การเตรียมเอนไซม์เรนนินตรึงรูปเพื่อการผลิตเนยแข็ง

นางสาว สาวิตรี จึงแสงสถิตย์พร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

ISBN 974-568-777-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019095

I17508187

PREPARATION OF IMMOBILIZED RENNIN FOR CHEESE MAKING

Miss Savitree Chuengsaengsatityaporn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Food Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974-568-777-4

กิตติกรรมประกาศ

ส่วนสำคัญยิ่งในความสำเร็จของผลงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ ความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง อาจารย์ที่ปรึกษา และ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม โดยให้ความสนับสนุนแก่ข้าพเจ้าในด้านคำแนะนำปรึกษา ตลอดจนแนวความคิดต่าง ๆ อย่างดียิ่งเสมอมา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ แม้มิอาจทดแทนความกรุณาที่อาจารย์มีต่อข้าพเจ้าก็ตาม

ขอขอบพระคุณบริษัท อี๊สต์เอเชียติ๊ก (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เอนไซม์เรนนิเลส-แอล ตลอดงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน กรุณาอนุญาตให้ใช้เครื่องวัดความแข็งของลิ่มนม

ขอขอบพระคุณภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง

ขอขอบพระคุณ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน ที่กรุณาให้เงินอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัยขั้นปริญญาโท ประจำปี 2530 แก่ข้าพเจ้าซึ่งอยู่ในความดูแลของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนอีกส่วนหนึ่งสำหรับงานวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้อำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ

ความช่วยเหลือจากรุ่นพี่ เพื่อน และน้อง ๆ ข้าพเจ้าขอขอบคุณยิ่งสำหรับกำลังใจ กำลังกาย และกำลังความคิด ซึ่งข้าพเจ้าจะระลึกถึงตลอดไป

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณสันติ - คุณผะอบ จึงแสงสถิตย์พร ผู้เป็นเสมือนคุณพ่อและคุณแม่คู่ที่สองของข้าพเจ้า รวมทั้งบุคคลที่ข้าพเจ้าระลึกถึงในบุญคุณเสมอมาคือ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ตระกูลรังสิ

สำหรับพี่และน้องของข้าพเจ้า ความช่วยเหลือและกำลังใจทั้งหลายคือความผูกพันที่เป็นนัยยะอันยากจะบอกกล่าว

ท้ายสุดข้าพเจ้าขอกราบแทบเท้าคุณพ่อและคุณแม่ ผู้ให้ทุกสิ่งที่เป็นข้าพเจ้าในวันนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญรูป ..... ฑ

คำย่อและสัญญลักษณ์ ..... ณ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วารสารปริทัศน์

2.1 เนยแข็ง

2.1.1 นิยามของเนยแข็ง 5

2.1.2 ประวัติเนยแข็ง 5

2.1.3 ประเภทของเนยแข็ง 6

2.2 โปรตีนนม

2.2.1 เคซีน 7

2.2.2 เวย์โปรตีน 13

2.3 เอนไซม์เรนนิน

2.3.1 แหล่งของเอนไซม์เรนนิน 14

2.3.2 โครงสร้างของเอนไซม์เรนนิน 17

2.3.3 ปฏิกิริยาของเอนไซม์เรนนินต่อเคซีน 18

2.4 การตรึงรูปเอนไซม์

2.4.1 นิยามของเอนไซม์ตรึงรูป 21

2.4.2 วิธีตรึงรูปเอนไซม์ 21

2.4.3 การเตรียมเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 24

บทที่ หน้า

3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ 26

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารเคมีที่ใช้ตรึงรูปเอนไซม์เรนนิน 28

3.2.2 สารเคมีที่ใช้วัดแอคติวิตีของเอนไซม์เรนนิน 29

3.2.3 สารเคมีในการศึกษาภาวะการใช้เอนไซม์เรนนินตรึงรูป ในการตกตะกอนเคซีนในนม 32

3.2.4 สารเคมีที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งเชดดาร์ 33

3.2.5 สารเคมีที่ใช้หาปริมาณโปรตีน 33

3.2.6 สารเคมีที่ใช้หาปริมาณไขมัน 35

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 35

3.3.2 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 42

3.3.3 ศึกษาภาวะการใช้เอนไซม์เรนนินตรึงรูปในการตกตะกอน เคซีนในน้ำนม 45

3.3.4 การทดลองเบื้องต้นในการผลิตเนยแข็งเชดดาร์ 49

4. ผลการวิจัย

4.1 การเตรียมเอนไซม์เรนนินตรึงรูป

4.1.1 กำหนดปริมาณเอนไซม์เรนนินที่พอเหมาะในการตรึงรูป . 58

4.1.2 กำหนดความเข้มข้นของ APTS และกลูตารัลดีไฮด์ที่ เหมาะสมต่อการเตรียมเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 60

4.1.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเกาะเกี่ยวระหว่างเอนไซม์ เรนนินกับ G-APTS-ทราย ของภาวะ $A_2G_{2.5}$ และ $A_5G_{2.5}$ 63

4.1.4 กำหนดปริมาณเอนไซม์เรนนินที่พอเหมาะในการตรึงรูปที่ ภาวะ $A_5G_{2.5}$ 65

บทที่ หน้า

4.1.5 ศึกษาโครงสร้างของเอนไซม์เรนนินตรึงรูปเปรียบเทียบกับทรายสะอาดขนาด 50 เมช ที่ใช้เป็นตัวพยุง 67

4.2 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์เรนนินตรึงรูป

4.2.1 วัดค่า K_m และ V_{max} ของเอนไซม์เรนนินตรึงรูปและเอนไซม์เรนนินไม่ตรึงรูป 73

4.2.2 เปรียบเทียบ pH profile ของแอคติวิตีของเอนไซม์-เรนนินตรึงรูปและเอนไซม์เรนนินไม่ตรึงรูป 75

4.2.3 เปรียบเทียบ temperature profile ของแอคติวิตีของเอนไซม์เรนนินตรึงรูปและเอนไซม์เรนนินไม่ตรึงรูป 77

4.2.4 หาค่าแอคติวิตีจำเพาะ (Specific activity) ของเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 79

4.2.5 เสถียรภาพระหว่างการเก็บของเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 79

4.2.6 หาค่าครึ่งชีวิตของเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 79

4.3 ศึกษาภาวะการใช้เอนไซม์เรนนินตรึงรูปในการตกตะกอนเคซีนในนม

4.3.1 หาปริมาณเอนไซม์เรนนินตรึงรูปที่เหมาะสมต่อการตก-ตะกอนนม 82

4.3.2 เปรียบเทียบ pH profile ในการตกตะกอนนมของเอนไซม์เรนนินตรึงรูปและเอนไซม์เรนนินไม่ตรึงรูป .. 84

4.3.3 เปรียบเทียบ temperature profile ในการตกตะกอนนมของเอนไซม์เรนนินตรึงรูปและเอนไซม์เรนนินไม่ตรึงรูป 86

4.3.4 ศึกษาภาวะ pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนนม 88

4.3.5 ศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนนม 91

4.3.6 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดลิ่มแข็ง (Curd firmness) ของน้ำนม 93

บทที่ หน้า

4.4 การทดลองเบื้องต้นในการผลิตเนยแข็งเชดดาร์

4.4.1 การผลิตเนยแข็งเชดดาร์ 96

4.4.2 วิเคราะห์คุณภาพเนยแข็งเชดดาร์เมื่อเริ่มบ่ม 96

4.4.3 ศึกษาประสิทธิภาพของการนำเอนไซม์เรนนินตรึงรูปกลับมาใช้ใหม่ 98

4.4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส 100

5. อภิปรายผลการทดลอง

5.1 การเตรียมเอนไซม์เรนนินตรึงรูป

5.1.1 กำหนดปริมาณเอนไซม์เรนนินที่พอเหมาะในการตรึงรูป . 102

5.1.2 กำหนดความเข้มข้นของ APTS และกลูตารัลดีไฮด์ที่เหมาะสมต่อการเตรียมเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 102

5.1.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเกาะเกี่ยวระหว่างเอนไซม์เรนนินกับ G-APTS-ทราย ของภาวะ $A_2G_{2.5}$ และ $A_5G_{2.5}$ 104

5.1.4 กำหนดปริมาณเอนไซม์เรนนินที่พอเหมาะในการตรึงรูปที่ภาวะ $A_5G_{2.5}$ 104

5.1.5 ศึกษาโครงสร้างของเอนไซม์เรนนินตรึงรูปเปรียบเทียบกับทรายสะอาดขนาด 50 เมช ที่ใช้เป็นตัวพยุง 104

5.2 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์เรนนินตรึงรูป

5.2.1 วัดค่า K_m และ V_{max} ของเอนไซม์เรนนินตรึงรูปและเอนไซม์เรนนินไม่ตรึงรูป 105

5.2.2 เปรียบเทียบ pH profile ของแอคติวิตีของเอนไซม์เรนนินตรึงรูปและเอนไซม์เรนนินไม่ตรึงรูป 105

5.2.3 เปรียบเทียบ temperature profile ของแอคติวิตีของเอนไซม์เรนนินตรึงรูปและเอนไซม์เรนนินไม่ตรึงรูป ... 106

5.2.4 หาค่าแอคติวิตีจำเพาะของเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 107

5.2.5 เสถียรภาพระหว่างการเก็บเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 107

บทที่ หน้า

5.2.6 หาค่าครึ่งชีวิตของเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 107
5.3 ศึกษาภาวะการใช้เอนไซม์เรนนินตรึงรูปในการตกตะกอนเคซีนในนม
5.3.1 หาปริมาณเอนไซม์เรนนินตรึงรูปที่เหมาะสมต่อการตก-ตะกอนนม 108
5.3.2 เปรียบเทียบ pH profile ในการตกตะกอนนมของเอนไซม์เรนนินตรึงรูปและเอนไซม์เรนนินไม่ตรึงรูป ... 109
5.3.3 เปรียบเทียบ temperature profile ในการตกตะกอนนมของเอนไซม์เรนนินตรึงรูปและเอนไซม์เรนนินไม่ตรึงรูป 109
5.3.4 ศึกษาภาวะ pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนนม 110
5.3.5 ศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนนม 110
5.3.6 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดลิ่มแข็งของน้ำนม ... 111
5.4 การทดลองเบื้องต้นในการผลิตเนยแข็งเชดดาร์
5.4.1 การผลิตเนยแข็งเชดดาร์ 112
5.4.2 วิเคราะห์คุณภาพเนยแข็งเชดดาร์เมื่อเริ่มบ่ม 113
5.4.3 ศึกษาประสิทธิภาพของการนำเอนไซม์เรนนินตรึงรูปกลับมาใช้ใหม่ 113
5.4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส 114
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
6.1 สรุปผลการวิจัย
6.1.1 สภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมเอนไซม์เรนนินตรึงรูปแบบเชื่อมด้วยพันธะโคเวเลนต์ 115
6.1.2 จลนพลศาสตร์ของเอนไซม์เรนนินตรึงรูป 115
6.1.3 สภาวะของน้ำนมที่เหมาะสมต่อเอนไซม์เรนนินตรึงรูปในการตกตะกอนนม 116

บทที่ หน้า

6.1.4 ประสิทธิภาพของการใช้เอนไซม์เรนนินตรึงรูปเพื่อผลิตเนยแข็งเชดดาร์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนขนาด 16×12×12 นิ้ว ซึ่งมีขนาดบรรจุนม 10 ลิตร 116

6.2 ข้อเสนอแนะ 116

เอกสารอ้างอิง 120

ภาคผนวก 124

ประวัติผู้เขียน 141

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แหล่งเอนไซม์ทางการค้าที่ใช้ทดแทนเอนไซม์เรนนิน	15
2	พืชและสารสกัดจากพืชที่มีคุณสมบัติตกตะกอนนม	16
3	องค์ประกอบทางเคมีโดยเฉลี่ยของน้ำนมพาสเจอร์ไรซ์ที่ใช้ตลอดการทดลอง	32
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการหาความเข้มข้นของ APTS และกลูตาราลดีไฮด์ที่เหมาะสมในการตรึงรูปเอนไซม์เรนนินด้วยวิธีวาเรียนซ์แบบสุ่มตลอด ...	61
5	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการหาความเข้มข้นของ APTS และกลูตาราลดีไฮด์ที่เหมาะสมในการตรึงรูปเอนไซม์เรนนินด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95	62
6	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการหา pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนนมด้วยวิธีวาเรียนซ์แบบสุ่มตลอด	89
7	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการหา pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนนมด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95	90
8	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการหาอุณหภูมิ pH และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการเกิดลิ่มแข็งของน้ำนมด้วยวิธีวาเรียนซ์แบบสุ่มตลอด	94
9	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการหาอุณหภูมิ pH และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมต่อการเกิดลิ่มแข็งของน้ำนมด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95	95
10	เปรียบเทียบคุณภาพเนยแข็งเชดดาร์ที่ผลิตจาก SR IR และ AP ในด้านปริมาณความชื้น ไขมัน และโปรตีน	97
11	ผลการประเมินคุณภาพเนยแข็งเชดดาร์ที่ผลิตจากเอนไซม์เรนนินไม่ตรึงรูปและเอนไซม์เรนนินตรึงรูปด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ RCBD	101

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	Solid sphere milk micelle model	10
2	Sponge-like micelle model	11
3	Milk micelle model	12
4	ตำแหน่งที่เอนไซม์เรนนินเข้าทำปฏิกิริยากับแคปปา-เคซีน	20
5	วิธีเตรียมเอนไซม์ตรึงรูป	23
6	กราฟมาตรฐานแสดงค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร กับสารละลายแอล-ไทโรซีนที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน	31
7	ขั้นตอนการเตรียมเอนไซม์เรนนินตรึงรูปแบบเชื่อมด้วยพันธะโคเวเลนต์ ...	36
8	แผนผังการผลิตเอนไซม์เรนนินตรึงรูปแบบเชื่อมด้วยพันธะโคเวเลนต์	37
9	วิธีการวัดแอคติวิตีของเอนไซม์เรนนิน	39
10	วิธีการหาประสิทธิภาพการเกาะเกี่ยวระหว่าง SR กับ G-APTS-ทราย ของ IR ที่เตรียมจากภาวะ $A_2G_{2.5}$ และ $A_5G_{2.5}$	41
11	แผนผังการวัดความแข็งของลิ่มนม	48
12	แผนผังการผลิตเนยแข็งเชดดาร์	50
13	ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของการนำ IR กลับมาใช้ใหม่	56
14	ความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีของ IR ที่เตรียมในภาวะ A_5G_1 จาก SR ในความเข้มข้นต่างกันกับความเข้มข้นของ SR ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 5.5	59
15	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีของ IR ที่เตรียมจากภาวะ $A_5G_{2.5}$ และ $A_2G_{2.5}$ กับเวลาในการทำปฏิกิริยากับเคซีน ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการเกาะเกี่ยวของ SR กับ G-APTS-ทราย	64
16	ความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีของ IR ที่ภาวะ $A_5G_{2.5}$ กับความเข้มข้นของ SR ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 5.5	66
17	เปรียบเทียบทรายแม่น้ำขนาด 50 เมช ในสภาพปกติและหลังจากทำความสะอาดด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 14 นอร์มัล	68

รูปที่		หน้า
18	เม็ดทรายสะอาดขนาด 50 เมช (กำลังขยาย 150 เท่า)	69
19	พื้นผิวที่มีความพรุนของเม็ดทรายสะอาดขนาด 50 เมช (กำลังขยาย 3,500 เท่า)	70
20	พื้นผิวของเม็ดทรายที่มีเอนไซม์เรนนินตรึงรูปอยู่ภายใต้ภาวะ $A_5G_{2.5}$ (กำลังขยาย 3,500 เท่า)	71
21	พื้นผิวของเม็ดทรายที่มีเอนไซม์เรนนินตรึงรูปภายใต้ภาวะ $A_5G_{2.5}$ (กำลังขยาย 10,000 เท่า)	72
22	เปรียบเทียบ Lineweaver Burk plot ของ SR และ IR	74
23	เปรียบเทียบ pH profile ของ IR และ SR ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีสัมพัทธ์ของ IR และ SR กับ pH ของสารละลายเคซีน	76
24	เปรียบเทียบ temperature profile ของ IR และ SR ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีสัมพัทธ์ของ IR และ SR กับอุณหภูมิของสารละลายเคซีนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 5.5	78
25	เปรียบเทียบเสถียรภาพระหว่างการเก็บของ IR กับ SR ที่อุณหภูมิห้องเย็น (8-10 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิห้อง (28-30 องศาเซลเซียส) ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีสัมพัทธ์ของ IR และ SR ที่เก็บในสภาวะที่กำหนดกับระยะเวลาในการเก็บ	81
26	ความสัมพันธ์ระหว่าง Clotting time กับปริมาณ IR	83
27	เปรียบเทียบ pH profile ของ IR และ SR ในการตกตะกอนนมด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง Clotting time ของ IR และ SR กับ pH ของน้ำนมที่อุณหภูมิห้อง	85
28	เปรียบเทียบ temperature profile ของ IR และ SR ในการตกตะกอนนมด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง Clotting time ของ IR และ SR กับอุณหภูมิของน้ำนมที่ pH 6.5	87
29	ความสัมพันธ์ระหว่าง Clotting time กับความเข้มข้นของ $CaCl_2$ ที่เติมในน้ำนมที่ภาวะ pH 5.9 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	92
30	ประสิทธิภาพของการนำเอนไซม์เรนนินตรึงรูปกลับมาใช้ใหม่ด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง Setting time ของ IR กับจำนวนครั้งที่นำ IR กลับมาใช้ใหม่	99

คำย่อและสัญญลักษณ์

กก.	=	กิโลกรัม
ค.ศ.	=	คริสต์ศักราช
ซม.	=	เซนติเมตร
พ.ศ.	=	พุทธศักราช
มล.	=	มิลลิลิตร
A	=	ความเข้มข้นของ APTS
AP	=	Immobilized alkaline protease
APTS	=	Aminopropyltriethoxy silane
G	=	ความเข้มข้นของกลูตาราลดีไฮด์
IR	=	Immobilized rennin
IR_{ref}	=	IR ที่เก็บในอุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส
IR_{rot}	=	IR ที่เก็บในอุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส
µM	=	ไมโครโมลาร์
ns	=	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
OD_{275}	=	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร
pH	=	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
RU	=	หน่วยเอนไซม์เรนนินซึ่งหมายถึงปริมาณของเอนไซม์เรนนิน ซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาของสารตั้งต้น (Substrate) 1 ไมโครโมลใน 1 นาที ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนด
SEM	=	Scanning electron microscope
SR	=	Soluble rennin
/	=	ต่อ
%	=	ร้อยละ
°ซ	=	องศาเซลเซียส