บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า (*Spirulina* sp.) เพื่อผลิตเป็นอาหารเสริมสุขภาพสำหรับมนุษย์และอาหารสัตว์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนแถบมหาสมุทรแปซิฟิกเนื่องจากมีแสงแดดซึ่งจัดเป็นแหล่งพลังงานหลักของสาหร่ายสไปรูลิน่าอย่างสม่ำเสมอ โดยแต่ละปีจะมีผลผลิตรวมของสาหร่ายสไปรูลิน่าประมาณ 3,000 ตัน โดยเป็นที่ยอมรับว่าสาหร่ายสไปรูลิน่าจัดเป็นสุดยอดอาหารเพราะมีโปรตีนในปริมาณสูง และประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด รวมถึงวิตามิน แร่ธาตุ กรดไขมันจำเป็น และรงควัตถุต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (Richmond, 1986) การศึกษาทางวิทยาศาสตร์การแพทย์พบว่าสาหร่ายสไปรูลิน่าและสารสกัดของสาหร่ายสไปรูลิน่าส่งผลดีต่อระบบชีวภาพหลายประการ อาทิ แสดงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant effect), ส่งผลดีต่อระบบภูมิคุ้มกัน (immunomodulation effect), แสดงคุณสมบัติต้านทานไวรัส (antiviral effect) และแสดงคุณสมบัติต้านมะเร็ง (anticancer effect) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้เกิดจากสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่สำคัญ 3 ชนิดคือ ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin : PC), ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ (sulfated polysaccharide spirulan) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว gamma linolenic acid (GLA) (Belay, 2002) เป็นที่ทราบกันดีว่าสาหร่ายสไปรูลิน่าจัดเป็นแหล่งอาหารธรรมชาติที่มีโปรตีนมากที่สุดโดยมีประมาณร้อยละ 50-70 ของน้ำหนักแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบกับยีสต์ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนเหมือนกันพบว่า ผนังเซลล์ของสาหร่ายสไปรูลิน่าไม่มีเซลลูโลสจึงทำให้ย่อยได้ง่ายกว่ายีสต์ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยเบต้าแคโรทีน (มีมากกว่าแครอท 10 เท่า) วิตามินบี 12 (มากกว่าตับดิบ 4 เท่า) และวิตามินอื่น ๆ อีกหลายชนิด อาทิ ไนอาซีน, ไบโอติน, กรดโฟลิก, อินซิทอล และวิตามินอี สำหรับไขมันและกรดไขมันพบว่ามีประมาณร้อยละ 4-7 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันจำเป็นชนิด omega-6 สำหรับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบในสาหร่ายสไปรูลิน่าได้แก่ กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก ส่วนคาร์โบไฮเดรตมีประมาณร้อยละ 15-25 ของน้ำหนักแห้ง ประกอบด้วยกลูโคส แรมโนส แมนโนส ไซโลส และกาแลกโตส นอกจากนี้ยังพบสไปรูแลน (spirulan) ซึ่งเป็นซัลเฟต พอลิแซ็กคาไรด์ (sulfated polysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีคุณสมบัติในการต้านไวรัส นอกจากนี้ยังพบแร่ธาตุที่สำคัญอีกหลายชนิด อาทิ เหล็ก, แคลเซียม, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยเฉพาะเหล็กมีปริมาณมากกว่าอาหารทั่ว ๆ ไปถึง 10 เท่า

สาหร่ายสไปรูลิน่าจัดเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) เพราะประกอบด้วยรงควัตถุที่สำคัญหลายชนิด ได้แก่ แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ และไฟโคไบลิโปรตีน โดยพบว่าไฟโคไบลิโปรตีนเป็นรงควัตถุที่มีปริมาณมากที่สุดประมาณร้อยละ 14-16 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งชนิดที่สำคัญคือซี-ไฟโคไซยานิน (ให้สีน้ำเงินครามหรือฟ้า) และอัลโลไฟโคไซยานิน (Allophycocyanin: APC) (ให้สีน้ำเงินเข้ม) โดยประมาณร้อยละ 50 ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในเซลล์ คือซี-ไฟโคไซยานิน และอัลโลไฟโคไซยานิน โดยซี-ไฟโคไซยานินเป็นสารประกอบโปรตีนที่มีหน้าที่ในการรับพลังงานจากแสงแดดแล้วถ่ายทอดพลังงานที่ได้รับไปสู่คลอโรฟิลล์ อีกทั้งยังเป็นแหล่งไนโตรเจนสำรองในสภาวะที่เซลล์ขาดแคลนไนโตรเจน (Bennett and Bogorad, 1973). นอกจากนี้ซี-ไฟโคไซยานินยังจัดเป็นสารที่มีศักยภาพทางการค้ามากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณมากในเซลล์อีกทั้งยังสามารถสกัดแยกออกมาจากเซลล์ได้ง่ายและมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่สำคัญหลายประการ อาทิ ต้านออกซิเดชัน (antioxidant), ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory), ต้านมะเร็ง (anticancer) และต้านแบคทีเรียดื้อยา ซึ่งในบรรดากิจกรรมทางชีวภาพต่าง ๆ พบว่ากิจกรรมการต้านออกซิเดชันมีบทบาทสำคัญมากที่สุด (Chadwick *et al*., 2003) สำหรับการประยุกต์ใช้งานซี-ไฟโคไซยานิน พบว่าส่วนใหญ่จะใช้เป็นสีผสมอาหาร อาหารเสริมสำหรับมนุษย์ ใช้ผสมอาหารสัตว์ และบางส่วนใช้เป็นตัวรับรู้ทางวิทยาอิมมูน/วิทยาภูมิคุ้มกัน (fluorescent probes) โดยการสกัดแยกซี-ไฟโคไซยานินจากเซลล์สาหร่ายสไปรูลิน่าจำเป็นต้องทำให้ผนังเซลล์แตกก่อน เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในเซลล์ ซึ่งวิธีการทำให้ผนังเซลล์แตกสามารถปฏิบัติได้หลายวิธี อาทิ การแช่เยือกแข็งสลับกับการละลาย (repeatedly freezing and thawing, RFT), การใช้คลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic), การใช้เม็ดแก้วบด (dinomill) และการใช้ไลโซไซม์ เป็นต้น โดยที่การใช้เม็ดแก้วบดจัดเป็นวิธีที่มีศักยภาพทางอุตสาหกรรมมากที่สุด เนื่องจากให้ผลได้ของซี-ไฟโคไซยานินสูง อีกทั้งการปฏิบัติและการจัดการไม่ยุ่งยาก ภายหลังจากการทำให้ผนังเซลล์แตกโดยวิธีนี้จำเป็นต้องแยกส่วนที่เป็นเม็ดแก้วออกจากส่วนที่ได้จากการบดซึ่งประกอบด้วยเศษเซลล์ รงควัตถุต่าง ๆ และองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ จากนั้นจะนำส่วนที่เหลือไปตกตะกอนโปรตีนด้วยกรดอินทรีย์เพื่อแยกโปรตีนปนเปื้อนออกจากซี-ไฟโคไซยานิน แล้วจึงนำซี-ไฟโคไซยานินหยาบ (crude C-Phycocyanin) ที่ได้ไปทำบริสุทธิ์ต่อไป

จากขั้นตอนการตกตะกอนโปรตีนจะเหลือส่วนที่เป็นกากชีวมวล (residual biomass) ในปริมาณมาก ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในปริมาณสูง โดยเฉพาะสารประกอบโปรตีนและกรดอะมิโนจำเป็นที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย รวมถึง β-1,2-glucan ที่ทราบกันดีว่ามีฤทธิ์กระตุ้นภูมิคุ้มกัน รวมถึงกรดไขมันจำเป็น วิตามิน และแร่ธาตุอื่น ๆ อีกหลายชนิด ซึ่งปัจจุบันมีการนำกากเซลล์เหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ประโยชน์น้อย และหากมีการจัดการที่ไม่ดีพอก็จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมตามมา ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งหากนำกากชีวมวลเหล่านี้มาใช้ประโยชน์

ทางด้านอาหารอย่างเป็นรูปธรรมเชิงประจักษ์ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำกากชีวมวลดังกล่าวมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ซุปสาหร่ายสไปรูลิน่าสกัดเข้มข้นและพร้อมดื่ม ซึ่งประกอบด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคในปริมาณสูง โดยเฉพาะแหล่งโปรตีนและกรดอะมิโนจำเป็น นอกจากจะเป็นการสร้างทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่รักษ์สุขภาพแล้ว ยังเป็นการสร้างมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งโดยแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ อีกทั้งยังเป็นการจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อย่างชาญฉลาดด้วย นับเป็นการเตรียมความพร้อมให้กับประเทศไทยในการก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนในฐานะคลังอาหารของภูมิภาคที่สามารถแข่งขันกับอารยประเทศได้ด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมส่วนสกัดโปรตีนจากกากชีวมวลเหลือทิ้งของการสกัดซี-ไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูลิน่า ด้วยการออกแบบการทดลองโดยวิธีทะกุจิ
2. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปสาหร่ายสไปรูลิน่าสกัดพร้อมดื่มจากกากชีวมวลเหลือทิ้งของการสกัดซี-ไฟโคไซยานิน
3. เพื่อวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ซุปสาหร่ายสไปรูลิน่าสกัดพร้อมดื่มจากกากชีวมวลเหลือทิ้งของการสกัดซี-ไฟโคไซยานินที่พัฒนาได้
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซุปสาหร่ายสไปรูลิน่าสกัดพร้อมดื่มในระหว่างการเก็บรักษาและทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

ขอบเขตการวิจัย

เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าแบบโฟโตออโตทรอฟโดยใช้อาหาร Zarrouk´s medium ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซี-ไฟโคไซยานิน ระดับบ่อเปิดรางคู่ ขนาด 250 ลิตร จากนั้นเก็บเกี่ยวเซลล์โดยการกรองด้วยผ้ากรองขนาด 50 ไมครอน แล้วนำชีวมวลมาอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำชีวมวลอบแห้งไปสกัดซี-ไฟโคไซยานิน โดยนำไปเข้าเครื่องบด (dinomill) เพื่อทำลายผนังเซลล์จากนั้นแยกส่วนที่เป็นกากเซลล์ที่เหลือจากการสกัดซี-ไฟโคไซยานิน มาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมส่วนสกัดโปรตีน ด้วยการออกแบบการทดลองโดยวิธีทะกุจิ จากนั้นนำส่วนสกัดโปรตีนภายใต้สภาวะการสกัดที่เหมาะสมไประเหยโดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศเพื่อเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ซุปสาหร่ายสไปรูลิน่าสกัดเข้มข้น และพัฒนาสูตรต่อไปเป็นซุปสาหร่ายสไปรูลิน่าพร้อมดื่ม ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับ

ตัวอย่างควบคุม และวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้ตลอดจนศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนาน

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

1. สาหร่ายสไปรูลิน่า (*Spirulina* sp.) หรือ อาร์โธรสไปร่า (*Arthrospira* sp.) เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินแบบเส้นสาย (filamentous cyanobacteria) จัดเป็นสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) ที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เป็นสาหร่ายที่มีประวิติการบริโภคเป็นอาหารมาหลายศตวรรษ สาหร่ายสไปรูลิน่ามีคลอโรฟิลล์ ไม่มีนิวเคลียส ไม่มีราก ไม่มีลำต้นและไม่มีใบที่แท้จริง ต้องการแสงในการเจริญเติบโตส่วนใหญ่เป็นพวกโฟโตออโตทรอฟที่ไม่สามารถใช้น้ำตาลจากแหล่งภายนอกได้ สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในบริเวณน้ำตื้นโดยเฉพาะน้ำกร่อย หรือน้ำที่มีความเป็นด่าง พบในธรรมชาติทั่วไปทั้งในดิน หนองน้ำ น้ำพุร้อน ทะเล และน้ำจืด โดยเฉพาะทะเลสาบที่น้ำมีความเป็นด่างเบสของทวีปแอฟริกาและประเทศเม็กซิโก สายพันธุ์ที่พบมากที่สุดคือ *S. platensis* และ *S. maxima*

2. ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin ; C-PC) เป็นสารประกอบโปรตีนที่ทำหน้าเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงแดดแล้วถ่ายเทพลังงานดังกล่าวผ่านเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (Thylakoid membrane) เข้าสู่ระบบการสังเคราะห์แสงของเซลล์ พบได้ในไซยาโนแบคทีเรียและสาหร่ายสีแดงบางชนิด มีลักษณะเป็นสารประกอบที่มีสีฟ้า เรืองแสงได้ ละลายน้ำได้ และมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 615-620 นาโนเมตร และมีการปลดปล่อยแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 650 นาโนเมตร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบโปสเตอร์/บรรยาย/ บทความวิจัย อย่างใดอย่างหนึ่ง หรืออย่างน้อย 1 ครั้ง ในที่ประชุมวิชาการที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหารในระดับชาติ

2. จดสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์วิจัย อย่างน้อย 1 เรื่อง และสนับสนุนให้มีการผลิตผลิตภัณฑ์เชิงการค้า