืนแบบเร่งของน้ำมันโดยใช้วิธี rancimat 679 และการตรวจค่ากรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลง ของน้ำมันที่ได้จากการแยกโดยใช้น้ำและเอนไซม์ เปรียบเทียบกับน้ำมันที่ได้จากการบีบอัด พบว่าน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์เกิดการหืนช้ากว่าน้ำมันที่ได้จากการบีบอัด เนื่องจากมีวิตามินอี (α - tocopherol) ที่เป็นตัวต้านการหืนในปริมาณที่มากกว่าน้ำมันที่ได้จากการบีบอัด คือ 128.21 และ 88.29 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ตามลำดับ

น้ำมันที่มีปริมาณวิตามินอีสูงกว่าย่อมเกิดการหืนช้ากว่า เพราะมีวิตามินอีซึ่งเป็นตัวต้านการเกิดออกซิเดชัน (Schuler, 1990) โดยวิตามินอีจะป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ ดังแสดงในภาพที่ 14 การออกซิเดชันของน้ำมันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัว (RH) กับออกซิเจน โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ความร้อน และแสง (Hamiton, 1994) ได้เป็นอนุมูลอิสระของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ($R\cdot$) และอนุมูลอิสระของไฮโดรเจน ($H\cdot$) ซึ่งอนุมูลอิสระของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลเปอร์ออกซี ($ROO\cdot$) อนุมูลเปอร์ออกซีที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัว เกิดเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ($ROOH$) และอนุมูลอิสระของกรดไขมัน สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นสารที่ไม่คงตัว ทำให้สามารถแตกตัวเป็นอนุมูลของอัลคอกซี (alkoxy radical) ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารประกอบที่ทำให้กลิ่นหืน คือ อัลดีไฮด์ คีโตน อัลเคน และอัลกอฮอล์ (Ho *et al.*, 1996) ส่วนอนุมูลอิสระของกรดไขมันที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องได้อีก (Hamiton, 1994)



ภาพที่ 14 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันด้วยวิตามินอี
ที่มา: Halliwell and Gutteridge (1989)

แต่ปฏิกิริยานี้จะถูกยับยั้งได้ด้วยวิตามินอี (AH) โดยวิตามินอีจะไปจับกับออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยาและอนุมูลเปอร์ออกซีที่เกิดขึ้น ได้เป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระของวิตามินอี (A) จึงสามารถยับยั้งขั้นต่อเนื่องของปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ (Schuler, 1990) ดังนั้นน้ำมันที่มีปริมาณวิตามินอีมากกว่าย่อมยับยั้งการเกิดการออกซิเดชันได้ดีกว่า ทำให้น้ำมันที่ได้จากการแยกโดยใช้ไอน้ำและเอนไซม์ เกิดการหืนช้ากว่าน้ำมันที่ได้จากการบีบอัด แต่ปริมาณวิตามินอีที่มีอยู่จะลดลงเรื่อย ๆ เพราะวิตามินอีสามารถสลายตัวได้เมื่อถูกแสงแดด (Lucy, 1972) ดังนั้นสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยานี้ได้ด้วยการเก็บรักษาน้ำมันให้เหมาะสม อาจบรรจุโดยใช้เทคนิคดึงอากาศออก (vacuum) และสามารถเพิ่มความคงตัวได้ด้วยการเติมวัตถุกันหืนในปริมาณที่เหมาะสมลงในผลิตภัณฑ์ เช่น สารบีเอชเอ (butylated hydroxyanisole: BHA) หรือ สารบีเอชที (butylated hydroxytoluene: BHT) (Stauffer, 1996)

น้ำมันทานตะวันที่ได้จากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ย่อมมีคุณภาพน้ำมันแตกต่างกัน น้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์ และน้ำมันทานตะวันที่ได้จากการบีบอัด มีการเปลี่ยนแปลงของค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์เหมือนกัน คือ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น แต่น้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์มีค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นต่ำกว่า เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาเก็บรักษาจึงมีค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันทานตะวันที่แยกได้จากการบีบอัด เมื่อใช้ระยะเวลาตรวจสอบ 16 สัปดาห์ ซึ่งสอดคล้องกับค่า induction time ที่ได้จากการตรวจสอบการหืนแบบเร่งของน้ำมันโดยวิธี rancimat 679

แม้ว่าการผลิตน้ำมันจากการใช้น้ำและเอนไซม์ สามารถผลิตน้ำมันได้ไม่สูงนัก (ได้ผลผลิตน้ำมัน 61.82%) แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของน้ำมันที่ได้ เห็นได้ว่าน้ำมันที่ได้จากการใช้น้ำและเอนไซม์มีคุณภาพดีกว่า ดังนั้นนอกจากการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการบริโภคแล้ว ยังสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางได้ด้วย เช่น ลิทิบริตของอเมริกา เลขที่ 6,183,762 (Decker *et al.*, 2001) ที่นำน้ำมันที่ได้จากการใช้น้ำไปเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์บำรุงผิว ซึ่งหากมีการนำกระบวนการผลิตนี้ไปผลิตน้ำมันทางอุตสาหกรรม และนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์บำรุงผิว น้ำมันดังกล่าวย่อมมีราคาสูงกว่าน้ำมันที่ได้จากการผลิตวิธีอื่น ส่งผลให้คุ้มค่าต่อการลงทุน