

การแยกกรดจิบเบอเรลลิกจากน้ำหมักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน  
และการตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิก

นางสาวมณฑชา รัตนประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีทางชีวภาพ หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-787-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEPARATION OF GIBBERELIC ACID FROM FERMENTATION BROTH  
BY ION-EXCHANGE RESIN AND CRYSTALLIZATION

Miss Monchaya Rattanaprasert

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

Program of Biotechnology

Faculty of Science


Chulalongkorn University

Academic year 1999

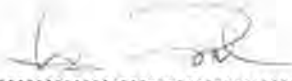
ISBN 974-334-787-9


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกกรดจิบเบอเรลลิกจากน้ำหมักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนและการตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิก
โดย	นางสาวมณฑชา รัตนประเสริฐ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์วาสนา โตเลี้ยง


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจร)

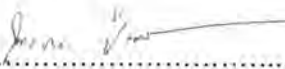
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุมิตร ตันตระเรียร)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อาจารย์วาสนา โตเลี้ยง)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. นลิน นิลอุบล)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปั่นพานิชการ)

มณฑชา รัตนประเสริฐ : การแยกกรดจิบเบอเรลลิกจากน้ำหมักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนและการตกผลึก  
กรดจิบเบอเรลลิก (SEPARATION OF GIBBERELIC ACID FROM FERMENTATION  
BROTHS BY ION-EXCHANGE RESIN AND CRYSTALLIZATION) อาจารย์ที่ปรึกษา :  
ผศ. ดร. สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์วาสนา โดเลี้ยง; 172 หน้า. ISBN  
974-334-787-9.

กรดจิบเบอเรลลิกถูกแยกออกจากน้ำหมักได้ด้วยคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออน ที่บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออน  
สเปซชนิดแรง Amberlite IRA-400 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับกรดจิบเบอเรลลิกของคอลัมน์ คือ ความบริสุทธิ์ของสาร  
ละลายกรดจิบเบอเรลลิกและอัตราการไหลของสารละลาย สำหรับการดูดซับกรดจิบเบอเรลลิกจากน้ำหมักที่ปรับ  
พีเอชเป็น 7 อัตราการไหลที่เหมาะสม คือ 2.5 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ต่อ มิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน การชะ  
กรดจิบเบอเรลลิกออกจากเรซิน ชนิดของสารละลายตัวชะและอัตราการไหลเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการชะ ภาวะที่  
เหมาะสมที่ทดลองได้ คือ การชะด้วยสารละลาย 93 % เมทานอลในน้ำที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อัตรา  
การไหล 0.28 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ต่อ มิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน สามารถชะกรดจิบเบอเรลลิกได้ 100  
เปอร์เซ็นต์ ตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิกจากสารละลายตัวชะ ได้ด้วยการเตรียมสารละลายอิ่มตัวของกรดจิบเบอเรลลิก  
ในเอทิลอะซิเตตที่จุดเดือดของสารละลายแล้วลดอุณหภูมิเพื่อตกผลึกที่ 30 องศาเซลเซียส ได้ผลึกสีขาวของ  
กรดจิบเบอเรลลิก มีความบริสุทธิ์ 87 เปอร์เซ็นต์ ทุกขั้นตอนในการทดลองมีการควบคุมภาวะให้กรดจิบเบอเรลลิก  
เกิดการสลายตัวน้อยที่สุด โดยศึกษาการสลายตัวตัวของกรดจิบเบอเรลลิกที่อุณหภูมิ พีเอช และในตัวทำละลายชนิด  
ต่าง ๆ แล้วใช้ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) และ ค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยา ( $t_{1/2}$ ) มาพิจารณากำหนดภาวะที่  
เหมาะสมในการทดลอง

ภาควิชา .....  
สาขาวิชา .....เทคโนโลยีทางชีวภาพ.....  
ปีการศึกษา .....2542.....

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

##3971319623 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD : GIBBERELIC ACID / SEPARATION / ISOLATION / CRYSTALLIZATION

MONCHAYA RATTANAPRASERT : SEPARATION OF GIBBERELIC ACID FROM  
FERMENTATION BROTHS BY ION-EXCHANGE RESIN AND CRYSTALLIZATION.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SURAPONG NAVANKASATTUSAS, Ph.D. THESIS

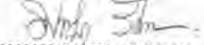
CO-ADVISOR : VASANA TOLIENG, MSc. 172 pp. ISBN 974-334-787-9.

Gibberellic acid can be separated from fermentation broths by ion-exchange column using strong anion-exchange resin "Amberite IRA-400". Factors affecting gibberellic acid adsorption in the column were purity of the gibberellic acid solution and its flow rate. Adsorption of the gibberellic acid from the fermentation broth which pH was adjusted to 7 showed suitable flow rate of 2.5 ml/h.-ml. void volume. Types of eluting agent and their flow rates affected elution of the adsorbed gibberellic acid from resin. All adsorbed gibberellic acid could satisfactorily be eluted with 93% methanol in aqueous solution which pH was adjusted to 3 by acetic acid at a flow rate of 0.28 ml/h.-ml. void volume. Crystallization of the eluted gibberellic acid was carried out by preparing a saturated gibberellic acid solution in ethyl acetate at boiling temperature of 77 °C under atmospheric pressure and then set aside to cool down to 30 °C. White-color crystals of gibberellic acid were obtained with 87 % purity. Every step of the experiments was controlled to allow minimal decomposition of gibberellic acid with prior thorough investigation on decomposition of gibberellic acid under various temperatures, pHs, and solvents. Half lives and rate constants of gibberellic acid decomposition reaction under likely conditions to be encountered were determined and applied.

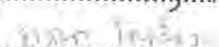
ภาควิชา .....

สาขาวิชา .....เทคโนโลยีทางชีวภาพ.....

ปีการศึกษา .....2542.....

ลายมือชื่อนิสิต  .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา  .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  .....

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จด้วยความสมบูรณ์ โดยได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์ และอาจารย์วาสนา ไตเลียง ที่กรุณาได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตลอดจนให้คำแนะนำ ซึ่งแนวทางในการแก้ไขปัญหา และให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งตลอดเวลาที่ทำวิจัย ศิษย์ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสุดไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเรียร ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นลิน นิลอุบล และ รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชการ ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คณะผู้บริหารสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมี ตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ นักวิจัย เจ้าหน้าที่ของสถาบัน ฯ ทุกท่าน ช่างเทคนิค ที่คอยให้ความช่วยเหลือตลอดมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณณรงค์ หอมจันทร์ และคุณปรีดา ไชยฤทธิ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือจัดหาและแก้ไขอุปกรณ์ให้โดยตลอด

ขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นที่ปรึกษา เป็นกำลังใจและร่วมกันแก้ไขปัญหาย่างดียิ่งตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้องชาย และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจทรัพย์ ในระหว่างการศึกษาตลอดมา

ความดีของการศึกษาและคุณค่าของวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขออุทิศแด่บูรพาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ด
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ป
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 การค้นพบจิบเบอเรลลิน-กรดจิบเบอเรลลิก.....	1
1.2 โครงสร้างและชนิดของจิบเบอเรลลิน.....	2
1.3 กรดจิบเบอเรลลิก.....	4
1.4 การสูญเสียเสถียรภาพของกรดจิบเบอเรลลิก.....	4
1.4.1 การสลายตัวเมื่อละลายน้ำ.....	4
1.4.2 การสลายตัวในเบส.....	6
1.4.3 การสลายตัวในกรด.....	7
1.4.4 การถูกทำลายด้วยคลอรีน.....	8
1.5 แหล่งผลิตกรดจิบเบอเรลลิก.....	9
1.5.1 การสังเคราะห์ทางเคมี.....	9
1.5.2 การสกัดจากพืช.....	9
1.5.3 การหมักเชื้อรา.....	9
1.6 การแยกกรดจิบเบอเรลลิกจากน้ำหมัก.....	10
1.6.1 การแยกด้วยวิธีทางโครมาโตกราฟี.....	10
1.6.2 การดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์.....	11
1.6.3 การสกัดด้วยตัวทำละลาย.....	11
1.6.4 การแยกด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.7 การตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิก.....	15
1.8 ประโยชน์ของกรดจิบเบอเรลลิก.....	15
1.9 มูลเหตุจูงใจในการทำวิจัย.....	20
1.10 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	21
1.11 ขั้นตอนการวิจัย.....	21
บทที่	
2 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ.....	22
2.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	22
2.2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง.....	25
2.3 การเตรียมน้ำหมักของกรดจิบเบอเรลลิก.....	25
2.4 การเก็บรักษาน้ำหมักกรดจิบเบอเรลลิก.....	26
2.5 การวิเคราะห์ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก.....	27
2.6 การศึกษาการสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิก.....	29
2.7 การเตรียมเรซินแลกเปลี่ยน ไอออน.....	31
2.8 การศึกษาสมบัติของเรซินแลกเปลี่ยน ไอออนลบ Amberlite IRA-400.....	31
2.9 การหาภาวะที่เหมาะสมในการแยกกรดจิบเบอเรลลิก จากน้ำหมักด้วยคอลัมน์แลกเปลี่ยน ไอออน.....	32
2.10 การหาภาวะที่เหมาะสมในการตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิก.....	36
2.11 การหาสมบัติของกรดจิบเบอเรลลิกที่ตกผลึกได้.....	41
บทที่	
3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	42
3.1 การเตรียมน้ำหมักของกรดจิบเบอเรลลิก จากเชื้อรา <i>Gibberella fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมัก 30 ลิตร.....	42
3.2 การสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมัก ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	42



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอชต่าง ๆ.....	51
3.4 การสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายเบส.....	57
3.5 การสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายตัวชะ.....	60
3.6 ความสามารถในการแลกเปลี่ยน ไอออนของเรซิน.....	64
3.7 เวลาที่ถึงจุดอิ่มตัวของเรซินในการดูดซับกรดจิบเบอเรลลิก.....	65
3.8 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับกรดจิบเบอเรลลิกของ คอลัมน์แลกเปลี่ยน ไอออน.....	68
3.8.1 สารละลายกรดจิบเบอเรลลิกที่เหมาะสมสำหรับ การดูดซับของคอลัมน์แลกเปลี่ยน ไอออน.....	68
3.8.2 เวลาที่ถึงจุดอิ่มตัวของกรดจิบเบอเรลลิก จากน้ำหมักพีเอช 7 ของเรซิน.....	81
3.8.3 อัตราการไหลที่เหมาะสมในการดูดซับกรดจิบเบอเรลลิก.....	83
3.9 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการชะกรดจิบเบอเรลลิกออกจากคอลัมน์ แลกเปลี่ยน ไอออน.....	95
3.9.1 เวลาที่ถึงจุดอิ่มตัวของกรดจิบเบอเรลลิก ออกจากเรซิน.....	95
3.9.2 ตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการชะกรดจิบเบอเรลลิก ออกจากคอลัมน์แลกเปลี่ยน ไอออน.....	97
3.9.3 อัตราการไหลของสารละลายตัวชะที่เหมาะสม.....	105
3.10 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิกจาก สารละลายตัวชะ.....	112
3.10.1 ความสามารถในการละลายของกรดจิบเบอเรลลิก ในเอทิลอะซิเตต ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	113
3.10.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิก.....	115
3.10.3 วิธีตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิกที่เหมาะสม.....	120

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.11 สมบัติของกรดจิบเบอเรลลิกที่สกัดได้.....	129
3.11.1 ลักษณะทางกายภาพ.....	129
3.11.2 สมบัติทางเคมี.....	129
บทที่	
4. สรุปผลการทดลอง.....	136
รายการอ้างอิง.....	141
ภาคผนวก.....	147
ก. สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ.....	148
ข. กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกด้วย HPLC.....	150
ค. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	158
ง. ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกด้วย HPLC.....	160
ประวัติผู้เขียน.....	172

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1	ค่าครึ่งชีวิตของสารละลายกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....6
1-2	ประสิทธิภาพในการสกัดแยกกรดจิบเบอเรลลิกจากอาหารเหลวเลี้ยงเชื้อ ของตัวทำละลาย ชนิดต่าง ๆ.....12
1-3	เปรียบเทียบฤทธิ์ทางชีวภาพของจิบเบอเรลลินชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธีทดสอบ ทางชีวภาพ 5 วิธี.....16
1-4	ประโยชน์ของกรดจิบเบอเรลลิก สำหรับพืชชนิดต่าง ๆ.....19
3-1	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมักเมื่อทำการควบคุมอุณหภูมิของน้ำหมักที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน.....43
3-2	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมักเมื่อทำการควบคุมอุณหภูมิของน้ำหมักที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะต่าง ๆ กัน.....44
3-3	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมักเมื่อทำการควบคุมอุณหภูมิของน้ำหมักที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน.....45
3-4	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมักเมื่อทำการควบคุมอุณหภูมิของน้ำหมักที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน.....46
3-5	ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) และค่าครึ่งชีวิต ( $t_{1/2}$ ) ของปฏิกิริยา การสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมัก ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....48
3-6	ส่วนกลับของอุณหภูมิเคลวิน (1/T) กับค่าลอการิทึมของค่าคงที่ของอัตรา การเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมัก ( $\ln k$ ).....50
3-7	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 0.05 โมลาร์ อะซิเตด บัฟเฟอร์ พีเอช 5 เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....52
3-8	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 0.05 โมลาร์ ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 6.3 เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....53
3-9	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 0.05 โมลาร์ ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 7 เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....54
3-10	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 0.05 โมลาร์ ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 8 เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....55

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-11 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ค่าครึ่งชีวิต ( $t_{1/2}$ ) ของปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอชต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	56
3-12 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 0.01 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 11 เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	58
3-13 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 93 % เมธานอลที่เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักกรดต่อปริมาตรสารละลาย ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	61
3-14 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 93 % เมธานอลในน้ำที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	62
3-15 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) และค่าครึ่งชีวิต ( $t_{1/2}$ ) ของปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายตัวระต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	63
3-16 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ไม่ถูกดูดซับบนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เวลาในการดูดซับต่าง ๆ เมื่อใช้สัดส่วนของเรซินต่อสารละลายแตกต่างกัน.....	66
3-17 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า $C_i/C_o$ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกดูดซับ เมื่อผ่านน้ำหมักพีเอช 3. เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	70
3-18 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า $C_i/C_o$ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกดูดซับ เมื่อผ่านน้ำหมักพีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	71

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-19 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า Ci/Co ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกดูดซับ เมื่อผ่าน น้ำหมักที่สกัดแยกสิ่งเจือปนด้วยเอทิลอะซิเตต เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมลลิตริคของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	72
3-20 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า Ci/Co ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกดูดซับ เมื่อผ่าน สารละลายจากการสกัดน้ำหมักด้วยเอทิลอะซิเตต แล้วตามด้วย 0.05 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมลลิตริค ของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	73
3-21 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า Ci/Co ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกดูดซับ เมื่อผ่าน สารละลายจากการสกัดน้ำหมักด้วยเอทิลอะซิเตต แล้วตามด้วย 0.1 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมลลิตริค ของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	74
3-22 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่คอลัมน์ดูดซับ ได้ก่อนพบการรั่ว เมื่อผ่านสารละลาย ต่าง ๆ เข้าคอลัมน์ ด้วยอัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมลลิตริคของปริมาตรว่าง ระหว่างเรซิน.....	77
3-23 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า Ci/Co ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกดูดซับ เมื่อผ่านสาร ละลายกรดจิบเบอเรลลิกจากสัคคาไดนามิคเข้าคอลัมน์ ด้วยอัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมลลิตริคของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	79
3-24 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมักพีเอช 7 ซึ่งไม่ถูกดูดซับด้วยเรซิน ที่เวลาในการดูดซับต่าง ๆ.....	81
3-25 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า Ci/Co ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกดูดซับ เมื่อผ่าน น้ำหมักพีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 0.83 มล./ชม. ต่อมลลิตริคของ ปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	84

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-26 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า Ci/Co ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกลดซับ เมื่อผ่าน น้ำหมักพีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 1.67 มล./ชม. ต่อมีลิลิตรของ ปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	85
3-27 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า Ci/Co ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกลดซับ เมื่อผ่าน น้ำหมักพีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 2.5 มล./ชม. ต่อมีลิลิตรของ ปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	86
3-28 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า Ci/Co ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกลดซับ เมื่อผ่าน น้ำหมักพีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 3.33 มล./ชม. ต่อมีลิลิตรของ ปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	87
3-29 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า Ci/Co ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกลดซับ เมื่อผ่าน น้ำหมักพีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมีลิลิตรของ ปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	88
3-30 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า Ci/Co ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกลดซับ เมื่อผ่าน น้ำหมักพีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 6.67 มล./ชม. ต่อมีลิลิตรของ ปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	89
3-31 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ค่า Ci/Co ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผ่านเข้าคอลัมน์และที่ถูกลดซับ เมื่อผ่าน น้ำหมักพีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 10 มล./ชม. ต่อมีลิลิตรของ ปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	90
3-32 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่คอลัมน์ดูดซับ ได้ก่อนถึงจุดที่พบการรั่วและเวลา ที่ใช้ในการผ่านสารเข้าคอลัมน์ เมื่อผ่านน้ำหมักพีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วย อัตราการไหลต่าง ๆ.....	94



### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-33 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลาย เมื่อชะเรซินด้วยสารละลาย 93 % เมธานอลที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่เวลาในการชะต่าง ๆ กัน.....	96
3-34 ปริมาณและความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในส่วนต่าง ๆ ของสารละลาย ที่ได้จากการชะคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลาย 70 % เมธานอลในน้ำ ที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อัตราการไหล 0.28 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	98
3-35 ปริมาณและความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในส่วนต่าง ๆ ของสารละลาย ที่ได้จากการชะคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลาย 80 % เมธานอลในน้ำ ที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อัตราการไหล 0.28 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	99
3-36 ปริมาณและความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในส่วนต่าง ๆ ของสารละลาย ที่ได้จากการชะคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลาย 93 % เมธานอลในน้ำ ที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อัตราการไหล 0.28 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	100
3-37 ปริมาณและความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในส่วนต่าง ๆ ของสารละลาย ที่ได้จากการชะคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยเมธานอล 100 % ที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อัตราการไหล 0.28 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	101
3-38 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ถูกดูดซับและที่ชะได้จากคอลัมน์ ปริมาตรสารละลาย ตัวชะที่ใช้ในการชะ เปอร์เซ็นต์การชะ และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ชะได้ต่อ ปริมาตรสารละลายตัวชะที่ใช้ เมื่อชะคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลาย ตัวชะชนิดต่าง ๆ ด้วยอัตราการไหล 0.28 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	102
3-39 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายตัวชะ และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ชะได้ เมื่อชะคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลาย 93 % เมธานอลในน้ำ ที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อัตราการไหล 0.28 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	106

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-40 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายตัวชะ และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ชะได้ เมื่อชะคอลลิมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลาย 93 % เมธานอลในน้ำ ที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อัตราการไหล 0.83 มล./ชม. ต่อมีลลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	107
3-41 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายตัวชะ และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ชะได้ เมื่อชะคอลลิมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลาย 93 % เมธานอลในน้ำ ที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อัตราการไหล 1.33 มล./ชม. ต่อมีลลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	108
3-42 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายตัวชะ และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ชะได้ เมื่อชะคอลลิมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลาย 93 % เมธานอลในน้ำ ที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อัตราการไหล 1.67 มล./ชม. ต่อมีลลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	109
3-43 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายตัวชะ และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ชะได้ เมื่อชะคอลลิมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลาย 93 % เมธานอลในน้ำ ที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อัตราการไหล 3.33 มล./ชม. ต่อมีลลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	110
3-44 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ถูกดูดซับและที่ชะได้จากคอลลิมน์แลกเปลี่ยนไอออน ปริมาณสารละลายตัวชะที่ใช้ เปรอร์เซ็นต์การชะกรดจิบเบอเรลลิก ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ชะได้ต่อปริมาตรสารละลายตัวชะที่ใช้ และเวลาที่ต้องใช้ในการชะกรดจิบเบอเรลลิก 100 มก. ออกจากคอลลิมน์ เมื่อชะคอลลิมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วย 93 % เมธานอลในน้ำ ที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่อัตราการไหลต่าง ๆ.....	111
3-45 ความสามารถในการละลายของกรดจิบเบอเรลลิกในเอทริลอะซิเตด ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	114
3-46 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ตกผลึก ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่เหลือในสารละลายหลังการตกผลึก และเปอร์เซ็นต์การตกผลึกของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายเอทริลอะซิเตด ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	116



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
3-47	เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์กรดจิบเบอเรลลิกที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มาตรฐานจากบริษัท SIGMA และของผลิตภัณฑ์ทางการค้า จากบริษัทลัดดาไคนามิค.....	118
3-48	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่วิเคราะห์ได้ จากขั้นตอนต่างๆ ของการตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิก ด้วยการระเหยแห้งแล้วเติมเอทิลอะซิเตตให้ตกผลึก.....	121
3-49	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่วิเคราะห์ได้ จากขั้นตอนต่างๆ ของการตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิก ด้วยการทำให้เกิดสารละลายอิ่มตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในเอทิลอะซิเตตแล้วตกผลึกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	123
3-50	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ตกผลึกและเปอร์เซ็นต์การตกผลึก จากการตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิกที่ละลายอยู่ในสารละลายตัวชะ ด้วยวิธีต่างๆ.....	125
3-51	ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์กรดจิบเบอเรลลิกที่ตกได้ จากการตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิกที่ละลายอยู่ในสารละลายตัวชะ ด้วยวิธีต่างๆ.....	126
3-52	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ตกผลึก และความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์กรดจิบเบอเรลลิก ที่ได้จากการตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิกที่ละลายอยู่ในสารละลายตัวชะ ด้วยวิธีต่างๆ.....	127
3-53	จุดหลอมเหลวและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์กรดจิบเบอเรลลิกชนิดต่างๆ.....	131
ข-1	ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดจิบเบอเรลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ สำหรับนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC เพื่อเตรียมกราฟมาตรฐาน.....	151
ค-1	ปริมาณเกลือฟอสเฟตที่ใช้ในการเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ปริมาตร 500 มล. ที่พีเอชและความเข้มข้นต่างๆ.....	158
ง-1	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมัก เมื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำหมักที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆ กัน ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 3 ชุด.....	162
ง-2	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมัก เมื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำหมักที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆ กัน ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 3 ชุด.....	163

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-3 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมัก เมื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำหมัก ที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 3 ชุด.....	164
ง-4 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมัก เมื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำหมัก ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 3 ชุด.....	165
ง-5 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 0.05 โมลาร์ อะซิเตด บัฟเฟอร์ พีเอช 5 เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 3 ชุด.....	166
ง-6 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 0.05 โมลาร์ ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 6.3 เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 3 ชุด.....	167
ง-7 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 0.05 โมลาร์ ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 7 เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 3 ชุด.....	168
ง-8 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 0.05 โมลาร์ ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 8 เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 3 ชุด.....	169
ง-9 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 0.01 โมลาร์ โซเดียม ไฮดรอกไซด์ พีเอช 11 เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 3 ชุด.....	170
ง-10 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อละลายอยู่ในสารละลาย 93 % เมธานอลที่เติม กรดไฮโดรคลอริก 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกรดต่อปริมาตรสารละลาย ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการ ทดลองซ้ำ 3 ชุด.....	171

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1-1 โครงสร้างของ เอ็นท์-จิบเบอเรลเลน.....	2
1-2 โครงสร้างของจิบเบอเรลลิน 2 กลุ่ม.....	3
1-3 สูตร โครงสร้างของกรดจิบเบอเรลลิก.....	4
1-4 การสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกไปเป็นกรดจิบเบอเรลลินิค.....	5
1-5 ปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกไปเป็นกรดไอโซจิบเบอเรลลิก และกรดไดคาร์บอกซิลิก.....	7
1-6 สูตร โครงสร้างของสารที่เกิดจากการสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิก ในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด.....	8
2-1 การตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิกจากสารละลายที่ชะจากคอลัมน์แลกเปลี่ยน ไอออน ด้วยวิธีระเหยแห้งแล้วเติมเอทิลอะซิเตตเพื่อตกผลึก.....	38
2-2 การตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิกจากสารละลายที่ชะจากคอลัมน์แลกเปลี่ยน ไอออน ด้วยการเตรียมสารละลายอิ่มตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในเอทิล อะซิเตตที่จุดเดือดของสารละลายและลดอุณหภูมิเพื่อตกผลึก.....	40
3-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log [GA_3]$ กับเวลาในการควบคุมอุณหภูมิ ของน้ำหมัก ที่ 20 องศาเซลเซียส.....	43
3-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log [GA_3]$ กับเวลาในการควบคุมอุณหภูมิ ของน้ำหมัก ที่ 30 องศาเซลเซียส.....	44
3-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log [GA_3]$ กับเวลาในการควบคุมอุณหภูมิ ของน้ำหมัก ที่ 40 องศาเซลเซียส.....	45
3-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log [GA_3]$ กับเวลาในการควบคุมอุณหภูมิ ของน้ำหมัก ที่ 50 องศาเซลเซียส.....	46
3-5 เปรียบเทียบค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิก ในน้ำหมักที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	48
3-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln k$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิเคลวินของ ปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในน้ำหมัก.....	50
3-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log [GA_3]$ กับเวลาที่กรดจิบเบอเรลลิกละลายอยู่ใน สารละลาย 0.05 โมลาร์ อะซิเตตบัฟเฟอร์ พีเอช 5 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log [GA_3]$ กับเวลาที่กรดจิบเบอเรลลิกละลายอยู่ในสารละลาย 0.05 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 6.3 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	53
3-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log [GA_3]$ กับเวลาที่กรดจิบเบอเรลลิกละลายอยู่ในสารละลาย 0.05 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	54
3-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log [GA_3]$ กับเวลาที่กรดจิบเบอเรลลิกละลายอยู่ในสารละลาย 0.05 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 8 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	55
3-11 เปรียบเทียบค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอชต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	56
3-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log [GA_3]$ กับเวลาที่กรดจิบเบอเรลลิกละลายอยู่ในสารละลาย 0.01 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 11 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	58
3-13 เปรียบเทียบครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายน้ำ พีเอชต่าง ๆ.....	59
3-14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log [GA_3]$ กับเวลาที่กรดจิบเบอเรลลิกละลายอยู่ในสารละลาย 93 % เมธานอลที่เติมกรดไฮโดรคลอริก 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกรดต่อปริมาตรสารละลาย ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	61
3-15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log [GA_3]$ กับเวลาที่กรดจิบเบอเรลลิกละลายอยู่ในสารละลาย 93 % เมธานอลในน้ำ ที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	62
3-16 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลาย ที่ไม่ถูกดูดซับบนเรซิน ที่เวลาในการดูดซับต่าง ๆ เมื่อมีสัดส่วนของเรซินต่อสารละลายแตกต่างกัน.....	67
3-17 Breakthrough curve ของการดูดซับกรดจิบเบอเรลลิกจากสารละลายต่าง ๆ ของคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออน ที่อัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	75
3-18 เปอร์เซ็นต์การดูดซับกรดจิบเบอเรลลิกของคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนเมื่อผ่านสารละลายกรดจิบเบอเรลลิกเข้าคอลัมน์ ด้วยอัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-19 Breakthrough curve ของการดูดซับกรดจิบเบอเรลลิกจากสารละลายต่าง ๆ ของคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออน ที่อัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	80
3-20 เปร้รเซ็นต์การดูดซับกรดจิบเบอเรลลิกจากสารละลายต่าง ๆ ของคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออน ที่อัตราการไหล 5 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	80
3-21 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ในน้ำหมักพีเอช 7 ที่ไม่ถูกดูดซับด้วยเรซินที่เวลาในการดูดซับต่าง ๆ .....	82
3-22 Breakthrough curve ของการดูดซับกรดจิบเบอเรลลิกจากน้ำหมักพีเอช 7 ของคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ.....	92
3-23 เปร้รเซ็นต์การดูดซับกรดจิบเบอเรลลิกจากน้ำหมักพีเอช 7 ที่ผ่านเข้าคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยอัตราการไหลต่าง ๆ กัน.....	93
3-24 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่คอลัมน์ดูดซับได้ก่อนพบการรั่ว เมื่อผ่านน้ำหมักพีเอช 7 เข้าคอลัมน์ด้วยอัตราการไหลต่าง ๆ.....	94
3-25 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ถูกชะออกจากเรซิน ด้วยสารละลาย 93 % เมธานอลที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่เวลาในการชะต่าง ๆ กัน.....	96
3-26 ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิกในสารละลายตัวชะชนิดต่าง ๆ ที่ถูกชะออกจากคอลัมน์ เมื่อผ่านสารละลายตัวชะปริมาตรต่าง ๆ กัน เข้าสู่คอลัมน์.....	104
3-27 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ถูกชะออกจากคอลัมน์ต่อปริมาตรสารละลายตัวชะที่ใช้ เมื่อชะคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลายตัวชะชนิดต่าง ๆ อัตราการไหล 0.28 มล./ชม. ต่อมิลลิลิตรของปริมาตรว่างระหว่างเรซิน.....	104
3-28 ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ชะได้ต่อปริมาตรสารละลาย 93 % เมธานอลในน้ำที่ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดอะซิติก ที่ใช้ชะคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน.....	112
3-29 ความสามารถในการละลายของกรดจิบเบอเรลลิกในเอทริลอะซิเตตที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	114



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-30	เปอร์เซ็นต์การตกผลึกของกรดจิบเบอเรลลิก จากการตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิก ในเอทิลอะซิเตต ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....117
3-31	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่เหลือในสารละลาย หลังการตกผลึกกรด จิบเบอเรลลิกจากสารละลายอิ่มตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในเอทิล อะซิเตต ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....117
3-32	เปรียบเทียบความบริสุทธิ์ของผลึกกรดจิบเบอเรลลิก ที่ได้จากการตกผลึกสาร ละลายอิ่มตัวของกรดจิบเบอเรลลิกในเอทิลอะซิเตต ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ผลึก มาตรฐานจากบริษัท SIGMA และผลึกเกรดทางการค้า.....119
3-33	เปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ตกผลึก ความบริสุทธิ์ของผลึก จากการตกผลึกครั้งที่ 1 และ 2 เมื่อตกผลึกกรดจิบเบอเรลลิกที่ละลาย อยู่ในสารละลายตัวหะ ด้วยวิธีต่าง ๆ.....128
3-34	ผลึกกรดจิบเบอเรลลิกภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 200 เท่า.....130
3-35	โครมาโตแกรมของสารละลายผลึกกรดจิบเบอเรลลิก จากการวิเคราะห์ด้วย HPLC.....132
3-36	<sup>1</sup> H-NMR สเปกตรัมของผลึกกรดจิบเบอเรลลิก.....134
3-37	<sup>13</sup> C-NMR สเปกตรัมของผลึกกรดจิบเบอเรลลิก.....135
ข-1	โครมาโตแกรมของกรดจิบเบอเรลลิกมาตรฐาน เมื่อใช้พาราเซตามอล เป็นสารละลายมาตรฐานเปรียบเทียบภายใน และเตรียมสารด้วยการ สกัดที่พีเอช 7 และ 3.....152
ข-2	โครมาโตแกรมของกรดจิบเบอเรลลิกมาตรฐาน เมื่อใช้ 3-อะเซตาไมโดฟีโนล เป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบภายใน และเตรียมสารด้วยการสกัดที่พีเอช 3.....153
ข-3	โครมาโตแกรมของกรดจิบเบอเรลลิกมาตรฐาน เมื่อใช้ 3-อะเซตาไมโดฟีโนล เป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบภายใน และเตรียมสารโดยไม่ผ่านการสกัด.....154
ข-4	กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกด้วย HPLC เมื่อเตรียมตัวอย่างของกรดจิบเบอเรลลิก โดยการสกัดด้วย ตัวทำละลาย ที่พีเอช 7 และ 3.....155

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
<p>ข-5 กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกด้วย HPLC เมื่อเตรียมตัวอย่างของกรดจิบเบอเรลลิก โดยการสกัดด้วย ตัวทำละลาย ที่พีเอช 3.....</p>	156
<p>ข-6 กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกด้วย HPLC ในตัวอย่างของกรดจิบเบอเรลลิกที่ไม่ผ่านการสกัด และกรดจิบเบอเรลลิก ที่เป็นของแข็ง.....</p>	157

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

GA <sub>3</sub>	=	กรดจิบเบอเรลลิก
HPLC	=	ไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิด โครมาโตกราฟี
NMR	=	นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
log [GA <sub>3</sub> ]	=	ลอการิทึมของความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลิก
k	=	ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา
t <sub>1/2</sub>	=	ค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยา
%	=	เปอร์เซ็นต์
ชม.	=	ชั่วโมง
°ซ	=	องศาเซลเซียส
มก.	=	มิลลิกรัม
มล.	=	มิลลิลิตร
ล.	=	ลิตร