

การบำบัดทางชีวภาพของดินที่ปนเปื้อนด้วยไพรีน/พีแนทรีนและ น้ำมันดีเซลโดยกลุ่มแบคทีเรีย
RRM-V3 และ PDE4 ที่ผ่านไลโอไฟล์เซชัน



นางสาวสุธาสินี จิตติมณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 1 7 2 5 0 5 0 2 3

BIOREMEDIATION OF PYRENE/PHENANTHRENE- AND DIESEL OIL-CONTAMINATED
SOIL BY LYOPHILIZED BACTERIAL CONSORTIA RRM-V3 AND PDE4

Miss Suthasinee Jittimane

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

Department of Microbiology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การบำบัดทางชีวภาพของดินที่ปนเปื้อนด้วยไพรีน/
ทีแนนทริน และน้ำมันดีเซลโดยกลุ่มแบคทีเรีย
RRM-V3 และ PDE4 ที่ผ่านไลโอไฟไลเซชัน

โดย

นางสาวสุธาสินี จิตติมณี

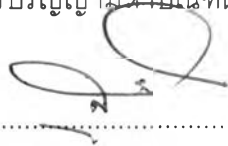
สาขาวิชา

จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชช์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ธนียวัน)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชช์)



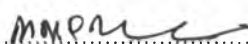
..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกวัล ลือพร้อมชัย)



..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชการ)



..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา จันทร์ทองจีน)

สุภาสินี จิตติมณี : การบำบัดทางชีวภาพของดินที่ปนเปื้อนด้วยไพรีน/ฟิเนนทรีน และน้ำมันดีเซลโดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4 ที่ผ่านไลโอไฟไลเซชัน (BIOREMEDIATION OF PYRENE/PHENANTHRENE- AND DIESEL OIL-CONTAMINATED SOIL BY LYOPHILIZED BACTERIAL CONSORTIA RRM-V3 AND PDE4) อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิช, 74 หน้า.

กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4 ได้ถูกไลโอไฟไลซ์โดยใช้ 12% ซูโครสเป็นสารป้องกันความเย็น หลังจากไลโอไฟไลเซชันกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4 มีการรอดชีวิต 99.7% และ 98.8% ตามลำดับ ฟิเนนทรีนและไพรีนที่ความเข้มข้นของแต่ละชนิด 0.05 กรัม ต่อลิตรถูกย่อยสลายโดยสมบรูณ์ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวโดย RRM-V3 ไลโอไฟไลซ์ ภายใน 3 และ 14 วัน ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมสดออกซิไดซ์ PAHs ทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้นเดียวกันจนหมดภายใน 1 วัน เมื่อใช้กลุ่มแบคทีเรีย PDE4 ไลโอไฟไลซ์เพื่อย่อยสลาย 1% น้ำมันดีเซล พบว่าเหลือน้ำมันดีเซล $66.69 \pm 32.6\%$ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว หลังจาก 14 วัน ในทางตรงข้ามกลุ่มแบคทีเรีย PDE4 ที่เตรียมสดสามารถย่อยสลาย 1% น้ำมันดีเซลจนเหลือ $9.59 \pm 9.6\%$ ภายใต้ภาวะเดียวกัน กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4 ไลโอไฟไลซ์ที่ผสมกันสามารถย่อยสลายฟิเนนทรีน/ไพรีนและน้ำมันดีเซลในดินได้จนเหลือ $39.85 \pm 5.4\%$, $42.77 \pm 5.8\%$ และ $41.51 \pm 4.8\%$ ตามลำดับ หลังจาก 14 วัน โดยสรุปไลโอไฟไลเซชันสามารถเก็บรักษากลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4 ให้รอดชีวิตได้ อย่างไรก็ตามกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4 ไลโอไฟไลซ์ มีกิจกรรมการย่อยสลาย PAHs ทั้ง 2 ชนิดและน้ำมันดีเซลได้น้อยกว่า เนื่องจากเซลล์อาจใช้ซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อการเจริญในระยะแรกของการย่อยสลายทางชีวภาพ

ภาควิชา จุลชีววิทยา ลายมือชื่อนิสิต..... สุภาสินี จิตติมณี
 สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2552

5172505023 : MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY

KEYWORDS : BIOREMEDIATION / PAHs / DIESEL OIL / LYOPHILIZATION / SOIL

SUTHASINEE JITTIMANEE : BIOREMEDIATION OF PYRENE/
PHENANTHRENE- AND DIESEL OIL-CONTAMINATED SOIL BY
LYOPHILIZED BACTERIAL CONSORTIA RRM-V3 AND PDE4. THESIS
ADVISOR : ASST.PROF.KOBCHAI PATTARAGULWANIT, Dr.rer.nat., 74 pp.

Bacterial consortia RRM-V3 and PDE4 were lyophilized using 12% sucrose as a cryoprotective agent. After lyophilization, viability of RRM-V3 and PDE4 were 99.7% and 98.8%, respectively. Phenanthrene and pyrene at the initial concentration of 0.05 g/l each in liquid medium were completely degraded by lyophilized RRM-V3 within 3 and 14 days, respectively, whereas fresh RRM-V3 cells completely oxidized both PAHs at the same concentration within 1 day. Utilization of lyophilized PDE4 to degrade 1% diesel oil revealed that 66.69±32.6% of diesel oil remained in liquid medium after 14 days. On the contrary, fresh PDE4 could degrade diesel oil to 9.59±9.6% remaining under the same condition. Mixed lyophilized RRM-V3 and PDE4 could degrade phenanthrene/pyrene and diesel oil in soil to 39.85±5.4%, 42.77±5.8% and 41.51±4.8% remaining, after 14 days respectively. In conclusion, lyophilization could maintain the survival of both bacterial consortia RRM-V3 and PDE4. However, lyophilized RRM-V3 and PDE4 were less active in degradation of both PAHs and diesel oil because the cells may use sucrose as carbon source for growth in the first stage of biodegradation.

Department : Microbiology

Student's Signature *Suthasinee Jittimanee*

Field of Study : Industrial Microbiology

Advisor's Signature *K. Pattaragulwanit*

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์ด้วยดี โดยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาถ่ายทอดความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์ ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านอื่นๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ธานีวัน ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกวัล ลือพร้อมชัย รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชกร และรองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา จันทองจีน เป็นอย่างสูงที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาจุลชีววิทยา ที่กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำต่างๆ แก่ผู้วิจัยในการดำเนินงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณคุณสุทธิรักษ์ นิยมฤทธิ ที่ช่วยเหลือในการทำการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ร่วมรุ่นทุกคน และพี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่มีส่วนช่วยเหลือในหลายๆ ด้าน

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาที่เป็นแรงบันดาลใจ และกำลังใจในการศึกษาตลอดมา รวมถึงคอยสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายลักษณะคำย่อ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรม.....	4
2.1 น้ำมันดีเซล.....	4
2.2 สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	4
2.2.1 พีแนนทริน.....	6
2.2.2 ไพรีน.....	7
2.3 การบำบัดน้ำมันดีเซล และ PAHs ในสิ่งแวดล้อม.....	7
2.3.1 การบำบัดน้ำมันดีเซลและ PAHs ทางกายภาพ.....	8
2.3.2 การบำบัดน้ำมันดีเซลและ PAHs ทางเคมี.....	8
2.3.3 การบำบัดน้ำมันดีเซล และPAHs โดยวิธีชีวภาพ.....	8
2.4 กลไกการย่อยสลายน้ำมันดีเซล และPAHs.....	10
2.5 ไลโอไฟไลเซชัน (Lyophilization).....	11
2.5.1 สารป้องกันความเย็นชนิดที่สามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์.....	12
2.5.2 สารป้องกันความเย็นชนิดที่ไม่สามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์.....	12
2.6 กลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4.....	15
บทที่ 3 อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	16
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	16
เคมีภัณฑ์.....	17
วิธีดำเนินงานวิจัย.....	19

บทที่	หน้า
3.1 การเพาะเลี้ยงกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4.....	19
3.1.1 จุลินทรีย์.....	19
3.1.2 การเพาะเลี้ยงกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4.....	19
3.2 การทำแห้งเยือกแข็ง (Lyophilization).....	19
3.2.1 การเตรียมกลุ่มแบคทีเรีย.....	19
3.2.2 การเตรียมแอมพูล และสารป้องกันความเย็น.....	20
3.2.3 กระบวนการไลโอไฟล์เซชัน.....	20
3.3 ประเมินการรอดชีวิตและการย่อยสลายไฟรีน/พีแนทรีน และน้ำมันดีเซล ของกลุ่มแบคทีเรียที่ผ่านกระบวนการไลโอไฟล์เซชัน.....	21
3.3.1 การวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียที่มีชีวิต.....	21
3.3.2 การย่อยสลายไฟรีนและพีแนทรีนของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3.....	22
3.3.3 การสกัดไฟรีนและพีแนทรีนในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM.....	22
3.3.4 การย่อยสลายน้ำมันดีเซลของกลุ่มแบคทีเรีย PDE4.....	22
3.3.5 การสกัดน้ำมันดีเซลที่เหลือในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM.....	23
3.3.6 การวิเคราะห์ปริมาณ PAHs และน้ำมันดีเซลโดยแก๊สโครมาโตกราฟี.....	23
3.4 ประสิทธิภาพกลุ่มแบคทีเรียผสม RRM-V3 และ PDE4 ที่ผ่านกระบวนการ ไลโอไฟล์เซชันในการบำบัดไฟรีน/พีแนทรีนและน้ำมันดีเซลในดิน.....	24
3.4.1 การเตรียมดิน.....	24
3.4.2 การย่อยสลายไฟรีน/พีแนทรีนและ น้ำมันดีเซลในดิน.....	24
3.4.3 การสกัดไฟรีน/พีแนทรีนและ น้ำมันดีเซลในดิน.....	25
3.4.4 การคำนวณปริมาณน้ำมันดีเซล.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	26
4.1 การย่อยสลายไฟรีนและพีแนทรีนในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM โดยกลุ่ม แบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4 ที่เตรียมสด.....	27
4.2 การย่อยสลายน้ำมันดีเซลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4 ที่เตรียมสด.....	29
4.3 ไลโอไฟล์เซชันกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4.....	31

บทที่	หน้า
4.4 การย่อยสลายไฟรีนและฟีนานทรีนในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM โดยกลุ่ม แบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผ่านการไลโอไฟไลเซชัน.....	32
4.5 การย่อยสลายน้ำมันดีเซลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย PDE4 ที่ผ่านการไลโอไฟไลเซชัน.....	34
4.6 การย่อยสลายไฟรีน/ฟีนานทรีนและ น้ำมันดีเซลในดิน.....	36
4.6.1 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของดินที่ใช้ในการ ทดลอง.....	36
4.6.2 การย่อยสลายไฟรีน/ฟีนานทรีน และน้ำมันดีเซลในดินโดยกลุ่ม แบคทีเรียผสม RRM-V3/PDE4 ที่เตรียมสด.....	37
4.6.3 การย่อยสลายไฟรีน/ฟีนานทรีนและ น้ำมันดีเซลในดินโดยกลุ่ม แบคทีเรียผสม RRM-V3/PDE4 ที่ผ่านการไลโอไฟไลเซชัน.....	39
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	42
รายการอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก.....	60
ภาคผนวก ข.....	62
ภาคผนวก ค.....	64
ภาคผนวก ง.....	67
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	74

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	การรอดชีวิตของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4 ที่ผ่านการไลโอไฟไลเซชันด้วย 12% ซูโครส.....	31
4.2	ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของดินที่นำมาใช้.....	36
5.1	สรุปผลการย่อยสลายไฟรีน/พีแนนทรีนและ น้ำมันดีเซล โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4.....	42
ค.1	พื้นที่ได้กราฟความเข้มข้นของพีแนนทรีนและไฟรีน.....	64
ค.2	พื้นที่ได้กราฟความเข้มข้นของน้ำมันดีเซล.....	66
ง.1	การรอดชีวิตของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผ่านการไลโอไฟไลเซชันด้วยสารป้องกันความเย็นชนิดต่างๆ.....	67
ง.2	การรอดชีวิตของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผ่านการไลโอไฟไลเซชัน ก่อนและหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน.....	70

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2.1	โครงสร้างโมเลกุล PAHs ที่สำคัญ 16 ชนิด ในรายงานสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (The U.S. Environmental Protection Agency, EPA).....	5
2.2	โครงสร้างโมเลกุลของพีแนนทรีน.....	6
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของไพรีน.....	7
2.4	กลไกหลักของการบำบัด PAHs วิธีชีวภาพ.....	11
2.5	โครงสร้างโมเลกุลของโดเมทิลซัลฟอกไซด์.....	12
2.6	โครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลซูโครส.....	13
3.1	ลักษณะแอมพลูที่มีกลุ่มแบคทีเรียละลายใน 12% ซูโครสปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ในระหว่างขั้นตอนการทำแห้งขั้นแรก (ก) และการทำแห้งขั้นที่สอง (ข).....	21
4.1	แผนผังการทดลองย่อยสลายไพรีน/พีแนนทรีน และน้ำมันดีเซลโดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4 การย่อยสลายน้ำมันดีเซลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM.....	26
4.2	การย่อยสลายไพรีนและพีแนนทรีนในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM (ก) โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมสด (ข) โดยกลุ่มแบคทีเรีย PDE4 ที่เตรียมสด.....	28
4.3	การย่อยสลายน้ำมันดีเซลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 และ PDE4 ที่เตรียมสด.....	30
4.4	การย่อยสลายไพรีนและพีแนนทรีนในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผ่านการไลโอไฟไลเซชัน.....	33
4.5	การย่อยสลายน้ำมันดีเซลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM โดยกลุ่มแบคทีเรีย PDE4 ที่ผ่านการไลโอไฟไลเซชัน.....	35
4.6	การย่อยสลายไพรีน/พีแนนทรีนและ น้ำมันดีเซลในดินโดยกลุ่มแบคทีเรียผสม RRM-V3/ PDE4 ที่เตรียมสด (ก) การย่อยสลายน้ำมันดีเซลหรือไพรีน/พีแนนทรีน (ข) จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด.....	38
4.7	การย่อยสลายไพรีน/พีแนนทรีนและ น้ำมันดีเซลในดิน โดยกลุ่มแบคทีเรียผสม RRM-V3/ PDE4 ที่ผ่านการไลโอไฟไลเซชัน (ก) การย่อยสลายน้ำมันดีเซลหรือไพรีน/พีแนนทรีน (ข) จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด.....	41

ภาพที่	หน้า
5.1 GC โคโรมาโตแกรมของปริมาณน้ำมันดีเซลที่ย่อยสลายโดยกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่เตรียมสด (ก) ปริมาณน้ำมันดีเซลในวันที่ 0 (ข) ปริมาณน้ำมันดีเซลในวันที่ 7	44
5.2 GC โคโรมาโตแกรมของปริมาณน้ำมันดีเซลที่ย่อยสลายโดยกลุ่มแบคทีเรีย PDE4 ที่เตรียมสด (ก) ปริมาณน้ำมันดีเซลในวันที่ 0 (ข) ปริมาณน้ำมันดีเซลในวันที่ 1.....	46
ค.1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของพีแนนทริน.....	64
ค.2 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของไพรีน.....	65
ค.3 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของน้ำมันดีเซล.....	66
ง.1 การเจริญของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผ่านการไลโอไฟล์เซชันด้วยสารป้องกันความเย็นชนิดต่างๆ.....	69
ง.2 การย่อยสลายไพรีนและพีแนนทรินในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM ของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผ่านการไลโอไฟล์เซชันและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน.....	72
ง.3 การย่อยสลายไพรีนและพีแนนทรินในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM ของกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่ผ่านการไลโอไฟล์เซชันและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน.....	73

คำอธิบายลักษณะคำย่อ

% = เปอร์เซ็นต์

มล. = มิลลิลิตร

CFU = colony forming unit