

2 การศึกษาคุณภาพวัตถุดิบสำหรับสายสไปรูลิน่าต่อการสกัดไฟโคไซยานิน

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบชีวเคมีของวัตถุดิบสไปรูลิน่า

ปริมาณผลผลิต (yield) และค่าความบริสุทธิ์ (purity) ของสารสกัดไฟโคไซยานินที่สกัดได้จากสายสไปรูลิน่าขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ตัวอย่างเช่น วิธีการสกัดไฟโคไซยานิน วิธีการและขั้นตอนการทำให้สารสกัดไฟโคไซยานินบริสุทธิ์ และคุณภาพของวัตถุดิบสไปรูลิน่าที่นำมาใช้ในการสกัด เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาถึงผลของคุณภาพวัตถุดิบสไปรูลิน่าที่นำมาใช้ในการสกัดไฟโคไซยานิน โดยคุณภาพของวัตถุดิบสไปรูลิน่าเองขึ้นกับสารเคมีที่ใช้เลี้ยงและวิธีการจัดการบ่อเพาะเลี้ยง สภาวะในการเลี้ยง รวมทั้งอายุเซลล์ที่ทำการเก็บเกี่ยว

การนำสายสไปรูลิน่ามาสกัดไฟโคไซยานินนอกจากเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของสไปรูลิน่าแล้ว ขณะเดียวกันยังช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพผลผลิตสไปรูลิน่าของผู้ผลิตรายย่อยที่มีคุณภาพต่ำไม่สามารถขายในเกรดอาหารเสริมได้อีกด้วย งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อทราบถึงผลของคุณภาพวัตถุดิบสายสไปรูลิน่าต่อการนำไปสกัดไฟโคไซยานินเกรดอาหารและได้ข้อมูลเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้วัตถุดิบสไปรูลิน่าสำหรับนำมาสกัดไฟโคไซยานินเกรดอาหารในลำดับต่อไป ทำการวิจัยโดยใช้สายสไปรูลิน่าซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทต่าง ๆ เป็นจำนวน 10 ตัวอย่าง ดังนี้สายสไปรูลิน่าที่เลี้ยงโดยเกษตรกรรายย่อยในจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 8 ตัวอย่าง (ตัวอย่าง A ถึง H) อนุเคราะห์โดยบริษัทกรีนไทมอนด์ และจากห้างหุ้นส่วนนาทอง 1 ตัวอย่าง (I) และอีกหนึ่งตัวอย่างเป็นผลิตภัณฑ์สไปรูลิน่าที่จำหน่ายในท้องตลาด (ตัวอย่าง J)

ขั้นแรกเพื่อทราบถึงข้อมูลองค์ประกอบสำคัญพื้นฐานในสายสไปรูลิน่าทั้ง 10 ตัวอย่าง ได้วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและปริมาณไฟโคไซยานิน รวมทั้งปริมาณโลหะหนัก (แคดเมียม สารหนูและตะกั่ว) ดังผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 องค์ประกอบโปรตีน ไฟโคไซยานิน และปริมาณโลหะหนักของตัวอย่างสายสไปรูลิน่าที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดไฟโคไซยานิน

| ตัวอย่าง สไปรูลิน่า | องค์ประกอบสำคัญ (%DW) | | | โลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | | |
|------------------------|-----------------------|-------------|-----------|-------------------------------|----------------|----------------|
| | โปรตีน | ไฟโคไซยานิน | ความชื้น | แคดเมียม (Cd) | สารหนู (As) | ตะกั่ว (Pb) |
| A | 56.2±3.8 | 2.66±0.16 | 4.17±0.13 | 0.089±0.012 | ไม่พบ | 0.056±0.001 |
| B | 38.1±1.1 | 0.90±0.16 | 5.27±0.07 | 0.994±0.155 | 0.217±0.013 | 0.044±0.007 |
| C | 40.1±2.4 | 0.97±0.05 | 4.51±0.10 | 0.114±0.008 | 0.135±0.012 | 0.026±0.001 |
| D | 31.2±1.7 | 5.26±0.17 | 7.94±0.04 | 0.759±0.184 | 0.185±0.007 | 0.035±0.007 |
| E | 59.4±1.0 | 6.02±0.19 | 4.40±0.08 | 0.709±0.056 | 0.243±0.010 | 0.040±0.000 |
| F | 55.4±1.6 | 12.49±0.20 | 4.19±0.04 | 0.759±0.184 | 0.185±0.007 | 0.035±0.007 |
| G | 49.7±1.8 | 13.23±0.9 | 4.18±0.08 | 0.029±0.000 | ไม่พบ | 0.021±0.001 |
| H | 50.4±1.5 | 8.18±0.29 | 6.57±0.46 | 0.827±0.054 | ไม่พบ | 0.045±0.007 |
| I | 51.2±1.1 | 22.91±0.34 | 8.17±0.04 | 0.020±0.000 | 0.079±0.003 | 0.012±0.002 |
| J | 50.5±1.8 | 6.93±0.23 | 6.60±0.34 | 0.822±0.033 | 0.214±0.021 | 0.030±0.001 |

จากตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ปริมาณไฟโคไซยานินและปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างสไปรูลิน่าทั้ง 10 ตัวอย่าง พบว่า วัตถุประสงค์สไปรูลิน่าจำนวน 3 ตัวอย่างที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ อยู่ในช่วงร้อยละ 30-40 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง คือ ตัวอย่าง B, C และ D มีปริมาณโปรตีนปานกลาง ประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง 4 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่าง G, H, I และ J ขณะที่วัตถุประสงค์อีกจำนวน 3 ตัวอย่าง มีปริมาณโปรตีนสูง มากกว่าร้อยละ 55 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง คือ ตัวอย่าง A, E และ F จากการศึกษาของ Cohen และ คณะ (1997) รายงานว่า มาตรฐานของสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ใช้เป็นอาหารเสริมควรมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 55 ของน้ำหนักสาหร่าย ขณะที่กลุ่ม *Spirulina Consortium* กำหนดเกณฑ์มาตรฐานโปรตีนของสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ใช้ผลิตเป็นอาหารเสริมประมาณร้อยละ 55 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง [บุษยาและคณะ, 2546] เช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่ออ้างอิงจากข้อมูลมาตรฐานโปรตีนของสไปรูลิน่าทั้งสอง 2 แหล่ง พบว่า มีสาหร่ายสไปรูลิน่าจำนวน 7 ตัวอย่างที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าเกณฑ์ไม่สามารถนำมาผลิตเป็นอาหารเสริมได้ สำหรับค่าความชื้นในวัตถุประสงค์สไปรูลิน่าทั้ง 10 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4-8 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง โดยสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ได้รับอนุเคราะห์จากบริษัทนาทองมีค่าความชื้นสูงที่สุดคือร้อยละ 8.17 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่ายถ้าเก็บไว้เป็นเวลานาน ขณะที่ปริมาณไฟโคไซยานินในสาหร่ายสไปรูลิน่าทั้ง 10 ตัวอย่างมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่มีประมาณร้อยละ 5-13 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง และพบว่าสาหร่ายสไปรูลิน่าจากห้างหุ้นส่วนนาทองมีปริมาณไฟโคไซยานินมากที่สุดคือร้อยละ 22 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ขณะที่อีก 3 ตัวอย่าง มีปริมาณไฟโคไซยานินไม่ถึงร้อยละ 3 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง และจากค่ามาตรฐานของปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์สาหร่ายสไปรูลิน่าที่กำหนดโดย Japan Health Food และ Earthrise farms และ กลุ่ม *Spirulina Consortium* ได้กำหนดค่าเกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดไว้ดังตารางที่ 1 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนัก 3 ชนิด ที่วิเคราะห์ได้จากวัตถุประสงค์สไปรูลิน่าทั้ง 10 ตัวอย่าง ที่ใช้ในงานวิจัยนี้กับค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยหน่วยงานต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า ตัวอย่างสไปรูลิน่าทั้ง 10 ตัวอย่าง มีปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด อยู่ในเกณฑ์ที่กลุ่ม *Spirulina Consortium* กำหนด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานโลหะหนักของ Earthrise farms พบว่า มีเพียง 3 ตัวอย่างคือ A, G และ I มีปริมาณโลหะหนักแคดเมียมต่ำกว่าที่ Earthrise farms กำหนด และในวัตถุประสงค์สไปรูลิน่าที่มีโลหะหนักปนเปื้อนทั้งสามชนิด เห็นได้ว่ามีโลหะหนักตะกั่วตกค้างในปริมาณที่ต่ำกว่าโลหะหนักแคดเมียมและสารหนู นอกจากนี้มีวัตถุประสงค์สไปรูลิน่า 3 ตัวอย่างคือ A, G และ H ที่ไม่พบโลหะหนักสารหนู ดังนั้นเพื่อทราบวัตถุประสงค์สไปรูลิน่าที่มีโลหะหนักปนเปื้อนเมื่อนำมาสกัดไฟโคไซยานินและผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งแล้วสารสกัดไฟโคไซยานินที่ได้มีโลหะหนักตกค้างในปริมาณมากน้อยเพียงใด

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยใช้ปริมาณไฟโคไซยานินเป็นเกณฑ์ในการจัดกลุ่มและได้จัดกลุ่มของตัวอย่างสไปรูลิน่าที่จะใช้เป็นวัตถุประสงค์ในการสกัดไฟโคไซยานิน ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ปริมาณไฟโคไซยานินต่ำกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ได้แก่ ตัวอย่าง A, B และ C

กลุ่มที่ 2 ปริมาณไฟโคไซยานินตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 10 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ได้แก่ ตัวอย่าง D, E, H และ J

กลุ่มที่ 3 ปริมาณไฟโคไซยานินมากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ได้แก่ ตัวอย่าง F, G และ I

จากปริมาณไฟโคไซยานินและโปรตีนในตัวอย่างสไปรูลิน่าทั้ง 10 ตัวอย่าง ตารางที่ 14 คณะผู้วิจัยได้เลือกตัวอย่างวัตถุดิบสไปรูลิน่าเพื่อเป็นตัวแทนของทั้ง 3 กลุ่ม จำนวน 9 ตัวอย่าง ดังนี้

| | |
|------------|------------------------|
| กลุ่มที่ 1 | ตัวอย่าง A และ B |
| กลุ่มที่ 2 | ตัวอย่าง D, E, H และ J |
| กลุ่มที่ 3 | ตัวอย่าง F, G และ I |

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่มีปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์ต่ำ ได้เลือกมาศึกษา 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่าง A และ B โดยทั้งสองตัวอย่างมีองค์ประกอบโปรตีนในปริมาณที่แตกต่างกันคือ GD-1 มีปริมาณโปรตีนสูง แต่มีปริมาณไฟโคไซยานินต่ำ ขณะที่ตัวอย่าง B มีปริมาณโปรตีนต่ำและมีปริมาณไฟโคไซยานินต่ำ เพื่อทราบว่าเซลล์สไปรูลิน่าที่มีปริมาณโปรตีนสูงมีผลต่อปริมาณผลผลิตและค่าความบริสุทธิ์ของสารสกัดไฟโคไซยานินหรือไม่อย่างไร ขณะที่ตัวอย่างสไปรูลิน่ากลุ่มที่ 2 จำนวน 4 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ 3 จำนวน 3 ตัวอย่าง จะนำมาใช้ในการศึกษาทั้งหมด

2.2 การสกัดไฟโคไซยานินจากวัตถุดิบสไปรูลิน่า

สาหร่ายสไปรูลิน่าทั้ง 9 ตัวอย่าง ถูกนำมาสกัดไฟโคไซยานินโดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และกำจัดกากเซลล์ขนาดเล็กโดยผ่านระบบการกรองไมโครฟิลเตรชัน จากนั้นทำให้สารละลายไฟโคไซยานินมีความบริสุทธิ์และความเข้มข้นเพิ่มขึ้นด้วยระบบการกรองอัลตราฟิลเตรชัน ขั้นตอนสุดท้ายคือการทำแห้งสารละลายไฟโคไซยานินเข้มข้นด้วยวิธีอบแห้งแบบแช่แข็ง ได้เป็นสารสกัดไฟโคไซยานินที่มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะทำการเก็บตัวอย่างของสารละลายไฟโคไซยานินไปวิเคราะห์ค่าความบริสุทธิ์และความเข้มข้น รวมทั้งวัดค่าความขุ่นของกากเซลล์ด้วย

การสกัดไฟโคไซยานินในขั้นตอนแรกสารละลายไฟโคไซยานินถูกสกัดออกจากเซลล์สาหร่ายด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์และนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อตกตะกอนกากเซลล์ ซึ่งพบว่าสารละลายไฟโคไซยานินยังมีกากเซลล์ปนอยู่ ดังนั้นเพื่อกำจัดกากเซลล์ขนาดเล็กดังกล่าว ทำโดยนำสารละลายไฟโคไซยานินมาผ่านระบบการกรองไมโครฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 5 μm และ 0.8/0.2 μm ตามลำดับ และนำไปวัดค่าความขุ่นของกากเซลล์ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ดังข้อมูลในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าความขุ่นของกากเซลล์ (OD_{560}) และปริมาณกากเซลล์เมื่อผ่านกระบวนการสกัด และกระบวนการไมโครฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด $5\ \mu\text{m}$ และ $0.8/0.2\ \mu\text{m}$

| | ค่าความขุ่นของกากเซลล์ (OD_{560}) | | | ปริมาณกากเซลล์ในสารละลายไฟโคไซยานิน (%) | | |
|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------------|
| | กระบวนการสกัด | กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน | | กระบวนการสกัด | กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน | |
| | | เมมเบรน $5\ \mu\text{m}$ | เมมเบรน $0.8/0.2\ \mu\text{m}$ | | เมมเบรน $5\ \mu\text{m}$ | เมมเบรน $0.8/0.2\ \mu\text{m}$ |
| กลุ่มที่ 1 | | | | | | |
| A | 0.335±0.035 | 0.326±0.032 | 0.297±0.023 | 100 | 97.3 | 88.6 |
| กลุ่มที่ 2 | | | | | | |
| E | 0.814±0.077 | 0.765±0.077 | 0.701±0.049 | 100 | 94.0 | 86.1 |
| J | 1.255±0.025 | 1.105±0.009 | 0.997±0.015 | 100 | 88.0 | 79.5 |
| กลุ่มที่ 3 | | | | | | |
| F | 2.596±0.020 | 1.748±0.139 | 1.587±0.027 | 100 | 67.3 | 60.9 |
| G | 2.488±0.221 | 1.877±0.160 | 1.608±0.181 | 100 | 75.4 | 64.6 |
| I | 3.098±0.216 | 2.783±0.175 | 2.472±0.131 | 100 | 89.8 | 79.8 |

จากตารางที่ 18 สารละลายไฟโคไซยานินที่ผ่านกระบวนการสกัดด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 ความเข้มข้นความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และนำไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนกากเซลล์ เมื่อวัดค่าความขุ่นที่ความยาวคลื่น 560 nm เห็นได้ว่า ค่าความขุ่นของสารละลายไฟโคไซยานินจะสอดคล้องกับปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์ (ข้อมูลจากตารางที่ 17) โดยตัวอย่างสไปรูลินาในกลุ่มที่ 3 ซึ่งมีไฟโคไซยานินสูงมากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง จะมีความขุ่นของสารละลายไฟโคไซยานินประมาณ 2.5-3.0 ขณะที่กลุ่มที่ 1 ที่มีปริมาณไฟโคไซยานินต่ำไม่ถึงร้อยละ 5 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง จะมีความขุ่นของสารละลายไฟโคไซยานินต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดคืออยู่ที่ประมาณ 0.3 ซึ่งต่ำกว่าความขุ่นของกากเซลล์ในสารละลายไฟโคไซยานินกลุ่มที่ 1 ประมาณ 8.3-10 เท่า การนำสารละลายไฟโคไซยานินมาผ่านระบบการกรองไมโครฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด $5\ \mu\text{m}$ และ $0.8/0.2\ \mu\text{m}$ จะช่วยลดปริมาณกากเซลล์ที่ไม่ตกตะกอนหลังจากนำไปปั่นเหวี่ยงได้ โดยตัวอย่าง A หลังผ่านเมมเบรนขนาด $5\ \mu\text{m}$ และ $0.8/0.2\ \mu\text{m}$ ความขุ่นของกากเซลล์ลดลงร้อยละ 2.7 และ 11.4 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับความขุ่นของกากเซลล์เริ่มต้น ส่วนตัวอย่างสไปรูลินากลุ่มที่ 2 คือ ตัวอย่าง E และ J หลังผ่านเมมเบรน $0.8/0.2\ \mu\text{m}$ ความขุ่นของกากเซลล์ลดลงร้อยละ 13.9 และ 20.5 ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างสไปรูลินากลุ่มที่ 3 คือ ตัวอย่าง F, G และ I หลังผ่านเมมเบรน $0.8/0.2\ \mu\text{m}$ ความขุ่นของกากเซลล์ลดลงร้อยละ 39.1, 35.4 และ 20.2 ตามลำดับ

สารละลายไฟโคไซยานินทั้ง 9 ตัวอย่าง ที่กรองแยกกากเซลล์ขนาดเล็กออกโดยระบบการกรองไมโครฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด $5\ \mu\text{m}$ และ $0.8/0.2\ \mu\text{m}$ ตามลำดับ แล้วนั้นจะถูกนำมาทำเจตน้ำและฟอสเฟต

บัพเฟอร์ออกเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์และเข้มข้นของสารละลายไฟโคไซยานินโดยผ่านระบบการกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 50 kDa ซึ่งการกรองด้วยระบบอัลตราฟิลเตรชันนี้สามารถกำจัดน้ำได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำทั้งหมด และจากการเก็บตัวอย่างของสารละลายไฟโคไซยานินในแต่ละขั้นตอนมาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ ได้ผลดังตารางที่ 19 และ 20

ตารางที่ 19 ความเข้มข้นของไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ผ่านกระบวนการสกัด กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน และกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

| ตัวอย่าง | ความเข้มข้นของไฟโคไซยานิน* (mg/ml) | | | |
|-------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| | กระบวนการสกัดไฟโคไซยานิน | กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน | | กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันเมมเบรน 50 kDa |
| | | เมมเบรน 5 μ m | เมมเบรน 0.8/0.2 μ m | |
| กลุ่มที่ 1 | | | | |
| A | 0.129 \pm 0.008 | 0.127 \pm 0.008 | 0.118 \pm 0.011 | 1.237 \pm 0.229 |
| B | 0.046 \pm 0.004 | 0.045 \pm 0.006 | 0.042 \pm 0.004 | 0.493 \pm 0.068 |
| กลุ่มที่ 2 | | | | |
| D | 0.324 \pm 0.041 | 0.303 \pm 0.026 | 0.275 \pm 0.019 | 3.450 \pm 0.392 |
| E | 0.315 \pm 0.009 | 0.302 \pm 0.010 | 0.288 \pm 0.008 | 3.374 \pm 0.029 |
| H | 0.516 \pm 0.018 | 0.418 \pm 0.002 | 0.388 \pm 0.005 | 4.490 \pm 0.111 |
| J | 0.468 \pm 0.039 | 0.423 \pm 0.034 | 0.332 \pm 0.029 | 3.718 \pm 0.446 |
| กลุ่มที่ 3 | | | | |
| F | 0.990 \pm 0.029 | 0.772 \pm 0.034 | 0.695 \pm 0.026 | 7.480 \pm 0.516 |
| G | 1.018 \pm 0.047 | 0.856 \pm 0.084 | 0.788 \pm 0.095 | 7.724 \pm 0.823 |
| I | 1.442 \pm 0.005 | 1.283 \pm 0.004 | 1.116 \pm 0.038 | 11.682 \pm 0.380 |

*ความเข้มข้นของซีไฟโคไซยานิน (CPC) รวมกับอัลโลไฟโคไซยานิน (APC)

จากข้อมูลตารางที่ 19 ในกระบวนการสกัดไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูลิน่าทั้ง 9 ตัวอย่าง พบว่าความเข้มข้นของไฟโคไซยานินในสารละลายไฟโคไซยานินที่มีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไป โดยค่าความเข้มข้นของไฟโคไซยานินในสารละลายไฟโคไซยานินที่สกัดได้สัมพันธ์กับปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์สาหร่ายสไปรูลิน่าตอนเริ่มต้น ดังนี้คือ เซลล์สไปรูลิน่าที่มีปริมาณไฟโคไซยานินสูงเมื่อนำมาสกัดด้วยฟอสเฟตบัพเฟอร์จะได้สารละลายไฟโคไซยานินที่มีความเข้มข้นของไฟโคไซยานินสูงเช่นกัน ซึ่งจากตารางที่ 19 เห็นได้ว่า ตัวอย่างสไปรูลิน่ากลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นของไฟโคไซยานินน้อยที่สุด คือ 0.05-0.13 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเพิ่มขึ้นในตัวอย่าง สไปรูลิน่ากลุ่มที่ 2 คือมีค่าความเข้มข้นของไฟโคไซยานินอยู่ในช่วง 0.3-0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และกลุ่มที่ 3 ซึ่งเป็นกลุ่มมีค่าความเข้มข้นของไฟโคไซยานินสูงที่สุดอยู่ในช่วง 1.0-1.4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อนำสารละลายไฟโคไซยานินมาผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 5 μ m และ 0.8/0.2 μ m พบว่า ความเข้มข้นของไฟโคไซยานินเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนของการสกัดมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 2-22 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 5 μ m และลดลงร้อยละ 9-30 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด

5 μm และ 0.8/0.2 μm โดยคาดว่าสารไฟโคไซยานินอาจสูญเสียไประหว่างกรองผ่านเมมเบรนทั้งสองขนาด (สารไฟโคไซยานินส่วนหนึ่งจะตกค้างอยู่ภายในเมมเบรนและสูญเสียไปขณะที่ทำการล้างเมมเบรนดังกล่าว) ลำดับต่อมาเมื่อนำสารละลายไฟโคไซยานินมาผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 50 kDa ขั้นตอนนี้จะมีการกำจัดน้ำ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุลต่ำกว่า 50 kDa ออกไป ในส่วนของฟิลเตรต (filtrate) ขณะที่ไฟโคไซยานินจะถูกกักไว้ในส่วนของรีเทนเตรต (retentrate) ในรูปของสารละลายไฟโคไซยานินเข้มข้น โดยทั้ง 9 ตัวอย่างมีความเข้มข้นของไฟโคไซยานินสูงขึ้นประมาณ 10 เท่า เมื่อเทียบกับความเข้มข้นไฟโคไซยานินของสารละลายไฟโคไซยานินหลังผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 0.8/0.2 μm

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นสารละลายไฟโคไซยานินแต่ละกลุ่ม พบว่า กลุ่มที่ 3 ซึ่งเป็นกลุ่มของตัวอย่างสไปรูลิनाที่มีปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์สูง (มากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักเซลล์แห้ง) เพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดไฟโคไซยานินและผ่านกระบวนการต่าง ๆ จะได้สารละลายไฟโคไซยานินที่มีความเข้มข้นของไฟโคไซยานินสูงกว่าตัวอย่างสไปรูลินาในกลุ่มที่ 1 และ 2 ในทุก ๆ ขั้นตอน และจากวัตถุดิบสไปรูลินาทั้ง 9 ตัวอย่าง พบว่า สไปรูลินาที่ได้รับอนุเคราะห์จากห้างหุ้นส่วนนาทอง (ตัวอย่าง I) ซึ่งมีปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์สูงที่สุดคือร้อยละ 22.9 ของน้ำหนักเซลล์แห้ง มีค่าความเข้มข้นของไฟโคไซยานินหลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันสูงที่สุดคือ 11.7 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าความเข้มข้นของไฟโคไซยานินจะสัมพันธ์กับปริมาณไฟโคไซยานินภายในเซลล์สไปรูลินา

ตารางที่ 20 ความบริสุทธิ์ของสารละลายไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูลินาที่ผ่านกระบวนการสกัด กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน และกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

| ตัวอย่าง | ความบริสุทธิ์ของสารละลายไฟโคไซยานิน (A_{620}/A_{280}) | | | |
|-------------------|---|-------------------------|-------------------------------|--|
| | กระบวนการสกัดไฟโคไซยานิน | กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน | | กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันเมมเบรน 50 kDa |
| | | เมมเบรน 5 μm | เมมเบรน 0.8/0.2 μm | |
| กลุ่มที่ 1 | | | | |
| A | 0.126 \pm 0.007 | 0.127 \pm 0.004 | 0.127 \pm 0.008 | 0.543 \pm 0.047; 4.3* |
| B | 0.059 \pm 0.006 | 0.062 \pm 0.008 | 0.064 \pm 0.004 | 0.322 \pm 0.043; 5.5 |
| กลุ่มที่ 2 | | | | |
| D | 0.262 \pm 0.018 | 0.263 \pm 0.014 | 0.267 \pm 0.016 | 0.602 \pm 0.012; 2.3 |
| E | 0.255 \pm 0.015 | 0.255 \pm 0.014 | 0.261 \pm 0.007 | 0.756 \pm 0.044; 2.9 |
| H | 0.305 \pm 0.009 | 0.297 \pm 0.011 | 0.305 \pm 0.011 | 0.744 \pm 0.038; 2.4 |
| J | 0.270 \pm 0.015 | 0.276 \pm 0.005 | 0.273 \pm 0.010 | 0.751 \pm 0.023; 2.8 |
| กลุ่มที่ 3 | | | | |
| F | 0.459 \pm 0.004 | 0.483 \pm 0.002 | 0.488 \pm 0.006 | 0.996 \pm 0.011; 2.2 |
| G | 0.449 \pm 0.022 | 0.468 \pm 0.013 | 0.477 \pm 0.015 | 1.011 \pm 0.032; 2.2 |
| I | 0.801 \pm 0.011 | 0.802 \pm 0.004 | 0.809 \pm 0.008 | 1.218 \pm 0.031; 1.5 |

*จำนวนเท่าของค่าความบริสุทธิ์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการสกัด

จากตารางที่ 20 แสดงค่าความบริสุทธิ์ (A_{620}/A_{280}) ของสารละลายไฟโคไซยานินหลังผ่านขั้นตอนต่างๆ เห็นได้ว่าค่าความบริสุทธิ์จะเป็นไปในแนวทางเดียวกับค่าความเข้มข้นของไฟโคไซยานิน คือ สารละลายไฟโคไซยานินของตัวอย่างกลุ่มที่ 1 มีค่าความบริสุทธิ์ต่ำที่สุด และเพิ่มขึ้นในสารละลายไฟโคไซยานินของตัวอย่างกลุ่มที่ 2 และ กลุ่มที่ 3 ตามลำดับ ในกระบวนการสกัดซึ่งเป็นขั้นตอนแรกพบว่า ตัวอย่างสไปรูลินากลุ่มที่ 1 ซึ่งมีปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์ต่ำ เมื่อนำมาสกัดไฟโคไซยานินจะได้สารละลายไฟโคไซยานินที่มีค่าความบริสุทธิ์ต่ำ โดยสารละลายไฟโคไซยานินของตัวอย่าง A และ B มีค่าความบริสุทธิ์ 0.126 และ 0.059 ตามลำดับ สารละลายไฟโคไซยานินของตัวอย่างกลุ่มที่ 2 มีค่าความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 0.25-0.3 สารละลายไฟโคไซยานินของตัวอย่างกลุ่มที่ 3 คือ ตัวอย่าง F และ G มีค่าความบริสุทธิ์ประมาณ 0.45 โดยสารละลายไฟโคไซยานินของตัวอย่าง I มีค่าความบริสุทธิ์สูงที่สุดคือ 0.802

เมื่อสารละลายไฟโคไซยานินทั้ง 9 ตัวอย่าง ถูกนำมาผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 5 μm และ 0.8/0.2 μm พบว่าไม่ได้มีผลต่อค่าความบริสุทธิ์โดยเห็นได้จากค่าความบริสุทธิ์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เพราะการกรองด้วยเมมเบรนไมโครฟิลเตรชัน อนุภาคที่ถูกกรองออกจากสารละลายไฟโคไซยานินส่วนใหญ่เป็นอนุภาคของกากเซลล์สาหร่าย ขณะที่อนุภาคของโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุลเล็กและละลายน้ำปอยู่ในสารละลายไฟโคไซยานินจะไม่ถูกกรองแยกออก ทำให้ค่าความบริสุทธิ์ซึ่งคำนวณจากการดูดกลืนแสงของซีไฟโคไซยานินที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร ส่วนด้วยค่าการดูดกลืนแสงของโปรตีนที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร (A_{620}/A_{280}) ไม่เปลี่ยนแปลง ลำดับต่อมาเมื่อนำสารละลายไฟโคไซยานินมาผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 50 kDa ซึ่งมีการกำจัดน้ำ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ รวมทั้งโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุลต่ำกว่า 50 kDa ออกคิดเป็นร้อยละ 90 ของปริมาณสารละลายไฟโคไซยานินเริ่มต้น มีผลให้สารละลายไฟโคไซยานินทั้ง 9 ตัวอย่างมีค่าความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นดังนี้ สารละลายไฟโคไซยานินเข้มข้นของตัวอย่างกลุ่มที่ 1 มีค่าความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 0.3-0.5 สารละลายไฟโคไซยานินเข้มข้นของตัวอย่างกลุ่มที่ 2 มีค่าความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 0.6-0.75 และสารละลายไฟโคไซยานินเข้มข้นของตัวอย่างกลุ่มที่ 3 มีค่าความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 1.0-1.2 ซึ่งจากตารางที่ 20 ค่าความบริสุทธิ์สารละลายไฟโคไซยานินเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความบริสุทธิ์ในกระบวนการสกัดนั้นสารละลายไฟโคไซยานินแต่ละกลุ่มนี้จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแตกต่างกัน โดยตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ในกระบวนการสกัดขั้นตอนแรกนั้นมีค่าความบริสุทธิ์ต่ำประมาณ 0.059 และ 0.126 หลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันแล้วพบว่า มีสัดส่วนของการเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 4.3 และ 5.6 เท่า ตามลำดับ ขณะที่สารละลายไฟโคไซยานินของตัวอย่างกลุ่มที่ 2 เพิ่มขึ้นประมาณ 2.3-2.9 เท่า ส่วนสารละลายไฟโคไซยานินของตัวอย่างกลุ่มที่ 3 มีสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าบริสุทธิ์ต่ำที่สุดคือ 1.5-2.2 เท่า จากการศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบอาจสรุปได้ว่าวัตถุดิบสไปรูลินากลุ่มที่ 3 ที่มีปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์สูงอยู่ในช่วงร้อยละ 12-22 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง (ข้อมูลจากตารางที่ 14) เมื่อนำมาสกัดแยกไฟโคไซยานินจะได้สารไฟโคไซยานินที่มีค่าบริสุทธิ์สูงประมาณ 1-1.2 ซึ่งเมื่ออ้างอิงกับข้อมูลจากหลายๆ รายงานวิจัยที่รายงานว่า สารไฟโคไซยานินที่มีค่าความบริสุทธิ์มากกว่า 0.8 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางได้

2.3 การทำแห้งสารสกัดไฟโคไซยานินและการศึกษาองค์ประกอบของสารสกัดไฟโคไซยานิน

สารละลายไฟโคไซยานินเข้มข้นที่ผ่านระบบการกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 50 kDa ถูกทำให้แข็งตัวด้วยการนำไปแช่ในอ่างเอทานอลและทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze dryer) จะได้สารสกัดไฟโคไซยานินที่มีลักษณะเป็นผงมีสีแตกต่างกัน ดังรูปที่ 22

กลุ่มที่ 1



A-P



B-P

กลุ่มที่ 2



D-P



E-P



H-P



J-P

กลุ่มที่ 3



F-P



G-P



I-P

รูปที่ 22 สารสกัดไฟโคไซยานินจากสไปรูลิน่าที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็ง

จากรูปที่ 22 สีของสารสกัดไฟโคไซยานินกลุ่มที่ 1 คือ สารสกัด A-P และ B-P เป็นสีฟ้าอ่อน ทั้งนี้เนื่องจากสารสกัดไฟโคไซยานินทั้งสองตัวอย่างมีความเข้มข้นของไฟโคไซยานินต่ำอยู่ที่ประมาณ 0.5 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ขณะที่สารสกัดไฟโคไซยานินกลุ่มที่ 2 คือ สารสกัด D-P, E-P, H-P และ J-P และกลุ่มที่ 3 คือ สารสกัด F-P, G-P และ I-P มีความเข้มข้นของไฟโคไซยานินสูงกว่าสารสกัดกลุ่มที่ 1 คืออยู่ในช่วง 3.4-11.7 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้สารสกัดไฟโคไซยานินที่ได้มีลักษณะเป็นผงสีน้ำเงินเข้ม และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตสารสกัดไฟโคไซยานินที่ได้จากการใช้สไปรูลิน่าเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการสกัดเท่ากันคือ 15 กรัม พบว่า กลุ่มที่ 1 คือ ซึ่งใช้ตัวอย่างสไปรูลิน่า A และ B เป็นวัตถุดิบจะได้สารสกัดไฟโคไซยานิน A-

P และ B-P 2.5 กรัม คิดเป็นร้อยละ 16.6 ของน้ำหนักสารร่ายแห้ง ขณะที่กลุ่มที่ 2 ใช้ตัวอย่างสไปรูลิหน้า D, E, H และ J เป็นวัตถุดิบจะได้สารสกัดไฟโคไซยานิน D-P, E-P, H-P และ J-P ที่มีน้ำหนัก 3.7, 2.4, 4.1 และ 3.5 กรัม คิดเป็นร้อยละ 24.5, 16.0, 27.5 และ 23.5 ของน้ำหนักสารร่ายแห้ง ตามลำดับ กลุ่มที่ 3 ใช้ตัวอย่างสไปรูลิหน้า F, G และ I เป็นวัตถุดิบจะได้สารสกัดไฟโคไซยานิน F-P, G-P และ I-P ที่มีน้ำหนัก 3.8, 4.0 และ 4.7 กรัม คิดเป็นร้อยละ 25.5, 26.7 และ 31.4 ของน้ำหนักสารร่ายแห้ง ตามลำดับ

เมื่อนำสารสกัดไฟโคไซยานินทั้ง 9 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์องค์ประกอบหลักได้แก่ปริมาณโปรตีน ปริมาณซีไฟโคไซยานิน (CPC) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งปริมาณความชื้น พบว่าสารสกัดไฟโคไซยานิน กลุ่มที่ 1 มีปริมาณโปรตีนและปริมาณ CPC ต่ำที่สุดในสารสกัดไฟโคไซยานินทั้ง 3 กลุ่ม คือสารสกัด A-P มีโปรตีนประมาณร้อยละ 20.0 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง ส่วนสารสกัด B-P มีโปรตีนประมาณร้อยละ 9.0 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง และมีปริมาณ CPC เพียงร้อยละ 8.0 และ 2.9 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง ตามลำดับ เห็นได้ว่าตัวอย่าง A ที่มีปริมาณโปรตีนภายในเซลล์สูงเมื่อนำมาสกัดไฟโคไซยานินจะได้สารสกัดไฟโคไซยานิน A-P ที่มีปริมาณโปรตีนกว่าสารสกัด B-P แต่ปริมาณของผลผลิตไฟโคไซยานินที่ได้ไม่แตกต่างจากตัวอย่าง B แต่อย่างใด ส่วนสารสกัดไฟโคไซยานินกลุ่มที่ 2 มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 30-36 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง และมี CPC อยู่ในช่วงร้อยละ 17-23 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง โดยตัวอย่าง E ที่มีปริมาณโปรตีนภายในเซลล์สูงกว่าตัวอย่าง D ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมาณไฟโคไซยานินใกล้เคียงกับตัวอย่าง D เมื่อนำมาสกัดไฟโคไซยานินพบว่า ได้ผลผลิตของสารสกัดไฟโคไซยานิน (E-P) ต่ำกว่าสารสกัด D-P ประมาณร้อยละ 34 แต่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 30 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง เท่ากับสารสกัด D-P ขณะที่สารสกัดไฟโคไซยานินกลุ่มที่ 3 คือ สารสกัด F-P, G-P และ I-P มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดคืออยู่ในช่วงร้อยละ 45-50 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง และมีปริมาณ CPC สูงเช่นเดียวกันคืออยู่ในช่วงร้อยละ 34-45 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง

ตารางที่ 21 ปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบหลักของสารสกัดไฟโคไซยานินที่สกัดได้จากสาหร่ายสไปรูลิหน้า

| สารสกัดไฟโคไซยานิน | ผลผลิตไฟโคไซยานิน | | องค์ประกอบหลัก (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | | | |
|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|----------|--------------|----------|
| | น้ำหนักแห้ง (กรัม) | ร้อยละของสารร่ายแห้ง | โปรตีน | CPC | คาร์โบไฮเดรต | ความชื้น |
| กลุ่มที่ 1 | | | | | | |
| A-P | 2.5±0.1 | 16.6±0.4 | 20.1±1.5 | 8.0±0.4 | 18.7±1.3 | 1.0±0.2 |
| B-P | 2.5±0.1 | 16.5±0.4 | 9.0±1.0 | 2.6±0.7 | 19.0±1.5 | 6.6±1.0 |
| กลุ่มที่ 2 | | | | | | |
| D-P | 3.7±0.1 | 24.5±0.8 | 30.1±0.5 | 16.5±1.6 | 15.7±1.1 | 3.8±1.9 |
| E-P | 2.4±0.1 | 16.0±0.7 | 30.4±3.4 | 22.9±3.5 | 15.0±1.6 | 3.0±1.5 |
| H-P | 4.1±0.3 | 27.5±1.9 | 35.4±0.6 | 21.8±2.4 | 10.9±0.6 | 2.3±0.8 |
| J-P | 3.5±0.1 | 23.5±0.9 | 36.0±1.3 | 20.4±1.0 | 9.3±0.3 | 0.8±0.1 |
| กลุ่มที่ 3 | | | | | | |
| F-P | 3.8±0.1 | 25.5±0.9 | 46.3±2.2 | 33.8±1.9 | 13.2±0.6 | 1.3±0.3 |
| G-P | 4.0±0.2 | 26.7±1.4 | 45.9±2.3 | 35.7±2.4 | 12.4±1.4 | 0.4±0.1 |
| I-P | 4.7±0.1 | 31.4±0.7 | 50.2±1.5 | 45.0±2.3 | 10.5±0.4 | 0.7±0.2 |

สารสกัดไฟโคไซยานินทั้ง 9 ตัวอย่าง มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 9-19 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง โดยสารสกัดไฟโคไซยานินกลุ่มที่หนึ่งคือ สารสกัด A-P และ B-P ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของไฟโคไซยานินและค่าความบริสุทธิ์ต่ำ จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสารสกัดสูงกว่าสารสกัดอีก 7 ตัวอย่าง คือมีประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง ขณะที่ค่าความชื้นของสารสกัดไฟโคไซยานิน พบว่า สารสกัดไฟโคไซยานินจำนวน 4 ตัวอย่าง มีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 1 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง คือ สารสกัด A-P, J-P, G-P และ I-P ตามลำดับ ส่วนสารสกัดไฟโคไซยานินจำนวน 3 ตัวอย่าง มีค่าความชื้นมากกว่าร้อยละ 1 แต่ไม่เกินร้อยละ 3 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง คือ สารสกัด E-P, H-P และ F-P ตามลำดับ ในขณะที่อีก 2 ตัวอย่าง คือสารสกัด B-P และ D-P มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 3 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง โดยสารสกัด B-P มีค่าความชื้นสูงที่สุดในสารสกัดทั้ง 9 ตัวอย่าง คือ ร้อยละ 6.6 ของน้ำหนักไฟโคไซยานินแห้ง

ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในการนำสารสกัดไฟโคไซยานินที่สกัดได้ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง นอกจากสารสกัดไฟโคไซยานินต้องมีค่าความบริสุทธิ์ตามที่กำหนดแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปริมาณโลหะหนักในสารสกัดดังกล่าวด้วย ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแคดเมียม (Cd) สารหนู (As) และตะกั่ว (Pb) ในสารสกัดทั้ง 9 ตัวอย่าง พบว่า สารสกัดไฟโคไซยานิน J-P พบโลหะหนักแคดเมียมในปริมาณสูงคือ 0.398 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่สารสกัดไฟโคไซยานินจำนวน 8 ตัวอย่าง มีโลหะหนักแคดเมียมอยู่ในช่วง 0.053-0.125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบโลหะหนักตะกั่วอยู่ในช่วงประมาณ 0.155-0.469 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยไม่ตรวจพบโลหะหนักสารหนูในสารสกัดไฟโคไซยานินทั้ง 9 ตัวอย่าง ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่วส่วนหนึ่งที่ตกค้างอยู่ในสารสกัดไฟโคไซยานินอาจปนมากับสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมฟอสเฟตบัพเฟอร์ที่ใช้สำหรับสกัดไฟโคไซยานิน ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในสารเคมีโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) และไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) ที่ใช้ในการเตรียมฟอสเฟตบัพเฟอร์ พบว่า สารเคมีทั้งสองชนิดมีโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่วปะปนอยู่แล้วดังข้อมูลในตารางที่ 22 ขณะที่ Niu และคณะ (2007) ทำการสกัดแยกซีไฟโคไซยานินบริสุทธิ์โดยใช้เทคนิคร่วมกันของ expanded bed adsorption, anion exchange chromatography และ hydroxyapatite chromatography และสำหรับสายสปิรูลิน่าคุณภาพต่ำที่ไม่สามารถนำไปใช้เป็นอาหารเสริมของมนุษย์ได้ตามข้อกำหนดของประเทศจีนเรื่อง “Food grade spirulina powder”¹ เป็นวัตถุดิบในการสกัด พบว่าได้ผลผลิตซีไฟโคไซยานินบริสุทธิ์ 4.45 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์สำหรับแห้ง และมีค่าความบริสุทธิ์มากกว่า 3.2 จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิด ในสารสกัดซีไฟโคไซยานิน คือ ตะกั่ว, โครเมียม (Cr), แคดเมียม, ปรอท (Hg) และสารหนู พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.95, 0.43, 0.18, 0.047 และ 0.354 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งไม่เกินข้อกำหนดของ “Food grade spirulina powder”¹ จึงสรุปได้ว่าสามารถนำสารไฟโคไซยานินดังกล่าวไปใช้เป็นสารติดตาม (fluorescent tags) รวมทั้งใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางได้

¹ National Criteria of People's Republic of China, GB/T 16919-1997 (Food grade spirulina powder). General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of People's Republic of China, Beijing, 1997

ตารางที่ 22 ปริมาณโลหะหนักแคดเมียม (Cd) สารหนู (As) และตะกั่ว (Pb) ในสารสกัดไฟโคไซยานินที่สกัดได้จากสาหร่ายสไปรูลิน่า

| สารสกัด ไฟโคไซยานิน | โลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) | | |
|---------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|
| | แคดเมียม (Cd) | สารหนู (As) | ตะกั่ว (Pb) |
| กลุ่มที่ 1 | | | |
| A-P | 0.053±0.010 | ไม่พบ | 0.389±0.007 |
| B-P | 0.099±0.000 | ไม่พบ | 0.332±0.017 |
| กลุ่มที่ 2 | | | |
| D-P | 0.125±0.007 | ไม่พบ | 0.469±0.054 |
| E-P | 0.063±0.012 | ไม่พบ | 0.399±0.014 |
| H-P | 0.100±0.014 | ไม่พบ | 0.291±0.009 |
| J-P | 0.398±0.013 | ไม่พบ | 0.377±0.003 |
| กลุ่มที่ 3 | | | |
| F-P | 0.084±0.007 | ไม่พบ | 0.390±0.021 |
| G-P | 0.070±0.000 | ไม่พบ | 0.210±0.001 |
| I-P | 0.085±0.007 | ไม่พบ | 0.155±0.018 |
| สารเคมี | | | |
| K ₂ HPO ₄ | 0.201±0.005 | ไม่พบ | 0.198±0.014 |
| KH ₂ PO ₄ | 0.647±0.006 | ไม่พบ | 0.270±0.014 |

อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานโลหะหนักของสารสกัดไฟโคไซยานินสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร รวมทั้งการนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ โดยการนำสารสกัดไฟโคไซยานินไปประยุกต์ใช้จะพิจารณาจากค่าความบริสุทธิ์เป็นเกณฑ์ตามที่กล่าวมาข้างต้น จากวัตถุดิบสไปรูลิน่าจำนวน 9 ตัวอย่างที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ อาจสรุปได้ว่าการนำวัตถุดิบสาหร่ายสไปรูลิน่าที่มีองค์ประกอบของสารชีวเคมีภายในเซลล์แตกต่างกันมาสกัดสารไฟโคไซยานินด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พบว่าสารสกัดไฟโคไซยานินที่ได้มีค่าความบริสุทธิ์ ค่าความเข้มข้นของไฟโคไซยานินและผลผลิตของสารสกัดไฟโคไซยานินแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าความบริสุทธิ์และผลผลิตของสารสกัดไฟโคไซยานินที่ได้ ประกอบกับค่าความเข้มข้นของไฟโคไซยานินในสารสกัด อาจสรุปได้ว่าสาหร่ายสไปรูลิน่ากลุ่มที่ 3 คือ ตัวอย่าง F G และ I ซึ่งมีปริมาณไฟโคไซยานินเป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักเซลล์แห้ง เหมาะสมสำหรับนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไฟโคไซยานินเกรดอาหาร

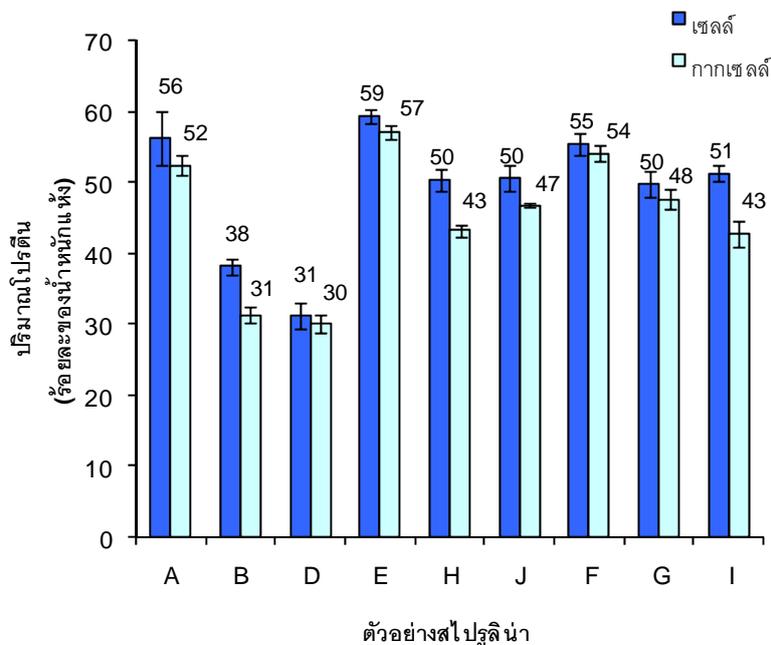
งานวิจัยนี้ใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เป็นตัวทำละลายในการสกัดไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูลิน่าและใช้เทคนิคการปั่นเหวี่ยงเพื่อตกตะกอนแยกกากเซลล์ออกจากสารละลายไฟโคไซยานิน เพื่อวิเคราะห์ว่ากากสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ผ่านการสกัดไฟโคไซยานินแล้วมีปริมาณโปรตีนและไฟโคไซยานินเหลืออยู่มากน้อยเพียงใด จึงทำการวิเคราะห์ปริมาณสารชีวเคมีทั้งสองชนิดในกากเซลล์ทั้ง 9 ตัวอย่าง ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ข้อมูลดังตารางที่ 23 กราฟรูปที่ 23 และ 24 ตามลำดับ

ตารางที่ 23 ปริมาณโปรตีนและไฟโคไซยานินในกากเซลล์สำหรับสายพันธุ์ปลาที่สกัดไฟโคไซยานินแล้ว

| ตัวอย่างกากเซลล์ | องค์ประกอบ (ร้อยละของน้ำหนักกากเซลล์แห้ง) | | ปริมาณโปรตีน ในกากเซลล์* (เปอร์เซ็นต์) | ปริมาณไฟโคไซยานิน ในกากเซลล์** (เปอร์เซ็นต์) |
|-------------------|--|-------------|--|--|
| | โปรตีน | ไฟโคไซยานิน | | |
| กลุ่มที่ 1 | | | | |
| A | 52.4±1.5 | 1.8±0.1 | 93.2 | 67.7 |
| B | 31.2±1.1 | 0.6±0.1 | 81.9 | 66.7 |
| กลุ่มที่ 2 | | | | |
| D | 30.2±1.3 | 1.3±0.1 | 96.8 | 24.5 |
| E | 57.0±0.9 | 1.9±0.5 | 96.0 | 31.6 |
| H | 43.2±0.8 | 1.6±0.2 | 85.7 | 19.5 |
| J | 46.8±0.4 | 1.6±0.2 | 92.7 | 23.2 |
| กลุ่มที่ 3 | | | | |
| F | 54.1±1.0 | 2.0±0.1 | 97.7 | 16.0 |
| G | 47.6±1.4 | 2.0±0.1 | 95.8 | 15.4 |
| I | 42.7±1.8 | 2.0±0.2 | 83.4 | 8.7 |

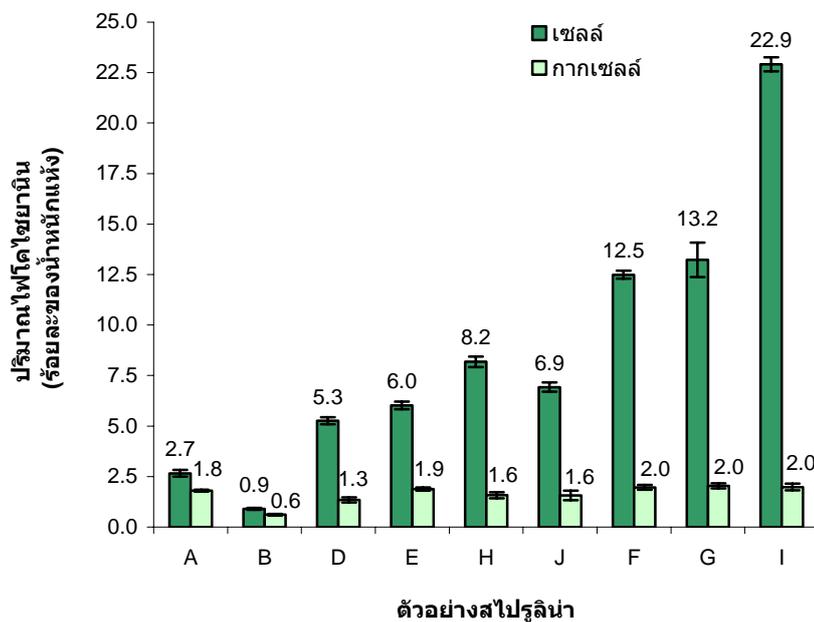
*เปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนในเซลล์เริ่มต้นก่อนสกัดที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

**เปรียบเทียบกับปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์เริ่มต้นก่อนสกัดที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 23 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในเซลล์สัปลาพันธุ์ก่อนสกัดไฟโคไซยานินและในกากเซลล์สัปลาพันธุ์หลังสกัดไฟโคไซยานิน

จากข้อมูลตารางที่ 23 กากเซลล์สำหรับวัสดุประจําที่ผ่านการสกัดเอาไฟโคไซยานินที่เป็นรงควัตถุสีฟ้า และเป็นสารประเภทโปรตีนออกจากเซลล์แล้ว เมื่อนํามาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและไฟโคไซยานิน พบว่า กากเซลล์สำหรับวัสดุประจําทั้ง 9 ตัวอย่าง ยังคงมีปริมาณโปรตีนและไฟโคไซยานินเหลืออยู่ โดยปริมาณโปรตีนในกากเซลล์ส่วนใหญ่จะลดลงไม่เกินร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนในเซลล์เริ่มต้น เห็นได้จาก กราฟรูปที่ 23 กากเซลล์จํานวน 7 ตัวอย่าง มีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่มากกว่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักกากเซลล์ แห่ง จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะนํากากเซลล์ดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นต่อไป ขณะที่ปริมาณไฟโคไซยานินในกากเซลล์พบว่าวัสดุประจําที่ 3 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีปริมาณไฟโคไซยานินมากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักเซลล์สำหรับวัสดุประจําแห่ง หลังจากสกัดไฟโคไซยานินแล้วจะเหลือปริมาณไฟโคไซยานินประมาณร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักกากเซลล์แห่ง ดังรูปที่ 24 แสดงให้เห็นว่าการสกัดไฟโคไซยานินด้วยการใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ สามารถสกัดไฟโคไซยานินได้มากกว่าร้อยละ 80 ของปริมาณไฟโคไซยานินทั้งหมดในเซลล์เริ่มต้น ขณะที่ วัสดุประจําที่ 2 พบว่า สกัดไฟโคไซยานินได้ร้อยละ 70-80 ของปริมาณไฟโคไซยานินทั้งหมดใน เซลล์เริ่มต้น แต่วัสดุประจําที่ 3 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีปริมาณไฟโคไซยานินต่ำกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก เซลล์แห่งพบว่า กากเซลล์มีไฟโคไซยานินคงเหลือมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับในเซลล์สําวัสดุประจําเริ่มต้น เซลล์สําวัสดุประจําที่มีปริมาณไฟโคไซยานินเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์ต่ำ เมื่อใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่อัตราส่วนเดียวกันมาสกัดจะสกัดไฟโคไซยานินออกมาจากเซลล์สําวัสดุประจําได้ในปริมาณที่ต่ำกว่าเซลล์ สําวัสดุประจําที่มีปริมาณไฟโคไซยานินเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์สูง



รูปที่ 24 เปรียบเทียบปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์สําวัสดุประจําก่อนสกัดไฟโคไซยานิน และใน กากเซลล์สําวัสดุประจําหลังสกัดไฟโคไซยานิน

จากการศึกษาของวีระและคณะ (2552) พบว่า กากเซลล์สไปรูลิน่าหลังใช้ในการสกัดไฟโคไซยานิน ยังมีองค์ประกอบโปรตีน กรดไขมันทั้งหมด ซึ่งรวมทั้งกรดไขมันจำเป็นคือ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid; 18:2) และกรดแกมมาลิโนเลนิก (γ -linolenic acid; GLA, 18:3) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับปริมาณเริ่มต้นในวัตถุดิบสไปรูลิน่าก่อนถูกสกัด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะขายกากเซลล์ดังกล่าวให้กับผู้ประกอบการในรูปของแหล่งโปรตีนเพื่อใช้ผสมในอาหารสัตว์ หรืออีกแนวทางหนึ่งคือนำกากเซลล์สไปรูลิน่าไปเพิ่มมูลค่าต่อด้วยการนำไปสกัดลิปิดโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล หรือสกัดโพลีแซคคาไรด์ด้วยน้ำ ทั้งนี้จากการศึกษาของกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพสาหร่าย มจร. พบว่า สารสกัดลิปิดและสารสกัดโพลีแซคคาไรด์จากสไปรูลิน่ามีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อไวรัสเริมชนิดที่ 1 (Herpes Simplex Virus type 1; HSV-1) ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคเริมบริเวณปาก รวมทั้งมีรายงานถึงคุณประโยชน์ทางการแพทย์ของสารสกัดลิปิดและสารสกัดโพลีแซคคาไรด์ เช่น ปกป้องเชื้อไวรัส ลดคอเรสเตอรอล ลดการอักเสบของเซลล์ และช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันของร่างกาย เป็นต้น

สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ผลของการทำแห้งสำหรับสไปรูลิน่าต่อการสกัดไฟโคไซยานิน

1. งานวิจัยนี้ใช้วัตถุดิบสไปรูลิน่าที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็ง (freeze drying) การอบแห้งด้วยตู้อบ (oven drying) และการทำแห้งโดยการตากแดด (sun drying) โดยทั้ง 3 สภาวะใช้ระยะเวลาของการทำแห้งใกล้เคียงกันประมาณ 7-8 ชั่วโมง แต่อุณหภูมิของการทำแห้งแตกต่างกัน คือ - 80 องศาเซลเซียส, 70 องศาเซลเซียส และ 28-30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มาสกัดไฟโคไซยานิน พบว่าสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิมีผลต่อองค์ประกอบของไฟโคไซยานินภายในเซลล์สไปรูลิน่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยเห็นได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีผลทำให้เซลล์มีปริมาณของรงควัตถุไฟโคไซยานินต่ำที่สุด ขณะที่การทำแห้งโดยการตากแดดเซลล์จะมีความชื้นมากกว่าเซลล์ที่ผ่านการทำแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็งและอบแห้งด้วยตู้อบ และพบว่าการทำแห้งทั้ง 3 วิธี ไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์สไปรูลิน่า โดยเซลล์แห้งสไปรูลิน่าทั้งสามตัวอย่างมีโปรตีนมากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักสำหรับแห้ง
2. การนำสารละลายไฟโคไซยานินที่สกัดด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์มาผ่านระบบการกรองไมโครฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 5 μm และ 0.8/0.2 μm ไม่ได้มีผลให้ค่าความบริสุทธิ์ของสารละลายไฟโคไซยานินเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด แต่ระบบการกรองนี้สามารถลดปริมาณกากเซลล์ได้ประมาณร้อยละ 25 ของปริมาณกากเซลล์ทั้งหมดในสารละลายไฟโคไซยานินเริ่มต้น ขณะที่ระบบการกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 50 kDa สามารถกำจัดน้ำ รวมทั้งสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ได้ประมาณร้อยละ 90 ของปริมาณสารละลายไฟโคไซยานินทั้งหมดตอนเริ่มต้น ทำให้สารละลายไฟโคไซยานินมีความเข้มข้นและค่าความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น
3. วิธีการทำแห้งสำหรับสไปรูลิน่าด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็งและการทำแห้งโดยการตากแดด เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับใช้ทำแห้งสไปรูลิน่าเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดไฟโคไซยานินเกรดอาหาร ทั้งนี้เพราะได้ผลผลิตของสารสกัดไฟโคไซยานินคิดเป็นร้อยละ 35-38 ของน้ำหนักสำหรับแห้ง มีค่าความเข้มข้นประมาณ 10.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และค่าความบริสุทธิ์เท่ากับ 1.3 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางได้

การศึกษาคุณภาพวัตถุดิบสไปรูลิน่าต่อการสกัดไฟโคไซยานิน พบว่า

1. จากตัวอย่างวัตถุดิบสไปรูลิน่าจำนวน 10 ตัวอย่าง ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถจัดกลุ่มวัตถุดิบสไปรูลิน่าตามปริมาณไฟโคไซยานินที่องค์ประกอบภายในเซลล์ ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้คือ
 - กลุ่มที่ 1 มีปริมาณไฟโคไซยานินน้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนักสำหรับแห้ง จำนวน 3 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่าง A, B และ C
 - กลุ่มที่ 2 มีปริมาณไฟโคไซยานินตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 10 ของน้ำหนักสำหรับแห้ง จำนวน 4 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่าง D, E, H และ J

- กลุ่มที่ 3 มีปริมาณไฟโคไซยานินมากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักของสาหร่ายแห้ง จำนวน 3 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่าง F, G และ I
- 2. จากการสกัดแยกสารไฟโคไซยานินจากวัตถุดิบสไปรูลิน่าทั้ง 3 กลุ่ม พบว่า ค่าความเข้มข้นและค่าความบริสุทธิ์ของสารสกัดไฟโคไซยานินที่ได้ จะมีค่าต่ำสุดในตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และเพิ่มขึ้นในตัวอย่างกลุ่มที่ 2 และมีค่ามากที่สุดในตัวอย่างกลุ่มที่ 3 โดยค่าความเข้มข้นและค่าความบริสุทธิ์ของสารสกัดไฟโคไซยานินที่ได้จะสอดคล้องกับปริมาณไฟโคไซยานินที่เป็นองค์ประกอบภายในเซลล์สไปรูลิน่าอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการศึกษา ตัวอย่าง I ที่ได้รับอนุเคราะห์จากห้างหุ้นส่วนนาทอง เมื่อนำมาสกัดไฟโคไซยานินจะได้สารสกัดไฟโคไซยานินที่มีผลผลิต ค่าความเข้มข้น และค่าความบริสุทธิ์สูงที่สุด
- 3. สไปรูลิน่าที่มีไฟโคไซยานินเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์มากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง เหมาะสมสำหรับนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้สกัดไฟโคไซยานินเกรดอาหาร ซึ่งข้อมูลที่ได้จึงสามารถใช้ปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์เป็นเกณฑ์ในการเลือกวัตถุดิบสไปรูลิน่าได้อย่างเหมาะสมเพื่อใช้ในการผลิตไฟโคไซยานินเกรดอาหารระดับอุตสาหกรรมต่อไป
- 4. การสกัดแยกสารไฟโคไซยานินออกจากสาหร่ายสไปรูลิน่าโดยการใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เป็นตัวสกัด นำมากรองแยกด้วยระบบการกรองไมโครฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 5 μm และ 0.8/0.2 μm และเพิ่มความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ด้วยระบบการกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 50 kDa ไม่สามารถกำจัดโลหะหนักที่ตกค้างอยู่ในสารสกัดไฟโคไซยานินได้ทั้งหมด

ข้อเสนอแนะ

1. สามารถใช้การทำแห้งด้วยวิธีการตากแดดมาทำแห้งสไปรูลิน่าได้ เพราะนอกจากเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายแล้ว เซลล์สไปรูลิน่าที่ได้มีองค์ประกอบของสารสำคัญภายในเซลล์คือโปรตีนและไฟโคไซยานินไม่แตกต่างจากเซลล์สไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบแช่แข็งอย่างมีนัยสำคัญ จึงสามารถนำเซลล์ดังกล่าวมาใช้เป็นวัตถุดิบที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับสกัดไฟโคไซยานินเกรดอาหารได้
2. กากเซลล์สไปรูลิน่าที่ผ่านการสกัดไฟโคไซยานินออกแล้ว ยังมีปริมาณสารชีวเคมีที่มีมูลค่าสูง คือโปรตีนคาร์โบไฮเดรต และกรดไขมันจำเป็น เหลืออยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับเซลล์สไปรูลิน่าก่อนสกัด ดังนั้นสามารถนำกากเซลล์ไปใช้ประโยชน์ได้ 2 แนวทาง คือ แนวทางที่หนึ่งขายกากเซลล์ในเชิงของโปรตีนที่มีคุณสมบัติประโยชน์ให้กับผู้ประกอบการที่สนใจนำไปใช้ผสมอาหารสัตว์ แนวทางที่สองคือนำมาสกัดสารชีวเคมีมูลค่าสูงอีกสองชนิด คือ ลิปิด และโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งจะเป็นการใช้เซลล์สไปรูลิน่าให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่า