การตรึงเอนไซม์ไซโคลเดกซ์ทรินไกลโคซิลทรานสเฟอเรสบนตัวค้ำอนินทรีย์

นางสาว วรรณรัตน์ คุตติอาชีวะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2537

ISBN 974-584-435-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I13192274

IMMOBILIZATION OF CYCLODEXTRIN GLYCOSYLTRANSFERASE ON INORGANIC CARRIERS

Miss Wannarut Kuttiarcheewa

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science

Program of Biotechnology

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

ISBN 974-584-435-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรึงเอนไซม์ไซโคลเดกซ์ทรินไกลโคซิลทรานสเฟอเรสบนตัวค้ำอินทรีย์

โดย นางสาว วรรณรัตน์ คุตติอาชีวะ

สาขาวิชา หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรดา มงคลกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรา วีระกะลัส)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วรรณรัตน์ คูตติอาชีวะ : การตรึงเอนไซม์ไซโคลเดกซ์ทรินไกลโคซิลทรานเฟอเรนบนตัวค้ำอนินทรีย์ (IMMOBILIZATION OF CYCLODEXTRIN GLYCOSYLTRANSFERASE ON INORGANIC CARRIERS) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์, 97 หน้า. ISBN 974-584-435-7

เมื่อนำเอนไซม์ไซโคลเดกซ์ทรินไกลโคซิลทรานสเฟอเรส จาก *Bacillus* All ที่ทำให้บริสุทธิ์ขึ้น 15 เท่า ไปทดลองตรึงด้วยวิธีดูดซับแบบกายภาพบน ไคโตแซน อะลูมินา คาร์บอน เม็ดแก้วพรุน และซิลิกา ที่ pH 6.0 พบว่าซิลิกาเป็นตัวค้ำที่เหมาะสมที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการตรึงเท่ากับ 54% ของแอคติวิตีที่ใส่ตั้งต้น และเมื่อทดลองนำเอนไซม์ตรึงนี้ไปผลิตไซโคลเดกซ์ทริน พบว่าไม่เหมาะที่จะใช้งานต่อไป เนื่องจากเอนไซม์ค่อย ๆ หลุดจากตัวค้ำในระหว่างการผลิต

ได้ทดลองตรึงเอนไซม์นี้ด้วยวิธีโคเวเลนต์บนตัวค้ำ 5 ชนิดเดิม ที่ pH 6.0 โดยใช้สารกระตุ้นอะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลนและกลูทารัลดีไฮด์ พบว่าเอนไซม์สามารถตรึงบนอะลูมินาได้ดีที่สุด คิดเป็น 71% ของแอคติวิตีตั้งต้น ความสามารถในการตรึงเอนไซม์ไซโคลเดกซ์ทรินไกลโคซิลทรานสเฟอเรสของอะลูมินาที่กระตุ้นด้วย 1.0% อะมิโนไตรเอทอกซีไซเลน และ 0.25% กลูทารัลดีไฮด์ มีค่าเท่ากับ 258 ยูนิต/กรัมอะลูมินา เอนไซม์ตรึงมีค่า pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเร่งปฏิกริยาเท่ากับ 7 และ 55 ^{o}ซ. ขณะที่ค่าของเอนไซม์อิสระเท่ากับ 6 และ 60 ^{o}ซ. ตามลำดับ ความเสถียรต่อ pH ของเอนไซม์ทั้งสองสภาวะอยู่ในช่วง 4.5 - 9.0 เท่ากัน และเอนไซม์ตรึงจะมีความเสถียรต่ออุณหภูมิ 55 ^{o}ซ. ซึ่งมากกว่าเอนไซม์อิสระ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินของเอนไซม์ตรึงแบบต่อเนื่อง คือ ความเข้มข้นของสับสเตรทเท่ากับ 1.5% อัตราการป้อนสับสเตรทเท่ากับ 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยสามารถผลิตไซโคลเดกซ์ทรินได้นานคงที่ 5 วัน และมีอัตราการผลิตเท่ากับ 72% และสามารถผลิตได้นานขึ้นโดยไม่มีจุลินทรีย์ปนเปื้อน เมื่อเติม 0.02% โซเดียมเอไซด์ ส่วนในการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินแบบไม่ต่อเนื่องในถังปฏิกริยา เอนไซม์ตรึงมีอัตราการเปลี่ยนแป้งเป็นไซโคลเดกซ์ทรินได้ 78% และนำมาใช้ผลิตได้ซ้ำถึง 10 ครั้ง โดยปริมาณไซโคลเดกซ์ทรินที่ผลิตได้จะลดลงประมาณ 40% ภายหลังการใช้งานครั้งที่ 10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... ลายมือชื่อนิสิต วรรณรัตน์ คูตติอาชีวะ

สาขาวิชา หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C426610 : MAJOR BIOTECHNOLOGY
KEY WORD: CYCLODEXTRIN/CYCLODEXTRIN GLYCOSYLTRANSFERASE/IMMOBILIZATION
WANNARUT KUTTIARCHEEWA : IMMOBILIZATION OF CYCLODEXTRIN GLYCOSYLTRANSFERASE ON INORGANIC CARRIERS . THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. PIAMSOOK PONGSAWASDI, Ph.D., 97 PP. ISBN 974-584-435-7

Cyclodextrin glycosyltransferase (CGTase) from *Bacillus* All was purified about 15 fold and was immobilized on various carriers. The immobilization by physical adsorption on chitosan, alumina, carbon, porous glass and silica at pH 6.0 had been studied. Silica was found to be the best support since it bound 54% of the loaded CGTase activity. However, this immobilized CGTase was not suitable for cyclodextrins production since the enzyme was detached from the support during operation.

CGTase was also immobilized on the above mentioned carriers by covalent means. Aminopropyltriethoxysilane and glutaraldehyde were used to activate the carriers. Seventy-one of the loaded CGTase was covalently bound onto alumina which was the best support. The ability to bind CGTase of alumina activated with 1.0% aminopropyltriethoxysilane and 0.25% glutaraldehyde was 258 units per gram alumina. The optimum pH and optimum temperature of immobilized CGTase were slightly shift from 6 and 60 ^{o}C to 7 and 55 ^{o}C after immobilization. The stability to pH were in the range of 4.5 - 9.0 for both the immobilized and the free enzyme, wherease the stability to temperature of immobilized CGTase was up to 55 ^{o}C which was higher than the free enzyme. When this immobilized CGTase was used for continuous cyclodextrins production, the optimum conditions for substrate given were 1.5% soluble starch and 5 ml/hr feed rate. Approximately 72% of soluble starch was converted to cyclodextrins, the production level which was constant for 5 days. By supplying sodium azide, the production can be prolonged without bacterial contamination. In batch operation, the immobilized CGTase converted soluble starch to cyclodextrins with 78% conversion. This enzyme could be repeatedly used for 10 times, after which the amount of cyclodextrins produced decreased 40%.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... ลายมือชื่อนิสิต วรรณวัฒน์ คุตติอาชีวะ

สาขาวิชา หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาแนะนำและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับการดำเนินงานวิจัยด้วยดีตลอดมา ตลอดจนได้ให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ ที่ได้กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีรดา มงคลกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรา วีระกะลัส ที่ได้กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณาและคำแนะนำ สำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์ด้านทุนวิจัย และบริษัท ไทวา จำกัด สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนผ่านฝ่ายวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณภาควิชาชีวเคมี สำหรับสถานที่ทำการวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ น้อง และเพื่อนนิสิตปริญญาโทเทคโนโลยีชีวภาพและชีวเคมีทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดการทำงานวิจัยนี้

ท้ายสุดนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ กำลังใจ และความเข้าใจเป็นอย่างดีมาตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตารางประกอบ..... ฌ

สารบัญรูปประกอบ..... ฎ

คำย่อ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. วิธีทดลอง..... 17

2.1 เครื่องมือ..... 17

2.2 เคมีภัณฑ์..... 18

2.3 แบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง..... 19

2.4 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

2.4.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ Medium I..... 19

2.4.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ Horikoshi..... 20

2.5 การเตรียมสารละลาย

2.5.1 สารละลายสำหรับหาแอคติวิตีของเอนไซม์ CGTase..... 20

2.5.2 สารละลายสำหรับหาโปรตีน..... 20

2.6 การเก็บรักษาจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง..... 21

2.7 การเลี้ยงเชื้อเพื่อเตรียมเอนไซม์ CGTase

2.7.1 การเตรียมเชื้อตั้งต้น..... 21

2.7.2 การเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตเอนไซม์ CGTase..... 21

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8 การวัดแอคติวิตีของเอนไซม์

2.8.1 การวัดแอคติวิตีของเอนไซม์อิสระ..... 22

2.8.2 การวัดแอคติวิตีของเอนไซม์ตรึง..... 23

2.8.3 การวิเคราะห์ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยวิธี HPLC..... 23

2.9 การวัดปริมาณโปรตีนโดยวิธี Bradford

2.9.1 Protein assay (standard method)..... 24

2.9.2 Micro protein assay..... 25

2.10 การทำเอนไซม์ให้บริสุทธิ์บางส่วน..... 25

2.11 การตรึงเอนไซม์

2.11.1 การตรึงเอนไซม์กับตัวค้ำด้วยวิธีดูดซับแบบกายภาพ..... 27

2.11.2 การตรึงเอนไซม์กับตัวค้ำด้วยวิธีโคเวเลนต์..... 27

2.12 การผลิตไซโคลเดกซ์ทรินในคอลัมน์แบบต่อเนื่อง

2.12.1 การหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการผลิต

ไซโคลเดกซ์ทรินแบบต่อเนื่อง..... 28

2.12.2 การหาความเข้มข้นของสับสเตรทที่เหมาะสมต่อการผลิต

ไซโคลเดกซ์ทรินแบบต่อเนื่อง..... 30

2.12.3 การหาอัตราป้อนสับสเตรทที่เหมาะสมต่อการผลิต.

ไซโคลเดกซ์ทรินแบบต่อเนื่อง..... 30

2.13 การผลิตไซโคลเดกซ์ทรินในถังปฏิกิริยากวนแบบไม่ต่อเนื่อง

2.13.1 การหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการผลิต

ไซโคลเดกซ์ทรินแบบไม่ต่อเนื่อง..... 32

2.13.2 การผลิตไซโคลเดกซ์ทริน ในถังปฏิกิริยาซ้ำหลายครั้ง... 32

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ผลการทดลอง..... 35

3.1 ผลการทำเอนไซม์ CGTase จาก *Bacillus* A11 ให้บริสุทธิ์บางส่วน..... 35

3.2 ผลการตรึงเอนไซม์ CGTase

3.2.1 ผลการตรึงเอนไซม์ CGTase ด้วยวิธีดูดซับแบบกายภาพ... 35

3.2.2 ผลการตรึงเอนไซม์ CGTase กับตัวค้ำด้วยวิธีโคเวเลนต์.. 38

3.2.3 ผลการศึกษาปริมาณเอนไซม์ CGTase และตัวค้ำที่เหมาะสมสำหรับการตรึง..... 40

3.3 ผลการศึกษาสมบัติของเอนไซม์ CGTase อิสระและเอนไซม์ตรึง

3.3.1 ผลของ pH ต่อการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ CGTase อิสระและเอนไซม์ตรึง..... 43

3.3.2 ผลของอุณหภูมิต่อการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ CGTase อิสระและเอนไซม์ตรึง..... 43

3.3.3 ผลของ pH ต่อความเสถียรของเอนไซม์ CGTase อิสระและเอนไซม์ตรึง..... 43

3.3.4 ผลของอุณหภูมิต่อความเสถียรของเอนไซม์ CGTase อิสระและเอนไซม์ตรึง..... 47

3.4 ผลการเก็บรักษาเอนไซม์ระยะยาว..... 47

3.5 ผลการศึกษาการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินจากเอนไซม์ CGTase ที่ถูกตรึงในคอลัมน์แบบต่อเนื่อง

3.5.1 ผลการศึกษาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไซโคลเดกซ์ทริน..... 47

3.5.2 ผลของความเข้มข้น ของสับสเตรทต่อการผลิตไซโคลเดกซ์ทริน..... 50

3.5.3 ผลของอัตราเร็วในการป้อนสับสเตรทต่อการผลิตไซโคลเดกซ์ทริน..... 50

3.5.4 ผลการศึกษาความเสถียรของเอนไซม์ CGTase ที่ถูกตรึงเมื่อผลิตไซโคลเดกซ์ทรินต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน..... 53

3.6 ผลการศึกษาการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินจากเอนไซม์ CGTase ที่ถูกตรึงในถังปฏิกิริยาแบบไม่ต่อเนื่อง

3.6.1 ผลการศึกษาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินแบบไม่ต่อเนื่อง..... 56

3.6.2 ผลการศึกษาความเสถียรของเอนไซม์ CGTase ที่ถูกตรึงเมื่อนำมาใช้ผลิตไซโคลเดกซ์ทรินซ้ำหลายครั้ง..... 58

4. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 61

เอกสารอ้างอิง..... 74

ภาคผนวก..... 81

ประวัติผู้เขียน..... 97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 เปรียบเทียบสมบัติไซโคลเดกซ์ทริน 3 ชนิด..... 4

1.2 การประยุกต์ใช้ไซโคลเดกซ์ทรินในอุตสาหกรรมต่างๆ..... 6

1.3 สมบัติบางประการของเอนไซม์ CGTaseที่ได้จากแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างกัน... 8

1.4 ปริมาณการใช้ไซโคลเดกซ์ทรินในตลาดโลก.....10

1.5 เปรียบเทียบการตรึงเอนไซม์แต่ละวิธี.....13

1.6 การจัดประเภทของตัวค้ำโดยใช้สมบัติทางเคมี.....14

3.1 ผลการทำเอนไซม์ CGTase ให้บริสุทธิ์บางส่วน.....36

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	โครงสร้างไซโคลเดกซ์ทริน 3 ชนิดและโพรงว่างภายในโมเลกุล	2
1.2	แสดงการเกิด inclusion complex ของไซโคลเดกซ์ทริน	3
2.1	แผนภาพการทำเอนไซม์ CGTase ให้บริสุทธิ์บางส่วน	26
2.2	แสดงคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร	29
2.3	แสดงการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินในคอลัมน์	31
2.4	แสดงถังปฏิกิริยากวนขนาด 80 มิลลิลิตร	33
2.5	แสดงการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินในถังปฏิกิริยาแบบกวน	34
3.1	ผลการตรึงเอนไซม์ CGTase บนตัวค้ำด้วยวิธีดูดซับแบบกายภาพ	37
3.2	ผลการตรึงเอนไซม์ CGTase บนตัวค้ำด้วยวิธีโคเวเลนต์	39
3.3	ผลการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ APTS และ GLT ในการกระตุ้นอะลูมินาเพื่อนำไปใช้ในการตรึงเอนไซม์	41
3.4	ความสามารถในการตรึงเอนไซม์ CGTase ของอะลูมินา ที่ถูกกระตุ้นด้วย APTS และ GLT	42
3.5	ผลของ pH ต่อการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ CGTase อิสระและเอนไซม์ตรึง	43
3.6	ผลของอุณหภูมิต่อการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ CGTase อิสระและเอนไซม์ตรึง	45
3.7	ผลของ pH ต่อความเสถียรของเอนไซม์ CGTase อิสระและเอนไซม์ตรึง	46
3.8	ผลของอุณหภูมิต่อความเสถียรของเอนไซม์ CGTase อิสระและเอนไซม์ตรึง	47
3.9	ผลการศึกษาการเก็บรักษาเอนไซม์ CGTase อิสระและเอนไซม์ตรึงระยะยาวที่อุณหภูมิ 4^{o} ซ	49
3.10	ผลการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินในคอลัมน์แบบต่อเนื่องของเอนไซม์ CGTase ที่ถูกตรึงบนอะลูมินาด้วยพันธะโคเวเลนต์	50

3.11 ผลการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินในคอลัมน์แบบต่อเนื่องของเอนไซม์ CGTase ที่ถูกตรึงบนอะลูมินาด้วยพันธะโคเวเลนต์ เมื่อแปรผันความเข้มข้นของสับสเตรทที่ใช้...52

3.12 ผลการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินในคอลัมน์แบบต่อเนื่องของเอนไซม์ CGTase ที่ถูกตรึงบนอะลูมินาด้วยพันธะโคเวเลนต์ เมื่อแปรผันอัตราการป้อนสับสเตรท.....53

3.13 ผลการศึกษาความเสถียรของเอนไซม์ CGTase ที่ถูกตรึงบนอะลูมินาด้วยพันธะโคเวเลนต์ เมื่อผลิตไซโคลเดกซ์ทรินในคอลัมน์แบบต่อเนื่อง.....55

3.14 ผลการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินของเอนไซม์ CGTase ที่ถูกตรึงบนอะลูมินาด้วยพันธะโคเวเลนต์ ในถังปฏิกิริยาแบบกวนแบบไม่ต่อเนื่อง.....57

3.15 ผลการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินในถังปฏิกิริยาแบบกวนของเอนไซม์ CGTase ที่ถูกตรึงบนอะลูมินาด้วยพันธะโคเวเลนต์ เปรียบเทียบกับเอนไซม์อิสระ.....58

3.16 ผลการศึกษาความเสถียรของเอนไซม์ CGTase ที่ถูกตรึงบนอะลูมินาด้วยพันธะโคเวเลนต์เมื่อผลิตไซโคลเดกซ์ทริน ในถังปฏิกิริยาแบบกวนซ้ำหลายครั้ง.....60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อ

°ซ	=	องศาเซลเซียส
CD	=	Cyclodextrin
CGTase	=	Cyclodextrin Glycosyltransferase
APTS	=	Aminopropyltriethoxysilane
GLT	=	Glutaraldehyde
A	=	Absorbance
hr	=	Hour
µl	=	Microlitre
ml	=	Millilitre
ug	=	Microgram
mg	=	Milligram
g	=	Gram
mM	=	Millimolar
M	=	Molar
w/v	=	weight by volume

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย