

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การศึกษาคุณภาพวัตถุดิบสไปรูลิน่าที่เหมาะสมต่อ

การสกัดไฟโคไซยานินเกรดอาหาร

Quality Study of *Spirulina* as Raw Material

for Phycocyanin Extraction

คณะผู้วิจัย

นางสาวณัฐยาภรณ์ ชिरะสุวรรณ

นางสาวรัตนา ชัยกล้าหาญ

นางบุษยา บุนหาค

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ

และ

คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รายงานนี้ได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประจำปีงบประมาณ 2553

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การศึกษาคุณภาพวัตถุดิบสไปรูลินาที่เหมาะสมต่อการสกัดไฟโคไซยานิน
เกรดอาหาร

(ภาษาอังกฤษ) Quality Study of *Spirulina* as Raw Material for Phycocyanin Extraction

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ นางสาวณัฐยาภรณ์ ชिरะสุวรรณ

หน่วยงานที่สังกัด สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
49 ซ.เทียนทะเล 25 ถ.บางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน
กรุงเทพฯ 10150

หมายเลขโทรศัพท์ 02 4707483 โทรสาร 02 4523455 e-mail: nattayaporn@pdti.kmutt.ac.th

ผู้ร่วมโครงการ นางสาวรัตนา ชัยกล้าหาญ

หน่วยงานที่สังกัด สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
49 ซ.เทียนทะเล 25 ถ.บางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน
กรุงเทพฯ 10150

หมายเลขโทรศัพท์ 02 4707483 โทรสาร 02 4523455 e-mail: ratana.cha@kmutt.ac.th

ที่ปรึกษาโครงการ นางบุษยา บุนนาค

หน่วยงานที่สังกัด คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
49 ซ.เทียนทะเล 25 ถ.บางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน
กรุงเทพฯ 10150

หมายเลขโทรศัพท์ 02 4707355 โทรสาร 02 4523455 e-mail: boosya.bun@kmutt.ac.th

ได้รับอนุมัติงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ 2553

งบประมาณที่ได้รับ 288,800 บาท ระยะเวลาทำงานวิจัย 1 ปี

เริ่มทำการวิจัยเมื่อ (เดือน ปี) ตุลาคม 2552 ถึง (เดือน ปี) กันยายน 2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพวัตถุดิบสไปรูลิน่าที่เหมาะสมต่อการสกัดไฟโคไซยานินเกรดอาหาร รวมทั้งศึกษาผลของการทำแห้งสไปรูลิน่าต่อการสกัดไฟโคไซยานิน โดยนำตัวอย่างสไปรูลิน่ามาสกัดด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH7 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ หลังจากปั่นเหวี่ยงตกตะกอนกากเซลล์ นำสารละลายไฟโคไซยานินมากรองด้วยวิธีไมโครฟิลเตรชันผ่านเมมเบรน 5 μm และ 0.8/0.2 μm ตามลำดับ ต่อมานำมาเพิ่มความบริสุทธิ์และความเข้มข้นโดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันด้วยเมมเบรน 50 kDa พบว่า การทำแห้งสไปรูลิน่าด้วยวิธีที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณไฟโคไซยานินภายในเซลล์ โดยเซลล์สไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็งและการตากแดดมีปริมาณไฟโคไซยานินคิดเป็นร้อยละ 20 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ซึ่งมากกว่าเซลล์ที่ทำแห้งด้วยตู้อบประมาณ 5 เท่า ขณะที่เซลล์แห้งทั้งสามตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกันคือประมาณร้อยละ 55 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ซึ่งเมื่อนำมาสกัดแยกทำให้ไฟโคไซยานินบริสุทธิ์และทำแห้งสารละลายไฟโคไซยานินด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็งจะได้ผลผลิตของสารสกัดไฟโคไซยานินคิดเป็นร้อยละ 19 35 และ 38 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง สำหรับตัวอย่างสไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยตู้อบ ทำแห้งด้วยการตากแดด และทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็ง ตามลำดับ โดยสารสกัดไฟโคไซยานินที่สกัดได้จากตัวอย่างสไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยการตากแดดและทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็ง มีค่าความบริสุทธิ์สูงประมาณ 1.3 จัดเป็นไฟโคไซยานินเกรดอาหารและเครื่องสำอาง

การศึกษาคุณภาพวัตถุดิบสไปรูลิน่าที่เหมาะสมต่อการสกัดไฟโคไซยานินใช้สาหร่ายสไปรูลิน่าจำนวน 10 ตัวอย่าง ที่ได้รับอนุเคราะห์จากบริษัทเอกชนและซื้อจากท้องตลาด มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีคือปริมาณโปรตีน ปริมาณไฟโคไซยานิน และปริมาณความชื้น และใช้ปริมาณไฟโคไซยานินเป็นเกณฑ์ในการจัดกลุ่มของวัตถุดิบสไปรูลิน่า จัดแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 มีปริมาณไฟโคไซยานินต่ำกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง (ตัวอย่าง A, B และ C) กลุ่มที่ 2 มีปริมาณไฟโคไซยานินตั้งแต้อ้อยละ 5-10 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง (ตัวอย่าง D, E, H และ J) กลุ่มที่ 3 มีปริมาณไฟโคไซยานินมากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง (ตัวอย่าง F, G และ I) เลือกสไปรูลิน่า 9 ตัวอย่างไปสกัดไฟโคไซยานิน วิเคราะห์ผลผลิต ค่าความเข้มข้นและค่าความบริสุทธิ์ของสารสกัดไฟโคไซยานินที่ได้ พบว่า วัตถุดิบสไปรูลิน่ากลุ่มที่ 3 เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตไฟโคไซยานินเกรดอาหาร โดยได้ผลผลิตของสารสกัดไฟโคไซยานินร้อยละ 25-31 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง มีค่าความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 1.0-1.2 และมีความเข้มข้นของไฟโคไซยานิน 7.5-11.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

คำสำคัญ: สไปรูลิน่า, ไฟโคไซยานิน, ไมโครฟิลเตรชัน, อัลตราฟิลเตรชัน และค่าความบริสุทธิ์

Abstract

The aim of this research was investigated the quality of *Spirulina* as raw material for phycocyanin extraction including *Spirulina* biomass from different drying methods. Dried *Spirulina* was extracted with 0.1 M phosphate buffer pH 7 for 3 hours followed by filtration and purification by microfiltration using membrane of the size 5 μm and 0.8/0.2 μm and ultrafiltration with 50 kDa membrane respectively. Result showed the biomass drying methods affected on phycocyanin content. Phycocyanin content of freeze dried and sun dried samples showed about 20 % (W/W). Both of these samples revealed about 5 times higher phycocyanin content than the oven dried sample whereas protein content comprised about 55%(W/W) in all samples. After extraction and purification processes, the phycocyanin solutions were lyophilized by freeze dryer to give yield of the phycocyanin extract about 19, 35 and 38 % of dry weight for oven dried, sun dried and freeze dried sample, respectively. Additionally, the phycocyanin extract of freeze dried and sun dried samples exhibited high purity with the purity ratio value of 1.3 which is food and cosmetic grades.

Quality study of *Spirulina* as raw material for phycocyanin extraction using ten *Spirulina*'s products was supported by the companies and purchased from the market. Quality analysis of *Spirulina*'s products composition as protein content, phycocyanin content included moisture content was determined. Grouping of *Spirulina*'s products based on the phycocyanin content, three groups of *Spirulina*'s products was as group 1 phycocyanin content less than 5% of dry weight (A, B and C), group 2 phycocyanin content ranged from 5-10% of dry weight (D, E, H and J) and group 3 phycocyanin content more than 10% of dry weight (F, G and I). Nine *Spirulina*'s products were selected for phycocyanin extraction. The phycocyanin concentration, purity ratio and yield of phycocyanin were determined. The group 3 of *Spirulina*'s products is optimum for food grade phycocyanin production because phycocyanin yield showed 25-31 % of dry weight and exhibited high purity with purity ratio value of 1.0-1.2 and phycocyanin concentration about 7.5-11.1 mg/ml.

Keywords: *Spirulina*, phycocyanin, microfiltration, ultrafiltration and purity ratio value

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
สาหร่ายสไปรูลิน่า (<i>Spirulina</i> sp.)	3
ไฟโคไซยานิน	4
ประโยชน์ของไฟโคไซยานิน	5
ผลของการทำแห้งสไปรูลิน่าต่อสารสกัดไฟโคไซยานิน	5
กระบวนการผลิตไฟโคไซยานิน	8
1. การสกัดไฟโคไซยานิน	8
2. การเพิ่มความบริสุทธิ์และความเข้มข้นของสารละลายไฟโคไซยานิน	11
กระบวนการทางเทคโนโลยีเมมเบรน	12
การประยุกต์ใช้เมมเบรนเพื่อทำให้ไฟโคไซยานินบริสุทธิ์	14
ความบริสุทธิ์ของสารสกัดไฟโคไซยานิน	16
วิธีดำเนินการวิจัย	
1. การศึกษาผลของการทำแห้งต่อการสกัดไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูลิน่า	18
1.1 การทำแห้งสาหร่ายสไปรูลิน่า	18
1.2 การสกัดไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูลิน่า	18
1.3 การแยกกากเซลล์ออกจากสารละลายไฟโคไซยานินด้วยระบบการกรองไมโครฟิลเตรชัน	19
1.4 การเพิ่มความบริสุทธิ์และความเข้มข้นของสารละลายไฟโคไซยานิน	20
1.5 การทำแห้งสารสกัดไฟโคไซยานิน	21
2. การศึกษาคุณภาพวัตถุดิบสาหร่ายสไปรูลิน่าต่อการสกัดไฟโคไซยานิน	21
3. การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ	23
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
1. การศึกษาผลการทำแห้งวัตถุดิบสไปรูลิน่าต่อค่าความบริสุทธิ์และปริมาณไฟโคไซยานิน	25
1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของสไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ	25
1.2 การสกัดไฟโคไซยานินจากวัตถุดิบสไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ	26
1.3 การทำแห้งและการศึกษาองค์ประกอบของสารสกัดไฟโคไซยานิน	32

	หน้า
2. การศึกษาคุณภาพวัตถุบิสสำหรับรายสไปรูลิน่าต่อการสกัดไฟโคไซยานิน	35
2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุบิสไปรูลิน่า	35
2.2 การสกัดไฟโคไซยานินจากวัตถุบิสไปรูลิน่า	37
2.3 การทำแห้งและการศึกษาองค์ประกอบของสารสกัดไฟโคไซยานิน	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	51
ผลงานตีพิมพ์ สิ่งตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่ สิทธิบัตรหรือผลงานอื่น ๆ จากโครงการนี้	56

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบพื้นฐานของสารรายสไปรูลิน่าและการควบคุมคุณภาพภายในโดยบริษัทและเกณฑ์ทั่วไปที่กำหนดร่วมกัน	3
2 ปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์สไปรูลิน่าแห้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยวิธีที่แตกต่างกัน	6
3 เปรียบเทียบวิธีการทำแห้งสไปรูลิน่าต่อค่าความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของสารไฟโคไซยานินเมื่อทำการสกัดไฟโคไซยานินด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	6
4 ค่าความบริสุทธิ์และปริมาณสารสกัดไฟโคไซยานินของตัวอย่างสไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยวิธีอบแห้งโดยใช้ลมร้อน (tray dried) อบแห้งแบบแช่แข็ง (freeze dried) และทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dried)	7
5 ค่าการละลายของโปรตีนและปริมาณไฟโคไซยานินของเซลล์สไปรูลิน่าที่ทำแห้งโดยวิธี conventional spouted bed, jet spouted bed และ thin layer	7
6 ปริมาณไฟโคไซยานินที่สกัดได้ เมื่อทำการสกัดไฟโคไซยานินจากสารรายสไปรูลิน่าด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 25 และสกัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	10
7 ผลของการสกัดไฟโคไซยานินจากเซลล์เป็ยกสารรายสไปรูลิน่าด้วยวิธีต่าง ๆ ต่อปริมาณและค่าความบริสุทธิ์ของไฟโคไซยานิน	10
8 ค่าความบริสุทธิ์ของสารสกัดไฟโคไซยานินจากสารรายสไปรูลิน่าเมื่อผ่านขั้นตอนของการทำให้ไฟโคไซยานินบริสุทธิ์	12
9 วิธีการสกัดไฟโคไซยานินจากสารรายสไปรูลิน่าและการทำให้ไฟโคไซยานินบริสุทธิ์	15
10 ค่าบริสุทธิ์ (A_{620}/A_{280}) ที่กำหนดโดยบริษัทต่างๆ และการนำไฟโคไซยานินไปใช้ประโยชน์	16
11 วิธีทำแห้งและสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งสารรายสไปรูลิน่า	18
12 ปริมาณโปรตีน ไฟโคไซยานิน และโลหะหนักในสไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบแช่แข็งอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และการตากแดด	25
13 ความเข้มข้นสารไฟโคไซยานินจากสารรายสไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็งอบแห้งด้วยตู้อบ และการตากแดด หลังผ่านกระบวนการสกัด ระบบการกรองไมโครฟิลเตรชันและระบบการกรองอัลตราฟิลเตรชัน	29
14 องค์ประกอบของสารสกัดไฟโคไซยานินจากสารรายสไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	33
15 ปริมาณโลหะหนักในสารสกัดไฟโคไซยานินจากสารรายสไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	34
16 ปริมาณโปรตีนและไฟโคไซยานินในกากเซลล์สารรายสไปรูลิน่าที่สกัดไฟโคไซยานินแล้ว	34
17 องค์ประกอบโปรตีน ไฟโคไซยานิน และปริมาณโลหะหนักของตัวอย่างสารรายสไปรูลิน่าที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดไฟโคไซยานิน	35
18 ค่าความขุ่นของกากเซลล์ (OD_{560}) และปริมาณกากเซลล์เมื่อผ่านกระบวนการสกัด และกระบวนการไมโครฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 5 μm และ 0.8/0.2 μm	38

ตารางที่	หน้า
19 ความเข้มข้นของไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ผ่านกระบวนการสกัด กระบวนการ ไมโครฟิลเตรชัน และกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน	39
20 ความบริสุทธิ์ของสารละลายไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ผ่านกระบวนการสกัด กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน และกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน	40
21 ปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบหลักของสารสกัดไฟโคไซยานินที่สกัดได้จากสาหร่ายสไปรูลิน่า	43
22 ปริมาณโลหะหนักแคดเมียม (Cd) สารหนู (As) และตะกั่ว (Pb) ในสารสกัดไฟโคไซยานินที่สกัด ได้จากสาหร่ายสไปรูลิน่า	45
23 ปริมาณโปรตีนและไฟโคไซยานินในกากเซลล์สาหร่ายสไปรูลิน่าที่สกัดไฟโคไซยานินแล้ว	46

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1 แบบจำลองโครงสร้างของไฟโคบิลิโซม (ก) และสูตรโครงสร้างของไฟโคไซยานิน (ข)	4
2 ผลผลิตและค่าความบริสุทธิ์ของสารสกัดไฟโคไซยานินที่สกัดจากสาหร่ายสไปรูลิน่าสายพันธุ์ <i>maxima</i> ด้วยสารละลาย 6 ชนิด และทำการสกัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง	9
3 ความเข้มข้นของซี-ไฟโคไซยานินและค่าความบริสุทธิ์ของสารสกัดไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ตกตะกอนด้วยเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	11
4 การแยกสารด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน	13
5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไฟโคไซยานิน	17
6 ลักษณะเซลล์สาหร่ายสไปรูลิน่าเมื่อผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	18
7 การสกัดไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูลิน่า	19
8 การปั่นเหวี่ยงตกตะกอนกากเซลล์	19
9 เมมเบรนขนาด 5 μm และ 0.8/0.2 μm ในระบบการกรองไมโครฟิลเตรชัน	20
10 การแยกกากเซลล์ออกจากสารละลายไฟโคไซยานินด้วยระบบการกรองไมโครฟิลเตรชัน	20
11 เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันขนาด 50 kDa	20
12 การเพิ่มความบริสุทธิ์และความเข้มข้นของสารละลายไฟโคไซยานินโดยระบบการกรองอัลตราฟิลเตรชัน	21
13 การทำแห้งสารสกัดไฟโคไซยานินด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็ง	21
14 สาหร่ายสไปรูลิน่าที่ได้รับอนุเคราะห์จากบริษัทกรีนไดมอนด์	22
15 สาหร่ายสไปรูลิน่าที่ได้รับอนุเคราะห์จากห้างหุ้นส่วนนาทอง (I)	22
16 สาหร่ายสไปรูลิน่าที่จำหน่ายในท้องตลาด (J)	22
17 สารละลายไฟโคไซยานินที่สกัดด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์และปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนกากเซลล์แล้ว	27
18 สารละลายไฟโคไซยานินเข้มข้นหลังผ่านระบบการกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนขนาด 50 kDa	30
19 ค่าความบริสุทธิ์ของสารละลายไฟโคไซยานินหลังผ่านกระบวนการการสกัด, การกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน (MF) และอัลตราฟิลเตรชัน (UF) ที่สกัดได้จากสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็ง (freeze drying) ทำแห้งด้วยการตากแดด และอบแห้งด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C	30
20 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไฟโคไซยานินที่สกัดด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Extraction) และสารละลายไฟโคไซยานินเข้มข้นหลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) ที่สกัดจากสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบแช่แข็ง	32
21 สารสกัดไฟโคไซยานินที่สกัดจากสาหร่ายสไปรูลิน่าซึ่งผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	32
22 สารสกัดไฟโคไซยานินจากสไปรูลิน่าที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็ง	42
23 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในเซลล์สไปรูลิน่าก่อนสกัดไฟโคไซยานินและในกากเซลล์สไปรูลิน่าหลังสกัดไฟโคไซยานิน	46
24 เปรียบเทียบปริมาณไฟโคไซยานินในเซลล์สไปรูลิน่าก่อนสกัดไฟโคไซยานิน และในกากเซลล์สไปรูลิน่าหลังสกัดไฟโคไซยานิน	47

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

MF	กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน
UF	กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน
Da	ดาลตัน
kDa	กิโลดาลตัน
μm	ไมโครเมตร
DW	น้ำหนักแห้ง
MWCO	molecular weight cut off
nm	นาโนเมตร
μg	ไมโครกรัม
mg	มิลลิกรัม
g	กรัม
kg	กิโลกรัม
ml	มิลลิลิตร
L	ลิตร
mM	มิลลิโมลาร์
M	โมลาร์
s	วินาที
min	นาที
hr	ชั่วโมง
cm^2	ตารางเซนติเมตร
m^2	ตารางเมตร
Da	ดาลตัน
kDa	กิโลดาลตัน
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส
>	มากกว่า
<	น้อยกว่า
α	อัลฟา
β	เบต้า
%	เปอร์เซ็นต์