

นวัตกรรมโยเกิร์ตฟังก์ชัน: การผสานโพรไบโอติกส์และสารหายเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและส่งเสริมสุขภาพ

รุดจิรา ทรัพย์ทอง¹, เพชรพริ้ง แก้วประพาฬ², วีรดา กิตติวิเศษกุล²,
เขมิกา คำอ้ายอุด³ และวนิดา ปานอุทัย^{4*}

¹ แขนงวิชานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ชีวภาพ ภาควิชาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรมอาหารและนวัตกรรมชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

³ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

⁴ ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: ifrwdp@ku.ac.th

รับเมื่อ 8 พฤษภาคม 2568 แก้ไขเมื่อ 14 กรกฎาคม 2568 ตอรับเมื่อ 16 กรกฎาคม 2568

จุดเด่น

- พัฒนาโยเกิร์ตฟังก์ชันโดยผสานโพรไบโอติกส์และสารหายสไปรูลิน่าเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ
- สารหายสไปรูลิน่าช่วยเสริมฤทธิ์โพรไบโอติกส์ เพิ่มสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและเสริมภูมิคุ้มกัน
- ผลิตภัณฑ์ต้นแบบสามารถขยายตลาดอาหารสุขภาพและอาหารฟังก์ชันในอนาคต
- สนับสนุนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ

บทคัดย่อ

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมที่บริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะในแง่ของโปรตีน แคลเซียม และโพรไบโอติกส์ที่สนับสนุนสุขภาพของระบบย่อยอาหาร กระบวนการหมักซึ่งใช้แบคทีเรียกรดแล็กติก ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มรสชาติและคุณค่าทางโภชนาการเท่านั้น แต่ยังปรับปรุงคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้การใช้สารหายสไปรูลิน่าซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะโปรตีนที่สูงถึงร้อยละ 60–70 ของน้ำหนักแห้ง จะให้สารประกอบชีวภาพที่

ให้ประโยชน์ต่อด้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ และเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโยเกิร์ตที่เสริมด้วยสไปรูลิน่าบ่งชี้ว่าไม่เพียงแต่จะเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการเท่านั้น แต่ยังส่งเสริมสุขภาพของระบบย่อยอาหาร และอาจช่วยป้องกันโรคไม่ติดต่อเรื้อรังได้ ดังนั้น การผสมผสานระหว่างสไปรูลิน่าและโพรไบโอติกส์เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพทั้งทางโภชนาการและเศรษฐกิจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพในอุตสาหกรรมอาหารและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่เน้นสมบัติเชิงหน้าที่เฉพาะด้าน เพื่อรองรับแนวโน้มความต้องการผลิตภัณฑ์สุขภาพที่เพิ่มสูงขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: โยเกิร์ตโพรไบโอติกส์ สาหร่ายสไปรูลิน่า อาหารฟังก์ชัน การหมัก สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

Innovative functional yogurt: integration of probiotics and algae for enhanced nutritional value and health benefits

Rudjira Sabthong¹, Petchpring Kaewprapal², Wirada Kittiwisetkul², Khemika Khamaiaut³ and Wanida Pan-utai^{4*}

¹ Bioinnovation Products Program, Department of Industrial Food Microbiology and Biotechnological Innovation, Faculty of Science and Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

² Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University

³ Department of Agro-Industrial Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University

⁴ Department of Applied Microbiology, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University

*Corresponding author, e-mail: ifrwdp@ku.ac.th

Received 8 May 2025; **Revised** 14 July 2025; **Accepted** 16 July 2568

Highlights

- A functional yoghurt was developed by incorporating probiotics with *Spirulina platensis* to enhance nutritional and health-promoting properties.
- The incorporation of *Spirulina* enhances probiotic viability and supplies bioactive compounds with antioxidant and immune-supportive properties.
- The formulated product responds to the rising demand for functional dairy foods that align with health and wellness trends.
- Promotes the sustainable utilization of natural bioresources in the advancement of functional food innovation.

Abstract

Yogurt is a widely consumed dairy product globally, distinguished by its substantial nutritional profile, notably in proteins, calcium, and probiotics that facilitate gastrointestinal

health. The fermentation process, mediated by lactic acid bacteria (LAB), not only enhances the organoleptic qualities and nutritional content but also improves sensory attributes and prolongs shelf life. Moreover, the inclusion of Spirulina, a nutrient-rich alga boasting 60–70% protein on a dry-weight basis, further contributes bioactive compounds known for their antioxidant, anti-inflammatory, and immunomodulatory effects. Current research indicates that spirulina-enriched yogurt not only augments nutritional value but also fosters digestive health and may contribute to the prevention of chronic non-communicable diseases. Consequently, integrating Spirulina with probiotics in yogurt embodies a strategic approach for advancing health-oriented food products, offering both nutritional and economic benefits. This combination can be utilized in the development of prototype foods with specific functional properties to address the increasing consumer demand for health-promoting foods.

Keywords: Probiotic yoghurt, *Spirulina*, Functional foods, Fermentation, Bioactive compounds

บทนำ

ในปัจจุบัน อาหารเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพและการบริโภคอาหารที่ส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกัน โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งอุดมไปด้วยจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ที่มีบทบาทในการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร

⁽¹⁾ โยเกิร์ตถูกจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากเป็นแหล่งของสารอาหารสำคัญหลายชนิด เช่น โปรตีน ไรโบฟลาวิน วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 และแคลเซียม ⁽²⁾ โดยเฉพาะโปรตีนจากสัตว์ซึ่งยังคงเป็นแหล่งโปรตีนหลักที่มีความต้องการสูงทั่วโลก และมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการทำงานของร่างกาย รวมถึงส่งผลต่อคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์อาหาร ⁽³⁾

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เสริมคุณค่าทางโภชนาการควบคู่ไปกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคยอมรับได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง หนึ่งในแนวทางที่ได้รับความนิยมคือการเติมส่วนประกอบจากธรรมชาติ เช่น สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ซึ่งมีรายงานว่าสามารถช่วยเสริมสมรรถภาพของโยเกิร์ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ^{(4),(5)} โดยสาหร่ายชนิดนี้อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น

ไฟโคไซยานิน เบตาแคโรทีน แซนโทฟิลล์ และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีบทบาทในการต้านอนุมูลอิสระ ⁽⁵⁾ การเติมสาหร่ายในโยเกิร์ตจึงมีศักยภาพในการเพิ่มคุณสมบัติทางโภชนาการ และสามารถพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันที่ตอบสนองตลาดสุขภาพได้ ⁽⁶⁾

ในยุคที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและส่งเสริมสุขภาพ การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีสมบัติเชิงหน้าที่จึงได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง การเสริมสาหร่ายลงในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยเฉพาะในสูตรที่ใช้โพรไบโอติกส์มีศักยภาพในการเพิ่มคุณสมบัติทางชีวภาพและคุณค่าทางโภชนาการ เช่น การเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยบำรุงสุขภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการทำให้แห้ง เช่น การแช่เยือกแข็ง (freeze-drying) และการอบแห้งด้วยลมร้อน ยังมีบทบาทสำคัญในการคงคุณภาพของสารอาหารในสาหร่าย และเหมาะสมต่อการพัฒนาในระดับอุตสาหกรรม ^{(7),(8)} เนื้อหาบทความนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตฟังก์ชันที่มีความแตกต่างทั้งด้านสุขภาพและมูลค่าเพิ่มทางการตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทบาทของจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์และแบคทีเรีย แล็กติกในการพัฒนาอาหารหมักเพื่อสุขภาพ

จุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ (probiotics) เป็นจุลินทรีย์มีชีวิต เมื่อบริโภคในปริมาณที่เหมาะสมแล้วจะส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยเฉพาะในการส่งเสริมสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร คำนิยามนี้ไม่ได้รวมถึงจุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในร่างกายมนุษย์ จุลินทรีย์ที่มักถูกจัดอยู่ในกลุ่มโพรไบโอติกส์ ได้แก่ แบคทีเรียกรดแล็กติก (lactic acid bacteria: LAB) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ และเป็นจุลินทรีย์ที่มีความปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย⁽⁹⁾ ในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมาความสนใจในจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์และแบคทีเรียกรดแล็กติกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในแง่ของการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหมัก เช่น นมหมัก ผักดอง และผลิตภัณฑ์หมักจากวัตถุดิบที่หลากหลาย เป็นต้น จุลินทรีย์ดังกล่าวมีบทบาทสำคัญในการหมักน้ำตาล เช่น กลูโคสและแล็กโตส เป็นต้น ให้เปลี่ยนเป็นกรดแล็กติก ซึ่งมีผลในการปรับสมดุลค่าพีเอช และส่งเสริมรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์⁽¹⁰⁾ สายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ถูกใช้เป็นหัวเชื้อเริ่มต้น (starter culture) จะมีความสามารถในการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตให้เป็นกรดอินทรีย์ รวมถึงการสังเคราะห์สารชีวภาพที่มีผลต่อรสชาติและกลิ่นของอาหารหมักอย่างชัดเจน⁽¹¹⁾ ในการยกระดับคุณภาพ

อาหารหมัก ไม่เพียงแต่ในผลิตภัณฑ์นม แต่ยังรวมถึงเนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ ธัญพืช และน้ำปลาหมัก ซึ่งทั้งหมดนี้มีความเกี่ยวข้องกับการส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภคและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ^{(11),(12)} การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ในระบบทางเดินอาหาร สามารถทำได้ 2 แนวทางหลัก คือ แนวทางที่หนึ่ง การบริโภคอาหารที่มีจุลินทรีย์มีชีวิตซึ่งสามารถเข้าไปยึดเกาะที่ผนังลำไส้ ช่วยป้องกันการเจริญของเชื้อก่อโรค เสริมการดูดซึมสารอาหาร และปรับสมดุลภูมิคุ้มกัน วิธีนี้เรียกว่า “การบริโภคโพรไบโอติก” ขณะที่แนวทางที่สอง คือ การบริโภคสารอาหารประเภทใยอาหารหรือไฟเบอร์ที่ไม่ถูกย่อยโดยร่างกายมนุษย์ แต่ทำหน้าที่เป็นอาหารสำหรับโพรไบโอติกส์ในลำไส้ เพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเรียกว่า “พรีไบโอติกส์” นอกจากนี้ การคงสภาพชีวิตของโพรไบโอติกส์ในผลิตภัณฑ์ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก เช่น ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษา เป็นต้น หากอุณหภูมิสูงเกินไปอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์อาจลดลงอย่างมีนัยสำคัญ⁽¹²⁾

ในกระแสโลกที่หันมาให้ความสำคัญกับอาหารจากธรรมชาติและดีต่อสุขภาพ อาหารหมักได้กลายเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับความนิยม โดยเฉพาะการรวม “สาหร่าย” เข้ากับกระบวนการหมัก ซึ่งเป็นแนวโน้มใหม่ที่ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น การหมักสาหร่ายนอกจากช่วยเพิ่มคุณค่าทาง

โภชนาการและความสามารถในการย่อยแล้ว ยังช่วยเสริมคุณสมบัติเชิงสุขภาพ เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ และด้านจุลชีพ เป็นต้น กระบวนการหมัก หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพที่จุลินทรีย์ เช่น ยีสต์หรือแบคทีเรีย เปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดอินทรีย์หรือแอลกอฮอล์⁽¹³⁾ ในกรณีของสาหร่าย กระบวนการเตรียมก่อนการหมักอาจรวมถึงการอบแห้งหรืออบเพื่อเปิดผนังเซลล์และปล่อยสารอาหารภายใน โดยจุลินทรีย์ที่อยู่บนผิวของสาหร่ายจะเริ่มย่อยสลายน้ำตาลและสารอินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้งสารประกอบที่ช่วยพัฒนารสชาติและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์⁽¹⁴⁾

จากคุณสมบัติที่หลากหลาย สาหร่ายจึงกลายเป็นวัตถุดิบสำคัญที่มีศักยภาพในการผลิตอาหารหมักสมัยใหม่ โดยเฉพาะในกลุ่มผลิตภัณฑ์

นม เช่น โยเกิร์ต ครีม ชีส ของหวาน รวมถึงผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ การใช้สาหร่ายเป็นวัตถุดิบในกระบวนการหมักที่อุดมด้วยสารเมตาโบไลต์จากธรรมชาติช่วยยกระดับคุณค่าทางอาหาร และเปิดโอกาสในการสร้างกลุ่มผลิตภัณฑ์ใหม่ในตลาดอาหารหมักเพื่อสุขภาพ⁽¹⁵⁾

โพรไบโอติกส์และแบคทีเรียแล็กติกมีบทบาทสำคัญทั้งในการผลิตกรดแล็กติก พัฒนารสชาติ เนื้อสัมผัส และส่งเสริมสุขภาพผู้บริโภค ผ่านกลไกการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ กระตุ้นภูมิคุ้มกัน และสร้างสารต้านจุลชีพตามธรรมชาติแบคทีริโอซิน (bacteriocins) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ โดยสรุปรายละเอียดชนิดจุลินทรีย์ หน้าที่เฉพาะ และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ แสดงรายละเอียดดัง Table 1

Table 1 Exploring the role of probiotics and lactic acid bacteria in functional fermented products

Microorganism	Function	Types of products
- <i>Lactobacillus bulgaricus</i> ⁽¹⁶⁾	- Lactic acid production - Flavor development	- Yogurt
- <i>Lactobacillus helveticus</i> - <i>Streptococcus lactis</i> ⁽¹⁷⁾	- Proteolysis - Bioactive peptide production - Milk acidification - Fermentation starter	- Swiss cheese - Yogurt - Cheese - Cultured dairy
- <i>Lactobacillus acidophilus</i> - <i>Bifidobacterium infantis</i> - <i>Pediococcus acidilactici</i> ⁽¹⁸⁾	- Probiotic - Improves gut health - Maintains gut health in infants - Bacteriocin	- Yogurt - Probiotic drinks - Infant formula - Fermented milk

Microorganism	Function	Types of products
- <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> ⁽¹⁹⁾	- Produces antimicrobial substances - Improves nutritional value	- Yogurt - Fermented milk
- <i>Lactobacillus casei</i> ⁽²⁰⁾	- Probiotic - Enhances digestion	- Yogurt - Cheese
- <i>Leuconostoc mesenteroides</i> ⁽²¹⁾	- Produces sour flavor and aroma - Organic acids - Carbon dioxide (CO ₂)	- Sour cream - Butter - Certain types of cheese
- <i>Bifidobacterium bifidum</i> ⁽²²⁾	- Probiotic - Supports the immune system	- Kefir - Yogurt - Infant formula
- <i>Bifidobacterium breve</i> ⁽²³⁾	- Antimicrobial activity - Modulates gut flora	- Dairy-based probiotic drinks
- <i>Bifidobacterium longum</i> ⁽²⁴⁾	- Digestion support reduces inflammation	- Yogurt - Functional foods
- <i>Streptococcus thermophilus</i> - <i>Streptococcus cremoris</i> ⁽²⁵⁾	- Acid production - Texture improvement - Flavor and texture enhancement	- Yogurt - Cheese - Sour cream - Butter milk - Soft cheese
- <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>Lactis</i>	- Acid production - Casein coagulation	- Cheese - Fermented milk
- <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>Cremoris</i> ⁽²⁶⁾	- Flavor development - lactic acid production	- Cheese - Sour cream
- <i>Enterococcus faecium</i> ⁽²⁷⁾	- Some strains are probiotic	- Dairy probiotics - Cheese

การประยุกต์ใช้สาหร่ายเพื่อเพิ่มมูลค่าในอุตสาหกรรมอาหารและสุขภาพ

สาหร่ายทะเลเป็นพืชทะเลขนาดใหญ่ที่พบได้ทั่วไปตามแนวชายฝั่งทั่วโลก โดยสามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ สาหร่ายสีเขียว (*Chlorophyta*) สาหร่ายสีแดง (*Rhodophyta*) และสาหร่ายสีน้ำตาล

(*Phaeophyta*) ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลกว่า 220 ชนิดทั่วโลก โดยเฉพาะในกลุ่มลามินาเรีย (คอมบุ) ไพรโอเปีย/พอร์ฟิรา (โนริ) และอุนดาเรีย (วากาเมะ) ซึ่งเป็นสายพันธุ์หลักที่มีการเพาะเลี้ยงอย่างแพร่หลายในภูมิภาคเอเชีย ทั้งเพื่อการบริโภคโดยตรงและใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร

จากรายงานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ(FAO 2018) ระบุว่าประเทศในเอเชียเป็นผู้ผลิตและผู้บริโภคหลักของสาหร่ายทะเลกินได้ และสาหร่ายทะเลมีมูลค่าทางเศรษฐกิจระดับโลกสูงถึง 6 พันล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี⁽²⁸⁾

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา การเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลเริ่มเป็นที่สนใจในภูมิภาคตะวันตก โดยการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอาหาร อาหารสัตว์ เชื้อเพลิงชีวภาพ และสารชีวภาพ โดยเฉพาะสายพันธุ์ *Saccharina latissima* หรือ “สาหร่ายทะเลหวาน” ซึ่งได้รับความนิยมเนื่องจากมีรสอูมามิอันเป็นเอกลักษณ์ อันเนื่องมาจากกรดกลูตามิกธรรมชาติที่มีอยู่สูง อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักของการใช้สาหร่ายทะเลคืออายุการเก็บรักษาสั้น จึงมีความจำเป็นต้องแปรรูปก่อนการขนส่งหรือจำหน่าย เช่น การทำให้แห้ง ซึ่งต้องใช้พลังงานสูงและโครงสร้างพื้นฐานเฉพาะ ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีแปรรูปทางเลือกได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหมักด้วยจุลินทรีย์^{(29),(30)}

การหมักเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมมายาวนาน โดยเฉพาะการใช้จุลินทรีย์กรดแล็กติก (lactic acid bacteria: LAB) ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ได้รับการยอมรับว่าปลอดภัย (GRAS) จากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Food and Drug Administration : US FDA)^{(29),(30)} การหมัก

ไม่เพียงแต่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเท่านั้น แต่ยังส่งเสริมคุณค่าทางโภชนาการและปรับปรุงคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นด้วย ในกรณีของสาหร่าย การหมักสามารถย่อยสลายพอลิแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนในสาหร่ายสีน้ำตาล เช่น อัลจิเนตและลามินาริน ให้กลายเป็นน้ำตาลที่ดูดซึมได้ง่าย เช่น กลูโคส ซึ่งมีผลต่ोजุลินทรีย์ในลำไส้ และอาจส่งเสริมสุขภาพทางเดินอาหารของผู้บริโภค⁽³¹⁾ แม้ว่าโครงสร้างทางเคมีของสาหร่ายบางชนิดอาจไม่เอื้อต่อการหมักโดยตรง แต่มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย พบว่า การใช้เอนไซม์ช่วยในการย่อยสลายโครงสร้างก่อนการหมักสามารถเพิ่มผลผลิตของผลิตภัณฑ์หมัก^{(31),(32)} เช่น เชื้อเพลิงชีวภาพหรือกรดอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁽³³⁾ โดยเฉพาะการใช้สาหร่ายสีน้ำตาลซึ่งมีคาร์โบไฮเดรตสูงแต่ย่อยยาก⁽³⁴⁾ การปรับสภาพวัตถุดิบจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการเพิ่มศักยภาพของกระบวนการหมักในระดับอุตสาหกรรม นอกจากนี้สาหร่ายที่ได้รับความสนใจมาอย่างยาวนาน คือสาหร่ายสไปรูลิน่า (*Spirulina* หรือ *Arthrospira platensis*) จัดเป็นไซยาโนแบคทีเรีย โดยที่สไปรูลิน่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะปริมาณโปรตีนที่มากถึง 60–70% ของน้ำหนักแห้ง รวมถึงมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว วิตามินแร่ธาตุ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ไฟโคไซยานินและพอลิแซคคาไรด์เป็นต้น ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ

และเสริมภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยจำนวนมากที่แสดงให้เห็นถึงบทบาทของสไปรูulina ในการป้องกันโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น เบาหวาน ความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจ เป็นต้น^{(34),(35)}

คุณสมบัติที่โดดเด่นเหล่านี้ทำให้สไปรูulina เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงทั้งในเชิงโภชนาการและเศรษฐกิจ อีกทั้งยังสามารถแปรรูปได้หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ สำหรับสไปรูulina ในรูปแบบผง แคปซูล เครื่องดื่ม หรืออาหารเพื่อสุขภาพ สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร หนึ่งในจุดเด่นที่น่าสนใจของสไปรูulina คือ รงควัตถุไฟโคไซยานิน ซึ่งเป็นสารให้สีฟ้าธรรมชาติที่มีความปลอดภัยสูง และสามารถใช้ทดแทนสีสังเคราะห์ในกลุ่ม Brilliant Blue FCF (E133) และ Indigotine (E132) ได้จึงตอบโจทย์ผู้บริโภครุ่นใหม่ที่ใส่ใจสุขภาพและหลีกเลี่ยงสารเติมแต่งสังเคราะห์ในอาหารด้วยคุณสมบัติทั้งด้านโภชนาการและการแปรรูปที่หลากหลาย^{(36),(32)} การพัฒนาผลิตภัณฑ์หมักจากสาหร่ายทั้งในกลุ่มสาหร่ายทะเลและไซยาโนแบคทีเรียจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงสำหรับการสร้างมูลค่าเพิ่มในอุตสาหกรรมอาหารและสุขภาพในอนาคต⁽³⁷⁾

การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์โพรไบโอติกส์และแบคทีเรียแล็กติกในการเสริมคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมที่ได้รับความนิยมทั่วโลก เนื่องจากมีคุณสมบัติทางโภชนาการที่มากมาย โดยเฉพาะการที่โยเกิร์ตเป็นแหล่งโปรตีน แคลเซียม และโพรไบโอติกส์ที่มีประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร^{(34),(38)} โดยมีการเพิ่มแบคทีเรียกรดแล็กติกในการผลิตโยเกิร์ตไม่เพียงแต่ช่วยทำให้ได้รสชาติที่ดีขึ้น แต่ยังส่งเสริมสุขภาพในหลายด้าน เช่น การเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน การย่อยอาหาร และการลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกาย ส่งผลให้ได้ว่า “อาหารมหัศจรรย์” ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีหลากหลายรูปแบบที่แตกต่างกันไป เช่น ความแตกต่างทางด้านสี กลิ่น รสชาติ ส่วนผสม และเนื้อสัมผัสที่ได้รับ รวมถึงรูปแบบของการบริโภคในโอกาสต่าง ๆ⁽³⁹⁾

โยเกิร์ตนับเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญที่มีบทบาทอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตลาดยุคปัจจุบันที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ด้วยความสะดวกในการบริโภคและความพร้อมในการจัดจำหน่ายสินค้า ทำให้โยเกิร์ตกลายเป็นสินค้าหลักที่พบได้ทั่วไปทั้งในซูเปอร์มาร์เก็ตหรือร้านสะดวกซื้อ และในมื้ออาหารของผู้บริโภคในชีวิตประจำวัน ความต้องการด้านการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่าง

ต่อเนื่อง โดยเฉพาะในด้านการพัฒนาทางเลือกใหม่ ๆ สำหรับผลิตภัณฑ์อาหาร กระบวนการแปรรูป และองค์ประกอบของวัตถุดิบ เพื่อให้ตอบโจทย์ทั้งด้านสุขภาพและความยั่งยืน หนึ่งในทางเลือกที่น่าสนใจและมีศักยภาพสูง คือ การนำสาหร่ายมาใช้เป็นส่วนประกอบทางเลือก โดยครอบคลุมทั้งสาหร่ายขนาดเล็กอย่างแพลงก์ตอนพืช และสาหร่ายขนาดใหญ่อย่างสาหร่ายทะเล⁽⁴⁰⁾ แม้ว่าอุตสาหกรรมโยเกิร์ตจะมีแนวโน้มที่ดีในการขยายตัว แต่ยังพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับการบริโภคต่อหัว ในแต่ละภูมิภาคของโลกเมื่อเปรียบเทียบกับคำแนะนำในระดับสากล ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงโอกาสสำคัญในการพัฒนาและขยายตลาดในอนาคต

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต สามารถจำแนกได้ 6 ประเภทได้แก่

1. โยเกิร์ตธรรมชาติ ทำจากนมที่ผ่านกระบวนการหมักโดยใช้แบคทีเรียแล็กติก ซึ่งจะทำให้เกิดการหมักเปลี่ยนแปลงนมให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรสเปรี้ยว โดยไม่ผ่านการเติมน้ำตาลหรือสารปรุงแต่งใด ๆ ในการผลิตเพื่อรักษาความเป็นธรรมชาติของโยเกิร์ตและคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญ⁽⁴¹⁾

2. โยเกิร์ตแบบกวน จะมีการกวนโยเกิร์ตหลังจากกระบวนการหมักเสร็จสิ้น เพื่อให้ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม เนื้อเนียนและมีความหนืดที่เหมาะสม โยเกิร์ตแบบกวนมักจะมีความข้นน้อย

กว่าโยเกิร์ตประเภทอื่น ๆ แต่ก็ยังคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติที่ดีไว้⁽⁴²⁾

3. โยเกิร์ตแบบคงตัว จะไม่ผ่านการกวนหลังจากการหมัก ทำให้เนื้อโยเกิร์ตเซตตัวอยู่ในถ้วยเป็นก้อนเดียว การผลิตโยเกิร์ตชนิดนี้จะเน้นให้แล็กติกทำงานในสภาวะที่เหมาะสมกับการสร้างเนื้อที่จับตัวกันเป็นก้อน ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงและเนื้อสัมผัสแน่น⁽⁴³⁾

4. โยเกิร์ตพร้อมดื่ม จะมีลักษณะเหลวและสามารถดื่มได้โดยตรงจากบรรจุภัณฑ์ มักมีรสชาติหวานหรือเปรี้ยวและเป็นทางเลือกที่สะดวกในการบริโภคโยเกิร์ต สำหรับผู้ที่ชื่นชอบผลิตภัณฑ์นมที่สามารถดื่มได้ง่าย⁽⁴⁴⁾

5. โยเกิร์ตแบบแช่แข็ง ผลิตจากนมซึ่งผ่านการหมักด้วยแล็กติกเริ่มต้นของโยเกิร์ต โดยมีลักษณะทางกายภาพคล้ายไอศกรีม แต่มีคุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์ต่อสุขภาพจากการหมักของโยเกิร์ต⁽⁴⁵⁾

6. โยเกิร์ตกรีก เป็นโยเกิร์ตที่ผ่านการกรองเพื่อแยกเวย์ออกหลังการหมัก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความข้นหนืด เนื้อสัมผัสเนียนนุ่ม และมีรสชาติเปรี้ยวเฉพาะตัว⁽⁴⁶⁾

บทบาทของจุลินทรีย์กรดแล็กติกและสาหร่ายในการสร้างนวัตกรรมอาหารฟังก์ชัน

การผสมผสานจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์กับสาหร่ายเพื่อพัฒนาอาหารฟังก์ชัน ในยุคที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับสุขภาพและคุณค่าทางโภชนาการ

ของอาหารมากขึ้น การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันที่มีจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ร่วมกับส่วนประกอบจากสาหร่าย ได้กลายเป็นแนวทางที่น่าสนใจและมีศักยภาพอย่างยิ่ง สาหร่ายไม่เพียง

เป็นแหล่งของสารอาหารที่หลากหลาย แต่ยังสามารถส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเด่นทั้งด้านสุขภาพและรสชาติ ดังแสดงรายละเอียดใน Table 2

Table 2 Integration of probiotics and algal components in functional food products

Lactic acid Bacteria (LAB)	Algae	Food products	Functional properties
Lactobacillus rhamnosus LGG Lactobacillus reuteri BioGaia Bifidobacterium animalis subsp. lactis BB-12 <i>B. longum</i> subsp. <i>longum</i> BB536	<i>Chondrus crispus</i> <i>Himanthalia elongata</i> <i>Laminaria ochroleuca</i> <i>Palmaria palmata</i> <i>Porphyra umbilicalis</i> <i>Ulva lactuca</i> (UL) <i>Undaria pinnatifida</i>	Fermented milk	Increase the amount of live probiotic bacteria ⁽⁸⁾
Lactobacillus brevis LOCK 0944	<i>Chlorella vulgaris</i>	Fermented soybean drink	High in probiotics, reduced D-lactic acid, no lactose ⁽⁹⁾
<i>L. plantarum</i> MMB-05 Lactocaseibacillus casei FJAT-7928	<i>Porphyra yezoensis</i>	seaweed sauce	Incorporate lactic acid, phenolic compounds, and antioxidants to enhance sensory attributes such as taste and aroma, while also serving to inhibit microbial growth ⁽¹⁰⁾
<i>L. casei</i> Lafti L-26 Lactobacillus farciminis Saccharomyces cerevisiae	<i>Arthrospira platensis</i>	Sourdough Crostini	Contains antioxidants, easily digestible protein, and increases nutrients ⁽⁴⁷⁾
Lactocaseibacillus rhamnosus CCDM 146 <i>L. rhamnosus</i> , CCDM 466	<i>Dunaliella salina</i>	Dietary supplement containing <i>Dunaliella</i>	Promotes adhesion of probiotics to the intestinal wall,

Lactic acid Bacteria (LAB)	Algae	Food products	Functional properties
Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus CCDM 364 <i>L. acidophilus</i> CCDM 151 <i>B. breve</i> CCDM 562 <i>B. longum</i> subsp. <i>infantis</i> CCDM 232 <i>B. longum</i> subsp. <i>longum</i> CCDM <i>B. animalis</i> subsp. <i>lactis</i> CCDM 93 <i>B. animalis</i> , subsp. <i>lactis</i> BB-12		<i>salina</i> and probiotics	antioxidant properties. ⁽⁴⁸⁾
<i>L. plantarum</i> Dad-13	<i>Arthrospira platensis</i>	Ready-to-drink cereal beverage with added protein from seaweed	Protein, dietary fiber, low fat, and soluble source ⁽³⁶⁾
<i>L. acidophilus</i> Bifidobacterium spp. Streptococcus thermophilus	C-phycoerythrin (C-PC) and <i>Spirulina</i> residual biomass (RB)	Ice cream	High in antioxidants and organoleptic ⁽⁴⁹⁾

การประยุกต์ใช้โยเกิร์ตโพรไบโอติกส์เป็นวัตถุดิบพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพและอาหารฟังก์ชัน โยเกิร์ตที่มีจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ไม่เพียงเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพในตัวเอง แต่ยังสามารถประยุกต์เป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์สุขภาพอื่น ๆ เช่น เบเกอรี่

ซอส ผลิตภัณฑ์แคปซูล และเครื่องดื่ม เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวช่วยส่งเสริมประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร เพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ และตอบโจทย์ด้านโภชนาการเฉพาะกลุ่ม รายละเอียดเป็นการประยุกต์ใช้โยเกิร์ตในรูปแบบต่าง ๆ แสดงใน Table 3

Table 3 Application of probiotic yogurt as a core ingredient in developing health and functional food products

Lactic acid Bacteria (LAB)	Yogurt drying	Application	Functional properties
<i>Lactobacillus</i> probiotic strains ⁽⁴⁶⁾	Probiotic yogurt	Low-fat Probiotic Sauce	- Increases nutritional value - reduces fat content in sauce - promotes gut health
Lactic acid bacteria ⁽⁴⁷⁾	Probiotic yogurt	Probiotic Fruit Jam	- Enhances health properties - reduces sweetness in jam - promotes digestion
Various LAB strains ⁽⁴⁸⁾	Probiotic yogurt	Probiotic Fermented for Bakery Products	- Enhances dough texture and fermentation process in bakery products
<i>L. acidophilus</i> ⁽⁴⁹⁾	Yogurt with wine industry by-products (grape pomace)	Sustainable fortified yogurt	- Rich in phenolics - antidiabetic - anti-inflammatory potential
<i>Lactobacillus</i> probiotic strains ⁽⁵⁰⁾	Probiotic yogurt	Probiotic Bread	- Improves texture - sensory qualities and shelf life of bread

บทสรุป

สาหร่ายและจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ โดยเฉพาะการใช้ร่วมกันในผลิตภัณฑ์หมัก เช่น โยเกิร์ต ซึ่งสามารถเสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการและสมบัติเชิงหน้าที่เพิ่มขึ้น ทั้งยังตอบโจทย์การพัฒนาอาหารฟังก์ชันที่ปลอดภัย ยั่งยืน และเป็นมิตรต่อ

สิ่งแวดล้อม แนวโน้มในอนาคตชี้ให้เห็นว่าตลาดอาหารฟังก์ชัน จะขยายตัวต่อเนื่อง โดยเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เน้นสุขภาพเชิงลึก ด้วยเหตุนี้ ควรมีการศึกษาวจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับกลไกการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากสาหร่ายร่วมกับโพรไบโอติกส์ และส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ เพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์อาหารให้มีคุณภาพสูงขึ้น และสามารถแข่งขันได้ในระดับอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

1. Bai Y, Jiang S, Wang Y, Huang X, Wang Y, Feng D, Dong X, Qi H. Phycocyanin-phlorotannin complexes improve the structure and functional properties of yogurt. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. 274:133327.
2. O'Sullivan AM, O'Grady MN, O'Callaghan YC, Smyth TJ, O'Brien NM, Kerry JP. Seaweed extracts as potential functional ingredients in yogurt. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2016. 37:293-9.
3. Diaz-Bustamante ML, Keppler JK, Reyes LH, Alvarez Solano OA. Trends and prospects in dairy protein replacement in yogurt and cheese. *Heliyon*. 2023. 9(6):e16974.
4. Blikra MJ, Altintzoglou T, Løvdal T, Rognsål G, Skipnes D, Skåra T, Sivertsvik M, Noriega Fernández E. Seaweed products for the future: using current tools to develop a sustainable food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. 118:765-76.
5. Imrana Farhan I, Rifky M, Serkayev K, Samadiy M. Seaweed: A Potential Functional Ingredient in Yoghurt Production 2022. Conference: International Scientific and Technical Conference P.174-
6. Sengupta S, Koley H, Dutta S, Bhowal J. Hypocholesterolemic effect of *Spirulina platensis* (SP) fortified functional soy yogurts on diet-induced hypercholesterolemia. *Journal of Functional Foods*. 2018. 48:54-64.
7. Bhatnagar P, Gururani P, Parveen A, Gautam P, Chandra Joshi N, Tomar MS, Nanda M, Vlaskin MS, Kumar V. Algae: a promising and sustainable protein-rich food ingredient for bakery and dairy products. *Food Chemistry*. 2024. 441:138322.
8. del Olmo A, Picon A, Nuñez M. Probiotic dynamics during the fermentation of milk supplemented with seaweed extracts: the effect of milk constituents. *LWT*. 2019. 107:249-55.
9. Ścieszka S, Gorzkiewicz M, Klewicka E. Innovative fermented soya drink with the microalgae *Chlorella vulgaris* and the probiotic strain *Levilactobacillus brevis* LÖCK 0944. *LWT*. 2021. 151:112131.
10. Gao T, Chen J, Xu J, Gu H, Zhao P, Wang W, Pan S, Tao Y, Wang H, Yang J. Screening of a novel *Lactiplantibacillus plantarum* MMB-05 and *Lacticaseibacillus casei* fermented sandwich seaweed scraps: chemical composition, in vitro antioxidant, and volatile compounds analysis by GC-IMS. *Foods*. 2022. 11(18).
11. Markowiak P, Śliżewska K. Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. *Nutrients*. 2017. 9(9).
12. Tabacof A, Calado V, Pereira N. Third generation lactic acid production by *Lactobacillus pentosus* from the macroalgae *Kappaphycus alvarezii* Hydrolysates. *Fermentation*. 2023. 9(4).
13. Bao J, Zhang X, Zheng J-H, Ren D-F, Lu J. Mixed fermentation of *Spirulina platensis* with *Lactobacillus plantarum* and *Bacillus subtilis* by random-centroid optimization. *Food Chemistry*. 2018;264:64-72.
14. Bao J, Zhang X, Zheng J-H, et al. Mixed fermentation of *Spirulina platensis* with *Lactobacillus plantarum* and *Bacillus subtilis* by random-centroid optimization. *Food Chemistry*. 2018. 264:64-72.
15. Choi DG, Baek JH, Han DM, Khan SA, Jeon CO. Comparative pangenome analysis of *Enterococcus faecium* and *Enterococcus lactis* provides new insights into the adaptive evolution by horizontal gene acquisitions. *BMC Genomics*. 2024. 25(1):28.
16. Vine NG, Leukes WD, Kaiser H. Probiotics in marine larviculture. *FEMS Microbiol Rev*. 2006. 30(3):404-27.
17. Baranyi J, Roberts TA. Mathematics of predictive food microbiology. *International Journal of Food Microbiology*. 1995. 26(2):199-218.
18. Lanier JS, Corl BA. Challenges in enriching milk fat with polyunsaturated fatty acids. *J Anim Sci Biotechnol*. 2015. 6(1):26.
19. Zhang Y, Meng L, Ai M, Qiao Y, Liu G, Fan X, Lv X, Feng Z. Nutrient requirements of *Lactobacillus casei* Shirota and their application in fermented milk. *LWT*. 2020. 118:108735.
20. Leroy F, De Vuyst L. Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2004. 15(2):67-78.



21. Serafini F, Turrone F, Ruas-Madiedo P, Lugli GA, Milani C, Duranti S, Zamboni N, Bottacini F, van Sinderen D, Margolles A, Ventura M. Kefir fermented milk and kefir promote growth of *Bifidobacterium bifidum* PRL2010 and modulate its gene expression. *Int J Food Microbiol.* 2014. 178:50-9.
22. Ravagnolo O, Misztal I, Hoogenboom G. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. *Journal of Dairy Science.* 2000. 83(9):2120-5.
23. Avermaete T, Viaene J, Morgan EJ, Pitts E, Crawford N, Mahon D. Determinants of product and process innovation in small food manufacturing firms. *Trends in Food Science & Technology.* 2004. 15(10):474-83.
24. McGuigan KG, Méndez-Hermida F, Castro-Hermida JA, Ares-Mazás E, Kehoe SC, Boyle M, Sichel C, Fernández-Ibáñez P, Meyer BP, Ramalingham S, Meyer EA. Batch solar disinfection inactivates oocysts of *Cryptosporidium parvum* and cysts of *Giardia muris* in drinking water. *J Appl Microbiol.* 2006. 101(2):453-63.
25. Hunt BG, Brisson JA, Yi SV, Goodisman MA. Functional conservation of DNA methylation in the pea aphid and the honeybee. *Genome Biol Evol.* 2010. 2:719-28.
26. Wang L-M, Lv J-P, Chu Z-Q, Cui Y-Y, Ren X-H. Production of conjugated linoleic acid by *Propionibacterium freudenreichii*. *Food Chemistry.* 2007. 103(2):313-8.
27. Geissmann F, Jung S, Littman DR. Blood monocytes consist of two principal subsets with distinct migratory properties. *Immunity.* 2003. 19(1):71-82.
28. Skonberg DI, Fader S, Perkins LB, Perry JJ. Lactic acid fermentation in the development of a seaweed sauerkraut-style product: Microbiological, physicochemical, and sensory evaluation. *J Food Sci.* 2021. 86(2):334-42.
29. Hyrslova I, Krausová G, Mrvikova I, Staňková B, Brányik T, Malinská H, Huttl M, Kaňa A, Doskočil I. Functional Properties of *Dunaliella salina* and its positive effect on probiotics. *Marine Drugs.* 2022. 20(12): 781.
30. Healy LE, Zhu X, Kakagianni M, Poojary MM, Sullivan C, Tiwari U, Curtin J, Sun D-W, Tiwari BK. Fermentation of brown seaweeds *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima* for new product development using *Lactiplantibacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae* and kombucha SCOBY. *Algal Research.* 2023. 76:103322.
31. Luo J, Ye C, Wen Y, Bao Y, Quek SY. Investigation of solid-state fermentation of red seaweed (*Pyropia* spp.) with lactic acid bacteria: effects on protein profile and in vitro digestibility. *Food Chemistry.* 2025. 469:142667.
32. Mendes AR, Spinola MP, Lordelo M, Prates JAM. Advances in bioprocess engineering for optimising *Chlorella vulgaris* fermentation: biotechnological innovations and applications. *Foods.* 2024. 13(24): 4154.
33. AlFadhly NKZ, Alhelfi N, Altemimi AB, Verma DK, Cacciola F, Narayanankutty A. Trends and technological advancements in the possible food applications of *Spirulina* and their health benefits: a review. *Molecules.* 2022. 27(17): 5584.
34. Trotta T, Porro C, Cianciulli A, Panaro MA. Beneficial effects of *Spirulina* consumption on brain health. *Nutrients.* 2022. 14(3): 676.
35. Tolpeznikaite E, Bartkevics V, Skrastina A, Pavlenko R, Ruzauskas M, Starkute V, Zokaityte E, Klupsaite D, Ruibys R, Rocha JM, Bartkiene E. Submerged and solid-state fermentation of *Spirulina* with lactic acid bacteria strains: antimicrobial properties and the formation of bioactive compounds of protein origin. *Biology.* 2023. 12(2): 248.
36. Aprilia BE, Fibri DLN, Rahayu ES. Development and characterization of high-protein flakes made from *Spirulina platensis* in instant cereal drinks enriched with probiotic milk powder. *Food Production, Processing and Nutrition.* 2025.7(1):24.
37. Bechaux J, Ferraro V, Sayd T, Chambon C, Le Page JF, Drillet Y, Gatellier P, Santé-Lhoutellier V. Workflow towards the generation of bioactive hydrolysates from porcine products by combining in silico and in vitro approaches. *Food Research International.* 2020. 132:109123.
38. Fang T, Cao H, Wang Y, Gong Y, Wang Z. Global Scientific Trends on Healthy Eating from 2002 to 2021: A Bibliometric and Visualized Analysis. *Nutrients.* 2023. 15(6): 1461.



39. Bürck M, Fratelli C, de Assis M, Braga A. Naturally colored ice creams enriched with C-phycocyanin and *Spirulina* residual biomass: development of a fermented, antioxidant, tasty and stable food product. *Fermentation*. 2024. 10(6):304.
40. Bankole AO, Ironi EA, Awoyale W, Ajani EO. Application of natural and modified additives in yogurt formulation: types, production, and rheological and nutraceutical benefits. *Front Nutr*. 2023. 10:1257439.
41. Gilbert A, Turgeon SL. Studying stirred yogurt microstructure and its correlation to physical properties: A review. *Food Hydrocolloids*. 2021. 121:106970.
42. Lee WJ, Lucey JA. Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2010. 23(9):1127-36.
43. Santos C, Raymundo A, Moreira JB, Prista C. Exploring the potential of lactic acid bacteria fermentation as a clean label alternative for use in yogurt production. *Applied Sciences*. 2025. 15(5): 2686.
44. Abdelazez A, Muhammad Z, Zhang QX, Zhu ZT, Abdelmotaal H, Sami R, Meng XC. Production of a functional frozen yogurt fortified with *Bifidobacterium* spp. *Biomed Res Int*. 2017. 6438528.
45. Gyawali R, Feng X, Chen YP, Lorenzo JM, Ibrahim SA. A review of factors influencing the quality and sensory evaluation techniques applied to Greek yogurt. *J Dairy Res*. 2022. 1-7.
46. Negrete-Romero B, Valencia-Olivares C, Baños-Dossetti GA, Pérez-Armendáriz B, Cardoso-Ugarte GA. Nutritional contributions and health associations of traditional fermented foods. *Fermentation*. 2021. 7(4): 289.
47. Ziarno M, Cichońska P. Lactic acid bacteria-fermentable cereal- and pseudocereal-based beverages. *Microorganisms*. 2021. 9(12):2532.
48. Zielińska D, Kostrzewska A. Development of sourdough bread made with probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* bacteria addition. *Applied Sciences*. 2024. 14(14): 6155.
49. Antić B, Jančiková S, Dordević D, Tremlová B. Grape pomace valorization: a systematic review and meta-analysis. *Foods*. 2020. 9(11): 1627.
50. Coatsworth J, Russell M, Mennis J. Breaking the connection between depressive symptoms and alcohol use among adolescents with a text-message delivered intervention: a randomized controlled pilot trial in primary care. *Journal of Prevention and Health Promotion*. 2022. 3(4):495-507.