

การสกัดอะซาดิแรคตินจากเมล็ดสะเดา *Azadirachta indica* ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์

นางสาว สุวรรณดี ตั้งนิธิบุญ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974 - 633 - 628 - 2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17057346

AZADIRACHTIN EXTRACTION FROM NEEM SEED, *Azadirachta indica*
WITH CARBON DIOXIDE

Miss Suwandee Tangnitiboon

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Chemical Technology
Graduate School
Chulalongkorn University

1996

ISBN 974 - 633 - 628 - 2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสกัดอะซาดิแรคตินจากเมล็ดสะเดา *Azadirachta indica*
ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์

โดย

นางสาวสุวรรณี ตั้งนิธิบุญ

ภาควิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทศคร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ กัญญา นุณยเกียรติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทศคร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สุวรรณดี ตังนธิบุญ : การสกัดอะซาดิแรคตินจากเมล็ดสะเดา *Azadirachta indica* ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (AZADIRACHTIN EXTRACTION FROM NEEM SEED, *Azadirachta indica* WITH CARBON DIOXIDE)

อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. เพ็ชรพรก ทศกร, 96 หน้า. ISBN 974 - 633 - 628 - 2

งานวิจัยนี้ทดลองสกัดอะซาดิแรคตินจากเนื้อในเมล็ดสะเดา *Azadirachta indica* var. *siamensis* Valetton ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ในการทดลองได้ศึกษาวิธีสกัดอะซาดิแรคตินโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต ตัวแปรที่ศึกษาคือความดันและอุณหภูมิ และการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับตัวทำละลายร่วม ในกรณีนี้ตัวแปรที่ศึกษาเพิ่มคือ ชนิดของตัวทำละลายร่วมและอัตราส่วนของตัวทำละลายร่วม

การสกัดอะซาดิแรคตินโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดัน 340 บาร์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสกัดทั้งหมด 7 ชั่วโมง สามารถสกัดอะซาดิแรคตินได้ร้อยละ 17 ของปริมาณที่สกัดได้แบบซอกส์เล็ตซึ่งสกัดได้ร้อยละ 0.1 ของเนื้อในเมล็ดสะเดา สำหรับการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับตัวทำละลายร่วมนั้น การผสมกับเมทานอลจะให้ปริมาณอะซาดิแรคตินมากที่สุด เมื่อใช้อัตราส่วนเนื้อในเมล็ดสะเดาต่อเมทานอลต่อคาร์บอนไดออกไซด์ 1 ต่อ 4 ต่อ 11 โดยน้ำหนักในถังกวน ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการสกัด 2 ชั่วโมง ได้อะซาดิแรคตินร้อยละ 83 ของปริมาณที่สกัดได้แบบซอกส์เล็ต สรุปได้ว่าการสกัดอะซาดิแรคตินออกจากเนื้อในเมล็ดสะเดาโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับเมทานอล เป็นวิธีการสกัดที่ให้ปริมาณอะซาดิแรคตินสูงกว่าการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายชนิดเดียว

อะซาดิแรคตินที่สกัดได้อยู่ในรูปสารละลายเมทานอลและดูดซับไว้ในถ่านกัมมันต์ จากนั้นจึงศึกษาการชะละลายอะซาดิแรคตินออกจากถ่านกัมมันต์ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต ที่ความดัน 340 บาร์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลาในการชะละลาย 7 ชั่วโมง ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด 79 กิโลกรัม ชะละลายอะซาดิแรคตินออกจากถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัม บรรจุในคอลัมน์ด้วยความเร็วปริภูมิ 3.0 ต่อชั่วโมง สามารถชะละลายอะซาดิแรคตินที่ดูดซับไว้ออกมาได้ร้อยละ 51 ความสัมพันธ์เบื้องต้นของปริมาณอะซาดิแรคตินที่ชะละลายออกจากถ่านกัมมันต์แสดงได้ดังนี้

$$\ln \frac{S}{S_0} = 0.1 \exp(-t / 2T)$$

- โดยที่ S คือ ปริมาณอะซาดิแรคตินที่เวลาใดๆ (ไมโครกรัม)
- S₀ คือ ปริมาณอะซาดิแรคตินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)
- t คือ เวลาในการชะละลาย (ชั่วโมง)
- T คือ อุณหภูมิ (องศาเซลวิน)

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

#C625710 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: AZADIRACHTIN/ EXTRACTION/ CARBON DIOXIDE

SUWANDEE TANGNITIBOON : AZADIRACHTIN EXTRACTION FROM NEEM SEED, Azadirachta indica WITH CARBON DIOXIDE.

THESIS ADVISOR: PIENPAK TASAKORN, Ph.D.

96 pp. ISBN 974-633-628-2

In this study, azadirachtin was extracted from neem seed kernel Azadirachta indica var. siamensis Valetton with carbon dioxide. In the experiment, azadirachtin was extracted by supercritical carbon dioxide. The variables investigated were pressure and temperature, and extraction using carbon dioxide with co-solvent. In the latter case, the additional variables were types of the co-solvent and ratio used.

Azadirachtin extracted with carbon dioxide at pressure 340 bar, temperature 35 degree Celcius for 7 hours, yields 17 % of the total content determined by Soxhlet method, which was 0.1 % of neem seed kernel. For extraction with co-solvent, a mixture with methanol gave the highest quantity of azadirachtin extracted. When using neem seed kernel : methanol : carbon dioxide at 1: 4: 11 by weight, extraction in an agitated vessel at pressure 80 bar, temperature 30 degree Celcius for 2 hours, azadirachtin extracted was 83 % of the content determined by Soxhlet method. It can be concluded that extraction using carbon dioxide with methanol yield higher azadirachtin than extraction with single solvent.

Azadirachtin extracted was kept in methanol solution and later adsorbed on activated carbon. Leaching of the adsorbed azadirachtin from the activated carbon by supercritical carbon dioxide was subsequently investigated. Operating at pressure 340 bar, temperature 35 degree Celcius, 79 kilogram of carbon dioxide was used to leach out azadirachtin from 1 kilogram of activated carbon in a packed bed for 7 hours with a space velocity of 3.0 per hour, adsorbed azadirachtin recovered was 51 %. The empirical correlation for the quantity of azadirachtin leached can be represented by

$$\ln \frac{S}{S_0} = 0.1 \exp(-t / 2T)$$

where S is the quantity of azadirachtin in activated carbon (microgram)

S_0 is the intital quantity of azadirachtin in activated carbon (microgram)


t is the time for desorption (hour)

T is the degree Kelvin

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิสิต 

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.เพ็ชรพรอค ทศกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา แนะนำตักเตือนและช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคุณ อารมย์ แสงวณิชย์ และคุณชัยพัฒน์ จิระธรรมจารี รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านในแผนกกองวัดภูมิพิษ กรมวิชาการเกษตร ขอขอบพระคุณกองวิเคราะห์ กรมสรรพวฐ ทหารอากาศ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ใช้เครื่องมือต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์นี้และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่บุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ การเบิกจ่ายเครื่องมือ สารเคมี ช่วยซ่อมแซมอุปกรณ์ ในการวิจัยครั้งนี้จนสามารถดำเนินการวิจัยได้ดีมาตลอดและขอขอบพระคุณเพื่อนๆทุกคนที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้

เนื่องจากทุนวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย และทุนของศาสตราจารย์ ดร. ประสม สถาปิตานนท์ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและพี่ๆ ที่เป็นกำลังใจและให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	3
สะเคา	3
1. ลักษณะทั่วไป	3
2. การใช้ประโยชน์	4
3. สารออกฤทธิ์ต่อแมลง.....	4
การใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำลาย	8
1. การสกัดสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ.....	8
2. แผนผังวิภูภาคของคาร์บอนไดออกไซด์	11
3. ทฤษฎีการสกัดสารด้วยของไหลภาวะวิกฤต	14
4. ประโยชน์ของการสกัดสารที่ความดันสูง	18
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	19
งานวิจัยในอดีต	20
3. อุปกรณ์และวิธีทดลอง	23
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 23	
วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การดำเนินงานวิจัย	29
การหาปริมาณน้ำมันและอะซาดิแรคตินจากเนื้อในเมล็ดสะเดา	29
การสกัดอะซาดิแรคตินจากเนื้อในเมล็ดสะเดาด้วยเมทานอล	30
การสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต .	32
การสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับตัวทำละลายร่วม	32
การชะละลายอะซาดิแรคตินออกจากถ่านกัมมันต์โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต	33
4. ผลการทดลอง วิเคราะห์และวิจารณ์	34
การหาปริมาณน้ำมันและอะซาดิแรคตินจากเนื้อในเมล็ดสะเดา	34
การสกัดอะซาดิแรคตินจากเนื้อในเมล็ดสะเดาด้วยเมทานอล	35
การสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต .	37
การสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์กับตัวทำละลายร่วม	41
การชะละลายอะซาดิแรคตินออกจากถ่านกัมมันต์โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต	47
5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ	58
รายการอ้างอิง	62
ภาคผนวก	65
ก. สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของคาร์บอนไดออกไซด์	66
ข. การวิเคราะห์อะซาดิแรคตินด้วย HPLC	67
ค. ข้อมูลการทดลอง	71
ง. การคำนวณ	86
จ. การหาความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์	90
ฉ. สมบัติของสารเคมีที่ใช้	94
ประวัติผู้เขียน	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจากสะเคาในโครงการนำร่องพืชผักอนามัย	7
2.2 ค่าความหนืด ความร้อนของการระเหย และจุดเดือดของ คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเทียบกับสารอินทรีย์ต่างๆ	11
2.3 การละลายของสารประกอบต่างๆในคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	13
2.4 จุดวิกฤตของตัวทำละลายชนิดต่างๆ	17
2.5 การสกัดสารด้วยของไหลภาวะวิกฤตในทางอุตสาหกรรม	19
2.6 ปริมาณอะซาดิแรคตินที่สกัดด้วยเมทานอลตามแหล่งต่างๆ 3 สายพันธุ์	22
4.1 อิทธิพลของความดันที่มีต่อปริมาณอะซาดิแรคตินที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต อุณหภูมิ 35 - 55 องศาเซลเซียส	37
4.2 การสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์กับตัวทำละลายร่วมชนิดต่างๆ ที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	42
4.3 การสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์กับเมทานอลในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	44
4.4 อิทธิพลของความดันที่มีต่อการสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ กับตัวทำละลายร่วมเมทานอล อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	45
4.5 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ กับตัวทำละลายร่วมเมทานอล ความดัน 80 บาร์	46
4.6 การชะละลายอะซาดิแรคตินที่ดูดซับอยู่ในถ่านกัมมันต์ออกโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต	48
4.7 อะซาดิแรคตินในถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณทางทฤษฎี	52
4.8 ค่า k_0 ที่ได้จากการทดลองที่ความดัน 240 และ 340 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	54
ก.1 ปริมาณน้ำมันสะเคากับเวลาที่สกัดด้วยเฮกเซน	71
ก.2 ปริมาณอะซาดิแรคตินกับเวลาที่สกัดด้วยเมทานอล	72
ก.3 การสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต	73
ก.4 การสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์กับตัวทำละลายร่วมชนิดต่างๆ ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	76

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.5 การสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์กับตัวทำละลายร่วมเมทานอล ในอัตราส่วนต่างๆ ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	76
ค.6 การสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์กับตัวทำละลายร่วม อัตราส่วนสะเคา ต่อเมทานอล 1 กรัมต่อ 5 มิลลิลิตร ความดัน 40-80 บาร์ อุณหภูมิ 10-40 องศาเซลเซียส	78
ค.7 การชะละลายอะซาดิแรคตินออกจากถ่านกัมมันต์ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต	81
ค.8 การลดลงของอะซาดิแรคตินในถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ	85
จ.1 ค่าความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันและอุณหภูมิต่างๆ	93

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างของสารนิมบีน	5
2.2 สูตรโครงสร้างของสารซาลานีน	5
2.3 สูตรโครงสร้างของสารอะซาดิแรคติน	6
2.4 องค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ	9
2.5 องค์ประกอบของสารที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำ	9
2.6 องค์ประกอบของสารที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมของเอทานอลกับน้ำ	9
2.7 องค์ประกอบของสารที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วของ เมทิลีนคลอไรด์	9
2.8 องค์ประกอบของสารที่ได้จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์	9
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่น ของคาร์บอนไดออกไซด์	12
3.1 แผนผังของเครื่องสกัดสารด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต ..	24
3.2 เครื่องสกัดสารด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพของไหลเหนือจุดวิกฤต	24
3.3 แผนผังของเครื่องสกัดสารด้วยคาร์บอนไดออกไซด์กับตัวทำละลายร่วม	25
3.4 ดึงพักคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	26
3.5 เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบถังกวน	26
3.6 แผนผังแสดงวิธีการสกัดอะซาดิแรคติน	31
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันสะเคากับเวลาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสม	35
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะซาดิแรคตินกับเวลาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสม	36
4.3 อิทธิพลของความดันที่มีต่อการสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	38
4.4 อิทธิพลของความดันที่มีต่อการสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	39
4.5 อิทธิพลของความดันที่มีต่อการสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	39

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ความดัน 240 บาร์	40
4.7 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ความดัน 340 บาร์	41
4.8 การสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์กับตัวทำละลายร่วม ชนิดต่างๆ ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	42
4.9 อัตราส่วนของเมทานอลที่มีผลต่อการสกัดที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	44
4.10 อิทธิพลของความดันที่มีต่อการสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ กับเมทานอลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	45
4.11 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดอะซาดิแรคตินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ กับตัวทำละลายร่วมเมทานอลที่ความดัน 80 บาร์	46
4.12 อิทธิพลของความดันที่มีต่อการชะละลายอะซาดิแรคตินออกจากถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	50
4.13 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการชะละลายอะซาดิแรคตินออกจากถ่านกัมมันต์ ที่ความดัน 340 บาร์.....	51
4.14 การลดลงของอะซาดิแรคตินที่เวลาต่างๆ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 340 บาร์	52
4.15 ปริมาณอะซาดิแรคตินที่อยู่ในถ่านกัมมันต์ได้จากการทดลองและจากการคำนวณ ทางทฤษฎี	53
4.16 ความชันของกราฟระหว่าง $-lnk$ กับ $1/T$ ที่ความดัน 240 และ 340 บาร์	54
4.17 เปรียบเทียบการสกัดอะซาดิแรคตินออกจากเนื้อในเมล็ดสะเดาด้วยวิธีต่างๆ	56
ก.1 แผนผังวัฏภาคของคาร์บอนไดออกไซด์	66
ก.2 ผลของความดันที่มีต่อความหนาแน่นและค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของคาร์บอนไดออกไซด์ ภาวะวิกฤต อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	66
ข.1 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานอะซาดิแรคติน-เอ	68
ข.2 โครมาโตแกรมของอะซาดิแรคตินที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพ ของไหลเหนือจุดวิกฤต ความดัน 340 บาร์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	70