การผลิตเบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621

นางสาว กาญจนา มหัทธนทวี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาจุลชีววิทยา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-579-243-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17202632

PRODUCTION OF β-CAROTENE BY *Rhodotorula* sp. Y1621

Miss Kanjana Mahattanatavee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Microbiology

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-579-243-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตเบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621
โดย	นางสาว กาญจนา มหัทธนทวี
ภาควิชา	จุลชีววิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ส่งศรี กุลปรีชา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ส่งศรี กุลปรีชา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วินิจ ชาติวรรธน์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ กรรณิการ์ จันทรสอาด)

กาญจนา มหัทธนทวี : การผลิตเบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621 (PRODUCTION OF β-CAROTENE BY *Rhodotorula* sp. Y1621) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ส่งศรี กุลปรีชา, 115 หน้า. ISBN 974-579-243-8

ยีสต์ *Rhodotorula* sp. Y1621 เป็นจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้จากแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ เชื้อรา 2 สายพันธุ์ และยีสต์ 9 สายพันธุ์ เพื่อศึกษาการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน สภาวะของการเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมเพื่อการผลิตเบตา-แคโรทีน ในระดับขวดเขย่าคือ แหล่งคาร์บอน และแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมได้แก่ แป้งไฮโดรไลส์ที่มีน้ำตาลรีดิวส์ร้อยละ 3 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และกากถั่วเหลืองไฮโดรไลส์ ที่มีไนโตรเจนร้อยละ 0.05 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ตามลำดับ อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25°-30° ซ. ความเป็นกรดด่างเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 5-6 และความเร็วรอบของเครื่องเขย่า 200-300 รอบ/นาที ปริมาณรงควัตถุที่ถูกสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติม ไทอามีน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร $FeSO_4.7H_2O$ 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร $CuSO_4.5H_2O$ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร และ $ZnSO_4.7H_2O$ 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร โดยได้ปริมาณเบตา-แคโรทีนเท่ากับ 450 ไมโครกรัม/กรัมเซลล์แห้ง การย้ายเซลล์ลงสู่สารละลายบัฟเฟอร์ ที่มีค่าความเป็นกรดด่าง ตั้งแต่ 2-9 ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณเบตา-แคโรทีน การเติมสารแอนติออกซิแดนท์ 0.2 กรัม/ลิตร และการให้แสงความเข้ม 1000 ลักซ์ ตลอดเวลาการเพาะเลี้ยงเชื้อ มีผลให้ปริมาณเบตา-แคโรทีนเพิ่มขึ้นเป็น 685.09 ไมโครกรัม/กรัมเซลล์แห้ง เมื่อเลี้ยง *Rhodotorula* sp. Y1621 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร อัตราการให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหนัก/นาที อัตราเร็วในการกวน 450 รอบ/นาที อุณหภูมิ 28° ซ. ควบคุมค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 6.0 แล้วปรับค่าความเป็นกรดด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อให้ลดลงตามลำดับ จนมีค่าเท่ากับ 2.5 เติมแอนติออกซิแดนท์ 0.2 กรัม/ลิตร และให้แสงความเข้ม 1000 ลักซ์ ตลอดเวลาการเลี้ยงเชื้อ พบว่าปริมาณเบตา-แคโรทีน ที่ได้ (1612.50 ไมโครกรัม/กรัมเซลล์แห้ง) สูงกว่า และใช้ระยะเวลาเลี้ยงเชื้อ (36 ชม.) ที่สั้นกว่าเมื่อเลี้ยงเชื้อในขวดเขย่า

ภาควิชา .....จุลชีววิทยา.....
สาขาวิชา .....จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม.....
ปีการศึกษา .....2533.....

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

KANJANA MAHATTANATAVEE : PRODUCTION OF β-CAROTENE BY *Rhodotorula* sp. Y1621. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF.SONGSRI KULPREECHA. 155 PP. ISBN 974-579-243-8

A yeast, *Rhodotorula* sp. Y1621 was selected from 2 strains of bacteria, 2 strains of mold, and 9 strains of yeast for the investigation of β-carotene production. Followings are the optimal conditions for β-carotene production in shaking flask culture : hydrolysed starch (3% reducing sugar) and hydrolysate of soybean meal (0.05 % N) as the suitable carbon and nitrogen source respectively; the optimal temperature of 25^{O}-30^{O}C; the initial pH of culture medium at 5-6; and agitation speed of the incubator shaker at 200-300 rpm. The amount of synthesized pigment increased with the addition of thiamine; 0.05 mg/L, $FeSO_4.7H_2O$; 0.2 mg/L, $CuSO_4.5H_2O$; 0.1 mg/L and $ZnSO_4.7H_2O$; 0.4 mg/L of which the highest yield is 450 μg/g dried cells. No detection of the increasing amount of β-carotene when the cells were transferred to buffer solution (pH 2-9); however, addition of 0.2 g/L antioxidant to the culture medium and cultivation in illumination condition of 1000 luxes enhanced the pigment formation up to 685.09 μg/g dried cells. Furthermore, *Rhodotorula* sp. Y1621 cultivated in a 5 L fermenter under the following conditions: temperature; 28^{O}C, aeration rate; 1.0 vvm, agitation speed; 450 rpm, initial pH 6.0 and 2.5 at the end , 0.2 g/L of antioxidant, and under illumination condition of 1000 luxes, leaded to the higher amount of β-carotene (1612.50 μg/g dried cells) and the shorter cultivation time (36 hr) than shaking flask condition.

ภาควิชา จุลชีววิทยา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2533 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ส่งศรี กุลปรีชา ที่ได้กรุณาเป็นที่ปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ แนวความคิด กำลังใจ และความเข้าใจ อันมีค่ายิ่งตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ตลอดจนช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วินิจ ขำวิวรรธน์ และรองศาสตราจารย์ กรรณิกา จันทรสอาด ที่ได้กรุณารับเป็นกรรมการสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณท่านคณาจารย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา และภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณา และคำชี้แนะต่างๆ มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาจุลชีววิทยา และเจ้าหน้าที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกระหว่างการทำวิจัยเป็นอย่างดี และขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคน ที่ได้มีส่วนช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัยนี้

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และ คุณอิทธิภูมิ บุญพิคำ ตลอดจนสมาชิกในครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกาย กำลังใจ และกำลังทรัพย์ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ญ

คำย่อ ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ 1
2. วิธีการทดลอง 15
3. ผลการวิจัย 29
4. บทสรุป และวิจารณ์ 91

เอกสารอ้างอิง 104

ภาคผนวก 110

ประวัติผู้เขียน 115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน	4
2	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ในตัวทำละลาย... แต่ละชนิด	7
3	เปรียบเทียบการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีนโดยจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆ....	33
4	เปรียบเทียบชนิดของอาหารที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน.. โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	35
5	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน..... โดย *Rhodotorula* sp. Y 1621	46
6	ผลของการรวมอิออนของโลหะที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์..... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* spp. Y1621	54
7	การสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621..... เมื่อเซลล์อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ และเมื่อย้ายเซลล์ไปยังสารละลาย ที่มีค่าความเป็นกรดด่างต่างกัน	58
8	ผลของการเติมแอนติออกซิแดนท์ที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์.... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	67
9	ผลของการเติมคีโรซีนที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์..... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	67
10	ผลของการเติมสารบางชนิดร่วมกัน ที่มีต่อการเติบโต และการ..... สังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	71
11	ผลของแสงที่ความเข้มแสงต่างๆ ที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	72
12	ผลของระยะเวลาการให้แสงที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์..... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	75

ตารางที่ หน้า

13 ผลของสารแอนติออกซิแดนท์ และการให้แสงที่มีต่อการเติบโต และการ... 77
สังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	สูตรโครงสร้างของเบตา-แคโรทีน.....	1
2	การสังเคราะห์วิตามินเอจากเบตา-แคโรทีน.....	2
3	ขั้นตอนการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ ทางชีวภาพ.....	5
4	สูตรโครงสร้างของ.....	12
	1. กรดไตรสปอริค 2. วิตามินเอ 3. กรดแอบซิสิค	
	4. เบตา-ไอโอโนน 5. แอลฟา-ไอโอโนน	
5	รูปแบบการดูดกลืนแสงของรงควัตถุที่สังเคราะห์โดย *Rhodotorula* sp.	30
	สายพันธุ์ Y1621 K0001 C0001 และ M0001	
6	รูปแบบการดูดกลืนแสงของรงควัตถุที่สังเคราะห์โดย *Rhodotorula* sp.	31
	สายพันธุ์ T5159 C0003 Y1592 Y1585 และ C0002	
7	รูปแบบการดูดกลืนแสงของรงควัตถุที่สังเคราะห์โดย *Blakeslea* sp....	32
	C0004 *Blakeslea* sp. C0005 แบคทีเรียสายพันธุ์ C0006	
	และแบคทีเรียสายพันธุ์ C0007	
8	ลักษณะการเติบโตของ *Rhodotorula* sp. Y1621 บนอาหารเลี้ยงเชื้อ YM	34
9	ลักษณะเซลล์ของ *Rhodotorula* sp. Y1621 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลัง	34
	ขยาย 1000 เท่า	
10	รูปแบบการดูดกลืนแสง ของสารมาตรฐานเบตา-แคโรทีน (ก) และของ..	37
	รงควัตถุที่ได้จาก *Rhodotorula* sp. Y1621 (ข)	
11	โครมาโตแกรม (จากโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง) ของสารมาตรฐาน....	38
	เบตา-แคโรทีน และของรงควัตถุที่ได้จาก *Rhodotorula* sp. Y1621	
12	รูปแบบการดูดกลืนแสง ของจุดบนแผ่นโครมาโตแกรม ที่มีค่า Rf=0.15...	39
	เมื่อสกัดออกจากแผ่นโครมาโตแกรม	

รูปที่		หน้า
13	โครมาโตแกรม (จากไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโตกราฟี) ของสาร.. มาตรฐานเบตา-แคโรทีน trans-β-apo-8'-carotenal และของรงควัตถุที่ได้จาก *Rhodotorula* sp. Y1621	40
14	การเติบโตและการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีนที่เวลาต่างๆ โดย..... *Rhodotorula* sp. Y1621 ในสูตรอาหาร Costa	42
15	การเติบโตและการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp.. Y1621 เมื่อเลี้ยงในแหล่งคาร์บอนชนิดและความเข้มข้นต่างๆกัน	43
16	การเติบโตและการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp.. Y1621 เมื่อเลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนชนิดและความเข้มข้นต่างๆกัน	45
17	ผลของความเป็นกรดด่างเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่มีต่อการเติบโต... และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีนโดย *Rhodotorula* sp. Y1621	47
18	ผลของความเร็วรอบของการเขย่าที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์.. เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	49
19	ผลของการเติมผงสกัดยีสต์ที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์..... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	50
20	ผลของการเติมไทอามีนที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	52
21	ผลของการเติมอิออนของโลหะที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์..... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	53
22	ผลของการรวมอิออนของโลหะที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์..... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	55
23	การเติบโตและการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน ที่เวลาต่างๆ โดย ..... *Rhodotorula* sp. Y1621 ในอาหารสูตรปรับปรุง	57
24	ผลของการเติมน้ำมันพืชที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
25	ผลของการเติมดีเทอร์เจนต์ที่มีต่อการเติบโตและการสังเคราะห์..... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	61
26	ผลของการเติมเบตา-ไอโอโนนที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์.... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	62
27	ผลของการเติมกรดแคบซิลิค ที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์..... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	63
28	ผลของการเติมโซเดียมซัคซิเนทที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์.... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	65
29	ผลของการเติมวิตามินเอที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์..... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	66
30	ผลของการเติมแอนติออกซิแดนท์ที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์.... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	68
31	ผลของการเติมคีโรซีนที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	69
32	ผลของแสงที่ความเข้มแสงต่างๆที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์.... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	73
33	ผลของระยะเวลาการให้แสงที่มีต่อการเติบโต และการสังเคราะห์..... เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	76
34	ผลของสารแอนติออกซิแดนท์ และการให้แสงที่มีต่อการเติบโต และ..... การสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621	78
35	ลักษณะการเติบโตของ *Rhodotorula* sp. Y1621 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร	79
36	การเติบโต และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร อัตราการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ /ปริมาตรน้ำหมัก/นาที อัตราเร็วในการกวน 300 รอบ/นาที ควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อ	80

รูปที่		หน้า
37	การเติบโต และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร อัตราการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ /ปริมาตรน้ำหมัก/นาที อัตราเร็วในการกวน 450 รอบ/นาที ควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อ	82
38	การเติบโต และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร อัตราการให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ /ปริมาตรน้ำหมัก/นาที อัตราเร็วในการกวน 300 รอบ/นาที ควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อ	83
39	การเติบโต และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร อัตราการให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ /ปริมาตรน้ำหมัก/นาที อัตราเร็วในการกวน 450 รอบ/นาที ควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อ	85
40	การเติบโต และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร อัตราการให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ /ปริมาตรน้ำหมัก/นาที อัตราเร็วในการกวน 600 รอบ/นาที ควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อ	86
41	การเติบโต และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศ /ปริมาตรน้ำหมัก/นาที อัตราเร็วในการกวน 600 รอบ/นาที ควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อ	88
42	การเติบโต และการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน โดย *Rhodotorula* sp. Y1621 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เติมแอนติออกซิแดนท์ 0.2 กรัม/ลิตร และให้แสงความเข้ม 1000 ลักซ อัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที อัตราเร็วในการกวน 450 รอบ/นาที ควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อ	90

ตัวย่อ

มล. = มิลลิลิตร

°ซ. = องศาเซลเซียส

ชม. = ชั่วโมง

ซม. = เซนติเมตร