



วารสารแก่นเกษตร

# Khon Kaen Agriculture Journal SUPPL. Agricultural Conference

Journal Home Page : <https://ag2.kku.ac.th/kaj>

JOURNAL  
KAJ

## การประเมินองค์ประกอบทางโภชนาการของผลผลิตพลอยได้จากการสกัดพอลิไฮดรอกซีบิวทีเรตจาก *Arthrospira platensis*

### Evaluation of the nutritional composition of polyhydroxybutyrate extraction by-product from *Arthrospira platensis*

ฉันทชานอก ดวงศรี<sup>1\*</sup>, อุเทน พรหมอริยะ<sup>2</sup>, เสกข์บุญกร ตรีนารัตน์<sup>2</sup>, ออมทรัพย์ ดวงศรี<sup>3</sup>, ทิวารัตน์ เพ็งนำคำ<sup>3</sup>, สุริยา แก้วทอง<sup>1</sup>, พีรพล ส้มทอง<sup>1</sup>, ทศนีย์ ชัยตัน<sup>1</sup>, สนทยา มุลศรีแก้ว<sup>1</sup>, วีรพงษ์ ใจชาญสุขกิจ<sup>1</sup> และ วุฒินันท์ รักษาจิตร<sup>2</sup>

Chanchanok Duangsri<sup>1\*</sup>, Authen Promariya<sup>2</sup>, Sakbunkorn Treenarat<sup>2</sup>, Ormsap Duangsri<sup>3</sup>, Tiwarat Pengnakam<sup>3</sup>, Suriya Kaekong<sup>1</sup>, Perapol Somtong<sup>1</sup>, Tassanee Chaiton<sup>1</sup>, Sonthaya Moonsrikeaw<sup>1</sup>, Teerapong Jaichansukkit<sup>1</sup> and Wuttinun Raksajit<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พระนครศรีอยุธยา 13000

<sup>2</sup> Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya, 13000, Thailand

<sup>3</sup> โปรแกรมเทคโนโลยีสุขภาพสัตว์ คณะเทคนิคการสัตวแพทย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>2</sup> Program of Animal Health Technology, Faculty of Veterinary Technology, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

<sup>3</sup> กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ นนทบุรี 11000

<sup>3</sup> Learning Area of Science and Technology, Triamudomsuksapattanakarn Nonthaburi School 11000, Thailand

**บทคัดย่อ:** ไซยาโนแบคทีเรีย *Arthrospira platensis* ได้รับความสนใจทางการค้าเป็นอย่างมาก โดยเป็นสารเสริมในอาหารสัตว์ เนื่องจากมีระดับโปรตีนเทียบได้กับที่พบในเนื้อสัตว์และถั่วเหลือง ดังนั้นจึงถือได้ว่า *A. platensis* เป็นส่วนผสมที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอต่อความจำเป็นในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ผลผลิตพลอยได้จากการกระบวนการสกัดพอลิไฮดรอกซีบิวทีเรต (พีเอชบี) ยังคงมีปริมาณโปรตีนคงเหลือสูง ดังนั้นการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินองค์ประกอบทางโภชนาการของ *A. platensis* ก่อนและหลังการสกัดพีเอชบีและประเมินคุณภาพของผลผลิตพลอยได้จากการกระบวนการสกัดพีเอชบีจาก *A. platensis* รวมถึงการประเมินปริมาณโปรตีนทั้งหมด ปริมาณไขมันและการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร ซึ่งพบว่าปริมาณโปรตีนของผลผลิตพลอยได้จากการกระบวนการสกัดพีเอชบีจาก *A. platensis* มีปริมาณ 42% นอกจากนี้มีปริมาณค่าไขมันรวม ค่าเถ้ารวม และปริมาณความชื้นคือ 0.28%, 20.37%, 7.77% ตามลำดับ การวิจัยได้นำเสนอโปรตีนที่เป็นผลผลิตพลอยได้จากการสกัดพีเอชบีสามารถนำไปใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์ได้  
**คำสำคัญ:** *Arthrospira platensis*; องค์ประกอบทางโภชนาการ; ปริมาณโปรตีน; พีเอชบี

**ABSTRACT:** The cyanobacterium *Arthrospira platensis* has attracted significant commercial interest as a feed supplement due to its protein levels that are comparable to those found in meat and soybeans. Thus, it can be considered an adequate ingredient to supply the necessity of this compound in the feed industry. The by-product of the polyhydroxybutyrate (PHB) extraction process still retains a high protein content. This research aimed to evaluate *A. platensis* nutritional composition before and after PHB extraction. The quality assessment of the *A. platensis* by-product included evaluating its total protein content, lipid content, and proximate composition. The protein content of *A. platensis* by-product was found to be 42%. Additionally, the total lipid value, total ash value, and moisture content were determined to be 0.28%, 20.37%, 7.77%, respectively. The research recommends a refining procedure to extract a protein by-product that could potentially be used as feed supplement.

**Keywords:** *Arthrospira platensis*; nutritional composition; protein content; PHB

\* Corresponding author: [chanchanok.d@rmutsb.ac.th](mailto:chanchanok.d@rmutsb.ac.th)

## บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์ ถือเป็นอุตสาหกรรมหลักที่ได้รับความนิยมอย่างมากในประเทศไทย เนื่องจากในประเทศไทยมีการทำฟาร์มปศุสัตว์เป็นจำนวนมาก โดยการผลิตอาหารสัตว์นั้นใช้วัตถุดิบหลายอย่างเพื่อให้ได้ค่าโภชนาที่เหมาะสม เช่น กากถั่วเหลือง ข้าวโพด รำ ปลาป่นและกระดูกป่น เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดต้องนำเข้าและมีราคาที่สูง ดังนั้นการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและราคาถูก จึงเป็นทางเลือกที่สำคัญสำหรับการผลิตอาหารสัตว์และลดต้นทุนสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์ในงานปศุสัตว์ ไชยาโนแบคทีเรียมอริโทรสไปรา ฟลาเทนซิส (*Arthrospira platensis*) หรือมีชื่อทางการค้าว่า สไปรูลิน่า (*Spirulina*) โดย *A. platensis* สามารถเพาะเลี้ยงได้ง่ายในครัวเรือน เนื่องจากการเพาะเลี้ยงไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถเจริญเติบโตและสังเคราะห์สารอาหารเองได้ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและยังเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง (Kumari et al., 2023) *A. platensis* มีความปลอดภัยในการบริโภค เนื่องจากไม่ผลิตสารพิษและปนเปื้อนจุลชีพชนิดอื่น เจริญเติบโตในความเป็นด่างสูง (pH 9-11) นอกจากนี้ *A. platensis* ยังมีองค์ประกอบของสารอาหารในปริมาณสูง เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดอะมิโนจำเป็นอย่างอื่น (Saharan and Jood, 2017) รวมไปถึงการสร้างและสะสมไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากใน *A. platensis* และทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระและเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้ชีวมวลของ *A. platensis* ปริมาณ 1% เป็นสารอาหารเสริมในปลาสามารถช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันของปลาชนิดได้และยังสามารถป้องกันการติดเชื้อ *Pseudomonas fluorescens* (Mahmoud et al., 2018) ยังมีการศึกษาว่า *A. platensis* สามารถใช้แทนปลาป่นในเพื่อเป็นอาหารของปลาเรนโบว์เทราต์ (*Oncorhynchus mykiss*) และไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของปลาและสวัสดิภาพสัตว์ (Miebach et al., 2023) นอกจากนี้ *A. platensis* ยังสามารถผลิตพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิไฮดรอกซีบีวทีเรต (พีเอชบี) ในสภาวะที่ขาดแหล่งไนโตรเจนหรือฟอสเฟตและมีแหล่งคาร์บอนที่มากเกินไป โดยพีเอชบีมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับพอลิโพรพิลีน (Duangsri et al., 2020) และมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นพิษจึงเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อคนและสัตว์ได้ดี จึงสามารถพัฒนาไปใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์และอวัยวะเทียม ในปัจจุบันพบว่าพลาสติกชีวภาพถูกใช้แทนพลาสติกจากปิโตรเลียมเป็นจำนวนมาก เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติและมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ใกล้เคียงกับพลาสติกจากปิโตรเลียม ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้มีอัตราการเติบโตของตลาดพลาสติกชีวภาพที่สูงขึ้น โดยพีเอชบีจะถูกสกัดออกจากชีวมวลแห้ง จึงทำให้เกิดชีวมวลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดพลาสติกชีวภาพเป็นจำนวนมาก (50-80%) ซึ่งเป็นการสกัดลิพิดออกจากเซลล์ อาจเป็นไปได้ว่าคุณค่าทางโภชนาการประเภทอื่นอย่างเช่น โปรตีน อาจจะถูกสะสมภายในชีวมวลนี้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินองค์ประกอบทางโภชนาการของ *A. platensis* ก่อนและหลังการสกัดพลาสติกชีวภาพพีเอชบี เพื่อการประเมินคุณภาพของผลพลอยได้ชีวมวลจาก *A. platensis* ไม่ว่าจะเป็นปริมาณโปรตีนทั้งหมด ปริมาณไขมันและองค์ประกอบอื่นๆ เพื่อใช้เป็นสารเสริมทางเลือกในอาหารสัตว์ต่อไป

## วิธีการศึกษา

### การเพาะเลี้ยง *A. platensis* และการผลิตพลาสติกชีวภาพพีเอชบี

*A. platensis* ถูกเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk มาตรฐาน โดยมี Optical density ( $OD_{730}$ ) เริ่มต้นที่ 0.1 และเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 7 วัน ภายใต้ความเข้มแสงขาวที่  $40 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  อุณหภูมิห้อง  $30 \pm 2^\circ\text{C}$  เขย่าด้วยความเร็ว 120 rpm จากนั้นทำการกรองเซลล์และล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่น (DI water) จากนั้นเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ที่ไม่เติมไนเตรต ( $\text{NaNO}_3$ ) และเติม 0.5% โซเดียมอะซิเตตเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนให้แก่เซลล์ เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดการผลิตพีเอชบี จากนั้นเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงขาวที่  $40 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  อุณหภูมิห้อง  $30 \pm 2^\circ\text{C}$  เขย่าด้วยความเร็ว 120 rpm ระยะเวลา 48 ชั่วโมง (Duangsri et al., 2020) และทำการกรองเก็บเซลล์แห้งและนำไปอบที่อุณหภูมิ  $80^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการสกัดพีเอชบี

### การสกัดพลาสติกชีวภาพพีเอชบีจากชีวมวลแห้งจาก *A. platensis*

นำเซลล์แห้งของ *A. platensis* เติมน้ำ 99.9% เมทานอล ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) ลงบนเซลล์แห้งของ *A. platensis* เพื่อเป็นการสกัดคลอโรฟิลล์ออกจากนั้นบ่มภายใต้อุณหภูมิ  $4^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำซ้ำทั้งหมด 3 รอบหรือจนกว่าเมทานอลจะใสและมีสีเขียวลดลง

จากนั้นกรองแยกเมทานอลออกจากเซลล์แห้ง และทำการเติมคลอโรฟอร์ม ( $\text{CHCl}_3$ ) ลงบนเซลล์แห้ง ต้มที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  ภายใต้ตู้ดูดควัน (Fume hood) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรองแยกชีวมวลออกจากคลอโรฟอร์มโดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ทำซ้ำขั้นตอนนี้อีก 1-2 รอบ เพื่อให้มั่นใจว่าสกัดพีเอชบีออกมาได้ทั้งหมด จากนั้นทำการระเหยคลอโรฟอร์ม ออกจากชีวมวลต่อเป็นเวลา 3 วัน (Duangsri et al., 2020) โดยการศึกษาเปรียบเทียบกับสารอาหารจากชีวมวลของ *A. platensis* ชุดการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกคือเซลล์ที่ไม่ผ่านการสกัดพีเอชบี (กลุ่มควบคุม) และกลุ่มสองเซลล์ที่ผ่านการสกัดพีเอชบี จากนั้นนำเซลล์ทั้งสองกลุ่ม วิเคราะห์องค์ประกอบของสารอาหารด้วยวิธีพรอกซิเมต (Proximate analysis)

#### การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธี Proximate

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสกัดพีเอชบีและกลุ่มควบคุม ประกอบด้วย การวิเคราะห์เถ้า ทั้งหมดที่อุณหภูมิ  $550-600^\circ\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง ค่าวัตถุแห้ง (Dry matter) ด้วยวิธีการอบด้วยตู้อบชนิด hot-air ที่อุณหภูมิ  $135^\circ\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมงการหาปริมาณโปรตีนรวม (Crude protein) ด้วยการหา เเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl จากนั้นคูณด้วยแฟคเตอร์ 6.25 และการหาปริมาณไขมัน โดยใช้อีเทอร์เอ็กแทรคต์ (Ether extract) (AOAC, 2016) และใช้การวิเคราะห์ สถิติแบบเชิงพรรณนา

#### การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีในผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสกัดพีเอชบีด้วย FTIR

เตรียมตัวอย่างก่อนนำมาวิเคราะห์โดยการนำชีวมวลจาก *A. platensis* ปริมาณ 2 มิลลิกรัม ผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) 100 มิลลิกรัม จากนั้นบดผสมให้เข้ากันและวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Fourier-Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ในช่วง IR  $4,000-400\text{ cm}^{-1}$

#### ผลการศึกษาและวิจารณ์

##### ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสกัดพีเอชบีเทียบกับกลุ่มควบคุม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า ผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสกัดพีเอชบีที่มีปริมาณวัตถุแห้งและปริมาณ ความชื้นคือ 94.33% และ 7.77% ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุม มีค่าปริมาณวัตถุแห้งและปริมาณความชื้น คือ 98.15% และ 1.85% (Table 1) ส่วนปริมาณเถ้าทั้งหมดของผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสกัดพีเอชบีและกลุ่มควบคุมมีปริมาณค่อนข้างสูงคือ 20.37% และ 35.25% โดยเถ้ามีองค์ประกอบของแร่ธาตุเป็นจำนวนมาก เช่น Cu, Mn, Zn, Ca, Mg, K, Fe, P และ B (Rahim et al., 2021; Peñalver et al., 2024) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาว่า *A. platensis* ปริมาณ 100 กรัม มีปริมาณแคลเซียม 620.80 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 790 มิลลิกรัม และแมกนีเซียม 285.90 มิลลิกรัม เป็นต้น (Saharan et al., 2017) ซึ่งสอดคล้องกับพีคของผล FTIR ตาม รายงานของ Yushin et al. (2022) ที่ตำแหน่ง  $900-500\text{ cm}^{-1}$  แสดงหมู่ P-O และ S-O ของผลผลิตพลอยได้จาก กระบวนการสกัดพีเอชบี ส่วนปริมาณ crude protein ของกลุ่มควบคุมมีปริมาณ 47% โดยปกติ *A. platensis* จะมีปริมาณโปรตีน สะสมอยู่ที่ 60-70% (Benelhadj et al., 2023) แต่ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ปริมาณโปรตีนก่อนกระบวนการสกัดพีเอชบีมีเพียง 47% แตกต่างกันถึง 1.2-1.5 เท่า เนื่องจากสภาวะที่ใช้เลี้ยงเป็นสภาวะขาดไนโตรเจน เม็ดสีต่างๆรวมไปถึงไฟโคบิลิโปรตีน ภายในเซลล์จะถูกละลายและเปลี่ยนเป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับเซลล์ ส่งผลให้เซลล์มีสีจากเขียวเป็นสีเหลือง (Duangsri et al., 2020) จึงส่งผลให้ ปริมาณโปรตีนลดลง ส่วนผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสกัดพีเอชบี มีปริมาณ crude protein 42% และซึ่งแตกต่างกันเพียง 0.05 กรัม (ต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม) หรือคิดเป็น 5% เท่านั้น อาจเป็นเพราะโปรตีนส่วนใหญ่ของ *A. platensis* เป็น Phycobiliproteins ที่มี คุณสมบัติเป็น water-soluble biliproteins จึงทำให้โปรตีนส่วนใหญ่ไม่ถูกชะออกในขั้นตอนการสกัดพีเอชบีที่ใช้เมทานอลและ คลอโรฟอร์มเป็นตัวสกัด (Chen et al., 2022) ส่วนปริมาณของ crude protein 0.05 กรัม ที่สูญเสียหลังการสกัด อาจเป็นไปได้ว่ามี โปรตีนบางประเภทที่สามารถละลายได้ในคลอโรฟอร์มเช่น membrane protein, hydrophobic protein และจำพวกโปรตีนขนาดเล็ก ซึ่งเคยมีรายงานในการศึกษาก่อนหน้านี้ว่า มีโปรตีนจำพวก membrane mini-protein ใน *E. coli* สามารถละลายได้ใน คลอโรฟอร์ม (Guan et al., 2011) จากการศึกษพบว่าผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสกัดพีเอชบีที่มีปริมาณ crude protein ใกล้เคียง กับปริมาณ crude protein ของกากถั่วเหลือง (42-51%) ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งโปรตีนหรือสารเสริมในอาหารสัตว์ที่น่าสนใจ (Thakur and

Hurburgh, 2007) และปริมาณไขมันในการศึกษาครั้งนี้พบว่า *A. platensis* ก่อนสกัดพีเอชบีมีปริมาณไขมันเพียง 1.36% ซึ่งปริมาณไขมันของ *A. platensis* จะมีปริมาณ 1-12% แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับกระบวนการสกัดไขมันและกระบวนการเลี้ยง ตลอดจนอาหารและสภาวะที่ใช้เลี้ยง (Raczyk et al., 2022) ส่วนผลพลอยได้จากการสกัดพีเอชบีมีปริมาณไขมันเหลือ 0.28 % ซึ่งน้อยลงถึง 4.8 เท่า โดยไขมันที่เหลืออยู่อาจจะเป็นกลุ่มของ hydrophilic เช่น glycerolipids ซึ่งเป็นส่วนของ inner membranes และ thylakoid membranes อย่างไรก็ตามองค์ประกอบทางเคมีของ *A. platensis* ยังขึ้นอยู่กับสภาวะการเลี้ยง เช่น ปริมาณสารอาหาร พื้นที่ทางภูมิศาสตร์ ปี ฤดูกาล และสภาพแวดล้อม ตลอดจนขั้นตอนหรือกระบวนการเลี้ยงล้วนแต่ส่งผลให้ค่าโภชนะมีความแตกต่างกัน (Taiti et al., 2024)

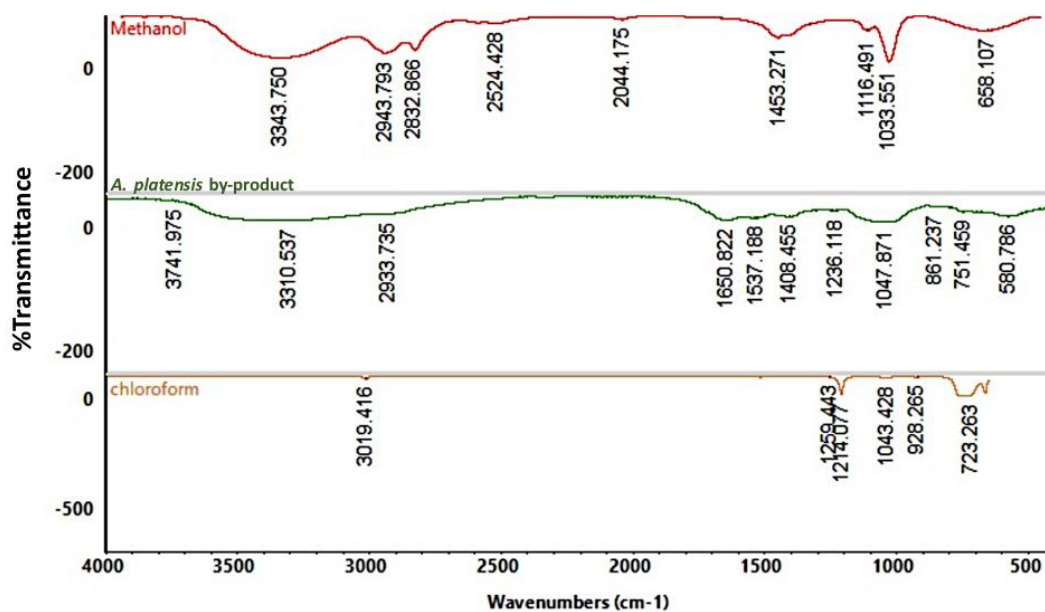
**Table 1** Proximate analysis of *A. platensis* by-product and control

Parameters	By-Product	Control
Ash <sup>1</sup>	20.37 ±0.146	35.25 ±0.69
Dry matter <sup>1</sup>	94.33 ±1.47	98.15 ±0.063
Moisture <sup>1</sup>	7.77 ±1.47	1.85 ±0.063
Protein <sup>1,2</sup>	42 ±1.3	47 ±0.74
Fat <sup>1</sup>	0.28 ±0.005	1.36 ±0.3

Data are means ± standard deviation of three (n=3) replicates; <sup>1</sup> Conversion factor: 6.25<sup>2</sup>

#### ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีในผลผลิตพลอยได้จากการบวนการสกัดพีเอชบี

FTIR spectrum ของผลผลิตพลอยได้จากการบวนการสกัดพีเอชบีมีโครงสร้างทางเคมีที่สำคัญดังนี้ หมู่ -P-O, -S-O และ -CH stretching ซึ่งแสดงที่ตำแหน่ง 900-500 cm<sup>-1</sup> (Yushin et al., 2022) ส่วนตำแหน่ง N-H bending และ C-N stretching แสดงที่พีก 1583-1484 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นตำแหน่งของ amide II โดยบ่งบอกถึงกลุ่มของโปรตีน ส่วนตำแหน่ง 955-1186 cm<sup>-1</sup> แสดงกลุ่มของคาร์โบไฮเดรต (C-O และ C-C) บริเวณพีก 1250-1000 cm<sup>-1</sup> แสดงตำแหน่ง -C-O, -C-C และ -C-OH (Michalak et al. 2020; Zinicovscaia et al. 2020) (Figure 1) นอกจากนี้การทดลองก่อนหน้านี้โดย Zhuang et al. (2020) ได้ใช้เทคนิค FTIR ในการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของสารตกค้างเช่น คลอโรฟอร์ม เมทานอล เอทานอล และอะซิโตน ในกระบวนการผลิตไม้ poplar ซึ่งตรวจพบโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟอร์มตำแหน่ง 1220 และ 755 cm<sup>-1</sup> แสดง C-H bending และ CCl<sub>3</sub> stretching ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามตำแหน่งที่พบแตกต่างจาก reference spectral library ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ FTIR ในการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของเมทานอลกับคลอโรฟอร์มเพื่อตรวจสอบการตกค้างของสารเคมีดังกล่าว เมื่อเทียบ FTIR spectrum ของเมทานอลและคลอโรฟอร์มจาก reference spectral library ของ FTIR กับ FTIR spectrum ของผลพลอยได้จากการผลิตพีเอชบี (Figure 1) ไม่มีตำแหน่งของพีกในช่วงเลขคลื่น (wavenumber, cm<sup>-1</sup>) ที่ตรงกันกับ reference spectral library ของ FTIR อาจเป็นไปได้ว่า ผลพลอยได้จากการผลิตพีเอชบี ไม่มีการปนเปื้อนของเมทานอลและคลอโรฟอร์ม เนื่องจากเมทานอลและคลอโรฟอร์มเป็นสารที่มีคุณสมบัติระเหยง่าย ในตลอดระยะเวลาการสกัดได้ทำการทดลองในตัวดูดควันและหลังจากสกัดได้มีการบ่มผลพลอยได้จากการผลิตพีเอชบีไว้ในตัวดูดควันที่อุณหภูมิห้องอีกด้วย อาจเป็นไปได้ว่ากระบวนการเหล่านี้จะช่วยลดการปนเปื้อน



**Figure 1** FTIR spectrum of *A. platensis* by-product compare with chloroform and methanol. red line shown methanol, green line shown *A. platensis* by-product and orange line shown chloroform

## สรุป

ผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสกัดพอลิไฮดรอกซีบิวทีเรตยังคงมีปริมาณโปรตีนคงเหลือสูงซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์อีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

## เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2016. Official methods of analysis of AOAC International. 20th edn. AOAC International, Maryland.
- Benelhadj, S., S. Douiri, A. Ghouilli, R. B. Hassen, S. M. Keshk, A. El-Kott, H. Attia, and D. Ghorbel. 2023. Extraction of *Arthrospira platensis* (Spirulina) proteins via osborne sequential procedure: structural and functional characterizations. *Journal of Food Composition and Analysis*. 115: 1049
- Chen, H., H. Qi, and P. Xiong. 2022. Phycobiliproteins-a family of algae-derived biliproteins: productions, characterization and pharmaceutical potentials. *Marine Drugs*. 20(7): 450.
- Duang Sri, C., N.-A. Mudtham, A. Incharoensakdi, and W. Raksaji. 2020. Enhanced polyhydroxybutyrate (PHB) accumulation in heterotrophically grown *Arthrospira platensis* under nitrogen deprivation. *Journal of Applied Phycology*. 32(6): 3645–3654.
- Guan, Z., X. Wang, and C. R. Raetz. 2011. Identification of a chloroform-soluble membrane miniprotein in *Escherichia coli* and its homolog in *Salmonella typhimurium*. *Analytical Biochemistry*. 409(2): 284-289.
- Mahmoud, M. M. A., M. M. M. El-Lamie, O. E. Kilany, and A. A. Dessouki. 2018. *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) supplementation improves growth performance, feed utilization, immune response, and relieves oxidative stress in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) challenged with *Pseudomonas fluorescens*. *Fish and Shellfish Immunology*. 72: 291-300.
- Michalak, I., M. Mironiuk, K. Godlewska, J. Trynda, and K. Marycz. 2020. *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*: an effective biosorbent for nutrients. *Process Biochemistry*. 88: 129-137.

- Miebach, A. C., J. Bauer, M. Adamek, C. Dietz, J. Gährken, S. Rosenau, S. Wessels, J. Tetens, A. Sünder, V. Jung-Schroers, and D. Steinhagen. 2023. Influence of genetic adaption of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with alternative protein sources based on *Arthrospira platensis* and *Hermetia illucens* on intestinal health and animal welfare. *Aquaculture Reports*. 32.
- Kumari, P., S. P. Shukla, G. R. Bhuvanewari, S. Kumar, M. Xavier, and M. Kumar. 2023. High value pigment production and carbon sequestration through wastewater grown *Spirulina (Arthrospira) platensis*: a green technology for wastewater utilization. *Waste Management Bulletin*. 1(3): 1-10.
- Peñalver, R., J.M. Lorenzo, and G. Nieto. 2024. Bioaccessibility, digestibility and nutritional properties of algae and cyanophyceae as basis of their potential as functional food ingredients. *Applied Food Research*. 4(1): 100404.
- Raczyk, M., K. Polanowska, B. Kruszewski, A. Grygier, and D. Michałowska. 2022. Effect of spirulina (*Arthrospira platensis*) supplementation on physical and chemical properties of semolina (*Triticum durum*) based fresh pasta. *Molecules*. 27(2): 355.
- Rahim, A., C. Çakir, M. Ozturk, B. Şahin, A. Soulamani, M. Sibaoueih, B. Nasser, R. Eddoha, A. Essamadi, and B. El Amiri. 2021. Chemical characterization and nutritional value of *Spirulina platensis* cultivated in natural conditions of Chichaoua region (Morocco). *South African Journal of Botany*. 141: 235 – 242.
- Saharan, V., and S. Jood. 2017. Nutritional composition of *Spirulina platensis* powder and its acceptability in food products. *International Journal of Advanced Research*. 5(6): 2295-2300.
- Taiti, C., M. Di Vito, M. Di Mercurio, L. Costantini, N. Merendino, M. Sanguinetti, F. Bugli, and S. Garzoli. 2024. Detection of secondary metabolites, proximate composition and bioactivity of organic dried *Spirulina (Arthrospira platensis)*. *Applied Sciences (Switzerland)*. 14: 67.
- Thakur, M., and C. R. Hurburg. 2007. Quality of US soybean meal compared to the quality of soybean meal from other origins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 84(9): 835-843.
- Wells, M.L., P. Potin, J.S. Craigie, J.A. Raven, S.S. Merchant, K.E. Helliwell, A.G. Smith, M.E. Camire, and S.H. Brawley. 2017. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology*. 29(2): 949-982.
- Yushin, N., I. Zinicovscaia, L. Cepoi, T. Chiriac, L. Rudi, and D. Grozdov. 2022. Application of cyanobacteria *Arthrospira platensis* for bioremediation of erbium-contaminated Wastewater. *Materials*. 15(17): 6101.
- Zhuang, J., M. Li, Y. Pu, A.J. Ragauskas, and C.G. Yoo. 2020. Observation of potential contaminants in processed biomass using fourier transform infrared spectroscopy. *Applied Sciences (Switzerland)*. 10(12): 4345.
- Zinicovscaia, I., N. Yushin, A. Pantelica, S. Demčák, A. Mitu, and A. I. Apostol. 2020. Lithium biosorption by *Arthrospira (Spirulina) platensis* biomass. *Ecological Chemistry and Engineering*. 27(2): 271-280.