ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ ในสาหร่ายเกลียวทอง

Effects of Drying Methods on Composition in Spirulina Platensis

ลักขณา เหล่าไพบูลย์ (Lakkana Laopaiboon)*
พัฒนา เหล่าไพบูลย์ (Pattana Laopaiboon) **
วิลัศนา โพธิ์ศรี (Wilatsana Posri)***

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของวิธีทำแห้งต่อปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ ในสาหร่ายเกลียวทอง โดยการทำแห้ง 3 วิธี คือ การทำแห้งโดยการตากแดด การทำแห้งโดยการพ่นฝอย และการทำแห้งโดยการแช่แข็ง พบว่าสาหร่ายเกลียวทองที่ผ่านการทำแห้งโดยการแช่แข็งมีปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไฟโคไซยานินสูงที่สุด คือมีปริมาณโปรตีน 50.13 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และมีประมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไฟโคไซยานินเท่ากับ 5.93, 2.35 และ 101.25 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รองลงมาคือ การทำแห้งโดยการพ่นฝอยและการทำแห้งโดยการตากแดด ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต กรดไขมันทั้งหมด เถ้า และเยื่อใยในสาหร่ายเกลียวทองที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 3 วิธีนี้ มีปริมาณไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Abstract

Effects of 3 different drying methods, sun drying, spray drying and freeze drying, on composition of Spirulina strain were studied. It was observed that freeze dried Spirulina contained the highest protein, chlorophyll, carotenoid, and phycocyanin content. The protein content was 50.13 % (D.W.) whereas the chlorophyll, carotenoid and phycocyanin content were 5.93, 2.35 and 101.25 mg/g (D.W.), respectively. Spray drying provided the higher components than sun drying. The carbohydrate, total fatty acid, ash, and fiber content were not significant at the 0.05 level in three drying methods.

คำสำคัญ : สาหร่ายเกลียวทอง วิธีการทำแห้ง
Keywords : Spirulina ; Drying methods

* *อาจารย์*
** *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
*** *อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

บทนำ

สาหร่ายเกลียวทองเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีความสำคัญทางการค้า เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง คือ มีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 50-70 ของน้ำหนักแห้ง มีไขมันต่ำ และยังเป็นแหล่งของวิตามินหลายชนิด นอกจากนี้ยังมีกรดไขมันที่จำเป็นคือ กรดแกมม่าลิโนลินิก โดยมีความสำคัญคือ เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์พรอสตาแกลนดิน (prostaglandin synthesis) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการควบคุมการสังเคราะห์คอเรสเตอรอล การอักเสบ การบวม และการงอกของเซลล์ (Richmond, 1987) นอกจากนี้สาหร่ายเกลียวทองยังมีรงควัตถุ (pigment) ที่สำคัญคือ คลอโรฟิลล์ ไฟโคไซยานิน และแคโรทีนอยด์ ทำให้มีการนำสาหร่ายเกลียวทองมาใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับมนุษย์ อาหารสัตว์ อาหารเพื่อเร่งสีในการเลี้ยงกุ้งอ่อน และปลาประเภทสวยงาม ปัจจุบันมีการสกัดไฟโคไซยานินเพื่อใช้เป็นสีผสมในอาหาร เช่น ผสมในไอศกรีม และเป็นสีธรรมชาติในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (Vonshak, 1990) เป็นต้น

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ของสาหร่ายเกลียวทองภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธีการทำแห้ง 3 วิธีคือ การทำให้แห้งโดยการตากแดด การทำแห้งโดยการพ่นฝอย และการทำแห้งโดยการแช่แข็ง

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. จุลินทรีย์และสภาวะในการเจริญ

สาหร่ายเกลียวทอง *Spirulina platensis* สายพันธุ์ BP จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเลี้ยงในอาหารซารุกค์ (Vonshak, 1993) ในโหลแก้วขนาด 8.5 ลิตร ปริมาตร 6.5 ลิตร โดยให้มีคลอโรฟิลล์เริ่มต้นประมาณ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เลี้ยงที่อุณหภูมิห้องให้แสงจากหลอดนีออนโดยมีความเข้มแสงประมาณ 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ให้อากาศโดยการใช้ปั๊มอากาศ (air pump) เพื่อให้สาหร่ายเป็นเนื้อเดียวกันไม่ตกตะกอน

การทดลอง

1. การเก็บเกี่ยวสาหร่ายเกลียวทอง

สาหร่ายเกลียวทองในโหลแก้วที่มีคลอโรฟิลล์ 11-13 มิลลิกรัมต่อลิตร นำมากรองโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) โดยสาหร่ายเกลียวทองที่กรองได้มีความชื้นประมาณร้อยละ 30 (โดยน้ำหนักแห้ง)

2. การทำให้สาหร่ายเกลียวทองแห้ง

สาหร่ายเกลียวทองที่กรองได้นำมาแบ่งเป็น 3 ส่วน จากนั้นนำไปทำให้แห้งโดยใช้วิธีต่างกัน 3 วิธีคือ การทำให้แห้งแบบตากแดด การทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบแช่แข็ง

3. การวิเคราะห์

สาหร่ายเกลียวทองที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 3 วิธีดังกล่าว นำมาวิเคราะห์

- ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Modified Lowry's method (Laboratory Document, 1996)
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด โดยวิธี Phenol sulfuric acid method (Meloan and Pomeranz, 1980)
- ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Laboratory Document, 1996)
- ปริมาณไฟโคไซยานิน (Laboratory Document, 1996)
- ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Laboratory Document, 1996)

- ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด โดยใช้แก๊สโครมาโตกราฟฟี (Laboratory Document, 1996)
- ปริมาณความชื้น (พัฒนา และอลิศรา, 2536)
- ปริมาณเถ้า (พัฒนา และอลิศรา , 2536)
- ปริมาณเยื่อใย (พัฒนา และอลิศรา , 2536)

ผลการทดลองและอภิปราย

ผลของวิธีการทำให้แห้งต่อองค์ประกอบต่าง ๆ ในสาหร่ายเกลียวทองแสดงดังตารางที่ 1

จากผลการทดลองพบว่าการทำแห้งมีผลต่อปริมาณโปรตีนในสาหร่ายเกลียวทอง โดยสาหร่ายเกลียวทองที่ผ่านการทำแห้งโดยการแช่แข็งจะมีปริมาณโปรตีนสูงสุดคือร้อยละ 50.13 โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมาได้แก่ การทำแห้งโดยการพ่นฝอย และการทำแห้งโดยการตากแดด ตามลำดับ สาเหตุเนื่องจากการทำแห้งโดยการตากแดดสาหร่ายได้รับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ทำให้โครงสร้างของโปรตีนถูกทำลาย เกิดการเสียสภาพอย่างถาวร (irreveresible denaturation) ปริมาณโปรตีนจึงสูญเสียไปมากที่สุด รองลงมาคือการทำแห้งโดยการพ่นฝอย ซึ่งใช้อุณหภูมิสูงกว่าการทำแห้งโดยการตากแดด แต่ใช้ระยะเวลาสั้น ๆ ในการทำแห้ง ปริมาณโปรตีนจึงสูญเสียไปน้อยกว่า ส่วนการทำแห้งโดยการแช่แข็งเป็นการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ปริมาณโปรตีนจึงสูงที่สุด ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายเกลียวทองที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธี พบว่ามีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือปริมาณความร้อนที่สาหร่ายเกลียวทองได้รับจากการทำแห้งโดยการตากแดด และการทำแห้งโดยการพ่นฝอยไม่มีผลต่อโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต

พิจารณาปริมาณรงควัตถุในสาหร่ายเกลียวทองที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่าง ๆ พบว่าสาหร่ายเกลียวทองที่ผ่านการทำแห้งโดยการแช่แข็ง และการทำแห้งโดยการพ่นฝอย จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่แตกต่างกันมากนัก คือมีปริมาณคลอโรฟิลล์ 5.93 และ 5.70 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายเกลียวทองที่ผ่านการทำแห้งโดยการตากแดดมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุด คือ 4.63 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง หรือมีปริมาณเหลือเพียง 78.08 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายเกลียวทองที่ทำแห้งโดยการแช่แข็ง เนื่องจากคลอโรฟิลล์ขณะที่ผ่านกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ 2 สาเหตุใหญ่ ๆ (Eskin, 1990) คือ

1. การทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase ซึ่งจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่ไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส โดยจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ phytol หลุดออกจาก chlorophyll ได้เป็น chlorophyllide และ phytol โดย chlorophyllide ที่ได้จะทนต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้น้อยกว่า chlorophyll

2. การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากกรด (Acid hydrolysis) โดยปรกติเซลล์พืชเมื่อได้รับความร้อนจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ เช่น acetic acid และ pyrolidone carboxilic acid เป็นต้น กรดนี้จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยจะไปแทนที่ Mg^{+} ด้วย H^{+} ทำให้ chlorophyll เปลี่ยนเป็น pheophytin ซึ่งมีสีเขียวเหลือง (Lajallo และ Lanfer, 1982)

นอกจากนี้แล้วคลอโรฟิลล์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีน (chlorophyll-protein complex) โปรตีนที่ติดอยู่กับคลอโรฟิลล์จะช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เนื่องจากกรดและเอนไซม์ได้ แต่เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนจะเกิดการเสียสภาพ (denature) ทำให้คลอโรฟิลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ดังที่กล่าวข้างต้น

ปริมาณไฟโคไซยานินในสาหร่ายเกลียวทองจะมีค่าสูงสุดเมื่อทำแห้งโดยการแช่แข็ง รองลงมาได้แก่ การทำแห้งโดยการพ่นฝอย และการทำแห้งโดยการตากแดดตามลำดับ สาเหตุเนื่องจากไฟโคไซยานินประกอบด้วยโปรตีนจับอยู่กับโครโมฟอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่ดูดกลืนแสง เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนเป็นเวลานานจะเกิดการเสียสภาพ (denature) การที่โปรตีนเสียสภาพหรือถูกทำลายไป อาจมีผลต่อพันธะระหว่างโปรตีนกับโครโมฟอร์ เป็นผลให้การดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตรเปลี่ยนแปลงไป (จิราพร,2538) ปริมาณไฟโคไซยานินที่วัดได้จึงลดลง ทำให้ไฟโคไซยานินมีปริมาณน้อยที่สุดในการทำแห้งโดยการตากแดด ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน สาเหตุเนื่องจากแคโรทีนอยด์ซึ่งอยู่ที่ไทลาคอยด์-เมมเบรน ในบริเวณใกล้ๆ กับคลอโรฟิลล์ โดยทำหน้าที่ดูดพลังงานแสงแล้วส่งพลังงานต่อไปให้คลอโรฟิลล์จะถูกทำลายได้ เนื่องจากได้รับความร้อนและความเข้มแสงสูงเกินไป ดังนั้นการตากแดดจึงทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยที่สุดในการทำแห้งทั้ง 3 วิธี

จากการทดลองพบว่ากรดไขมันที่พบในสาหร่ายเกลียวทอง คือ กรดปาล์มิติก (C 16:0) กรดปาล์มิโตลิอิก (C 16:1) กรดสเตียร์ริก (C 18:0) กรดโอลิอิก (C 18:1) กรดลิโนลิอิก (C 18:2) และกรดแกมม่าลิโนลินิก (C 18:3) (ตารางที่ 2) พบว่าการทำแห้งทั้ง 3 วิธี จะมีปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (total fatty acid, TFA) ใกล้เคียงกัน แสดงว่ากระบวนการที่ใช้ทำแห้งใน 3 วิธีนี้ ไม่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันทั้งหมด

ปริมาณเถ้าและเยื่อใยในสาหร่ายเกลียวทองเมื่อผ่านการทำแห้งโดยการแช่แข็ง การทำแห้งโดยการพ่นฝอย และการทำแห้งโดยการตากแดด พบว่ามีปริมาณไม่แตกต่างกันมากนัก คือมีปริมาณเถ้า 7.06, 6.98 และ 7.35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ ส่วนปริมาณเยื่อใย จากการทำแห้งทั้ง 3 วิธี มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.50-0.56 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง การที่กระบวนการทำแห้งทั้ง 3 วิธี ไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าและเยื่อใย เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่ทนความร้อนได้สูง และความร้อนที่สาหร่ายเกลียวทองได้รับในกระบวนการทำแห้งโดยการพ่นฝอย และโดยการตากแดด ยังต่ำเกินกว่าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขององค์ประกอบดังกล่าว

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การทำแห้งโดยวิธีต่างๆ กัน คือ การทำแห้งโดยการพ่นฝอย การทำแห้งโดยการตากแดด และการทำแห้งโดยการแช่แข็ง มีผลต่อปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์ ไฟโคไซยานิน และแคโรทีนอยด์ ในสาหร่ายเกลียวทอง โดยสาหร่ายเกลียวทองที่ผ่านการทำแห้งโดยการแช่แข็งมีปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์ ไฟโคไซยานิน และแคโรทีนอยด์สูงที่สุด รองลงมาคือการทำแห้งโดยการพ่นฝอย ส่วนสาหร่ายเกลียวทองที่ผ่านการทำแห้งโดยการตากแดดจะมีปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ต่ำที่สุด

ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต กรดไขมันทั้งหมด (TFA) เถ้า และเยื่อใย ในสาหร่ายเกลียวทองที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธี พบว่ามีปริมาณไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จะเห็นว่าวิธีการทำแห้งมีผลต่อองค์ประกอบที่สำคัญหรือคุณค่าทางโภชนาในสาหร่ายเกลียวทองการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีผลต่อปริมาณโปรตีนและรงควัตถุต่าง ๆ ดังนั้นในการผลิตสาหร่ายเกลียวทองการจึงต้องเลือกวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ นอกจากนี้แล้วยังต้องคำนึง

ถึงต้นทุนของเครื่องมือ และความต้องการพลังงาน (energy requirement) ควบคู่ไปด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. การทำแห้งสาหร่ายเกลียวทองโดยการแช่แข็งเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการสูญเสียคุณภาพหรือคุณค่าทางอาหารจึงมีน้อยกว่าการทำแห้งโดยการพ่นฝอยและการทำแห้งโดยการตากแดดที่มีการใช้อุณหภูมิสูงหรือได้รับความร้อนเป็นเวลานาน สาหร่ายเกลียวทองที่ผ่านการทำแห้งโดยการแช่แข็งจึงเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมของมนุษย์ หรือนำไปสกัดรงควัตถุไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง แต่มีข้อเสียคือเครื่องมือที่ใช้มีราคาแพง และวิธีการค่อนข้างยุ่งยากกว่าวิธีอื่น และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนาน

2. การทำแห้งสาหร่ายเกลียวทองโดยการตากแดด เป็นวิธีที่ใช้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยที่สุด แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ค่อยบริสุทธิ์และองค์ประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญในสาหร่ายเกลียวทองจะมีปริมาณน้อยกว่าสาหร่ายเกลียวทองที่ทำแห้งโดยวิธีอื่น ๆ ดังนั้นสาหร่ายเกลียวทองที่ได้นี้จึงเหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมสำหรับสัตว์ นอกจากนี้แล้วปัญหาในการทำแห้งโดยการตากแดดคือ ในการทำแห้งโดยการตากแดดควรเสร็จสิ้นภายใน 1 วัน (ความชื้นของสาหร่ายเกลียวทองไม่ควรเกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแห้ง) มิฉะนั้นแล้วองค์ประกอบที่สำคัญ เช่น โปรตีนและวิตามินจะถูกทำลายไปมาก และมีปัญหาเรื่องกลิ่นเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์

3. การทำแห้งสาหร่ายเกลียวทองโดยการพ่นฝอยที่ใช้เครื่อง mini spray dryer จะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของผลิตภัณฑ์สูงมาก จึงไม่เหมาะกับการทำแห้งสาหร่ายเกลียวทองในระดับห้องปฏิบัติการ ข้อดีในการทำแห้งโดยการพ่นฝอยคือ ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงละเอียดเหมาะที่จะนำไปบริโภคหรือผสมในอาหารเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารเสริม ในขณะที่การทำแห้งโดยการตากแดด และการทำแห้งโดยการแช่แข็งต้องใช้แรงงานคนในการเอาผลิตภัณฑ์แห้งออกจากภาชนะ และลักษณะสาหร่ายเกลียวทองแห้งที่ได้ไม่เป็นเนื้อเดียว มีขนาดแตกต่างกันไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการแห่งชาติประจำปีงบประมาณ 2540 คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณสายวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น และคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ส่วนหนึ่ง และขอขอบคุณนายเอกพล อุดมมงคลกิจ และนายอภิชาติ ภูลมผา นักศึกษาภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

จิราพร ภู่ศรี. 2538. **การสกัดไฟโคไซยานินจากสาหร่ายเกลียวทองเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพ และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พัฒนา เหล่าไพบูลย์ และ อลิศรา ศรีวัฒนา, 2536. **วิธีวิเคราะห์สำหรับงานปฏิบัติการ ในกระบวนวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ.** ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Eskin, N. A. 1990. **Biochemistry of Food.** New York : Academic Press.

Laboratory Document. 1996. **A Regional Workshop on Mass Cultivation of Microalgae.** Bangkok : King Mongkut Institute of Technology Thonburi, 25-28 March.

Lajollo, F. M. and Lanfer, M. U. M. 1982. Chlorophyll Degradation in Spinach System at Low and Intermediate Water Activity. **J. Food Science.** 36 : 850.

Montgomery, D. C. 1984. Design and **Analysis of Experiments.** 3rd ed. New York.: John Wiley & Sons.

Meloan, C.E. and Pomeranz, Y. 1980. **Food Analysis Laboratory Experiments.** Westport, Conn. : Avi Publishing.Vonshak, A. 1990. Recent Advances in Microalgal Biotechnology. Biotech. Adv. 3 : 709-727.

Vonshak, A. 1993. Microalgae : Laboratory Growth Techniques and Biotechnology of Biomass Production. **In Photo Synthesis and Production in a Changing Environment : A Filed and Laboratory Manual,** pp. 337-354. Edited by Hall, D.O. ; et. al. London : Chapman & Hall Pub.

ตารางที่ 1 ปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ ในสาหร่ายเกลียวทองที่ได้จากการทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ

ปริมาณองค์ประกอบ	วิธีการทำแห้ง		
	การตากแดด	การพ่นฝอย	การแช่แข็ง
โปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	39.57 (78.93)	45.33 (90.42)	50.13 (100)
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	14.93 (97.84)	15.29 (100.20)	15.26 (100)
คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	4.63 (78.08)	5.70 (96.12)	5.93 (100)
ไฟโคไซยานิน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	88.22 (87.13)	94.90 (93.73)	101.25 (100)
แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	1.37 (58.30)	2.16 (91.91)	2.35 (100)
กรดไขมันทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	5.37 (104.47)	5.37 (104.47)	5.14 (100)
เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	7.35 (104.11)	6.98 (98.87)	7.06 (100)
เยื่อใย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	0.56 (103.70)	0.50 (92.59)	0.54 (100)

หมายเหตุ

1) *ตัวเลขในวงเล็บคือปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ คิดเป็นร้อยละของปริมาณองค์ประกอบนั้น ๆ ในสาหร่ายเกลียวทองที่ได้จากการทำแห้งโดยการแช่แข็ง*

2) *ข้อมูลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ และหาความแตกต่างของปริมาณองค์ประกอบของสาหร่ายเกลียวทองในการทำแห้งในแต่ละวิธีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Montgomery, 1984)*

ตารางที่ 2 องค์ประกอบต่าง ๆ ของกรดไขมันในสาหร่ายเกลียวทอง เมื่อทำแห้งโดยวิธีต่าง ๆ

วิธีการทำแห้ง	องค์ประกอบของกรดไขมัน (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)					
	C 16:0	C 16:1	C 18:0	C 18:1	C 18:2	C 18:03
การตากแดด	47.62	4.72	1.11	24.30	8.66	13.59
การพ่นฝอย	45.28	5.04	1.53	22.18	9.82	16.16
การแช่แข็ง	46.19	5.58	0.97	21.79	9.72	15.74

หมายเหตุ

C16:0 คือ กรดปาล์มิติก *C16:1 คือ กรดปาล์มิโตลิอิก*

C18:0 คือ กรดเสตียร์ริก *C18:1 คือ กรดโอลิอิก*

C18:2 คือ กรดลิโนลิอิก *C18:3 คือ กรดแกมม่าลิโนลินิก*