การหาปริมาณแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินในผลิตภัณฑ์พริก โดยคะพิลลารีอิเล็กโทรฟอริซิส

นางสาวกนกวรรณ วรดง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DETERMINATION OF CAPSAICIN AND DIHYDROCAPSAICIN IN CHILLI PRODUCTS BY CAPILLARY ELECTROPHORESIS

Miss Kanokwan Woradong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

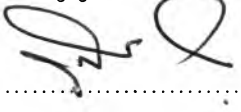
Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

512139

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาปริมาณแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินในผลิตภัณฑ์พริกโดยคะพิลลารีอิเล็กโทรฟอริซิส
โดย	นางสาวกนกวรรณ วรดง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ หนูจักร

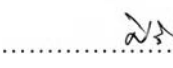
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

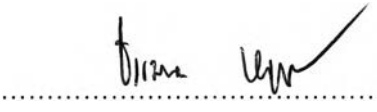
(ศาสตราจารย์.ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



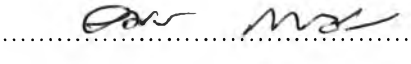
.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ก๊กผล)



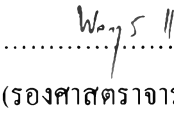
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ หนูจักร)



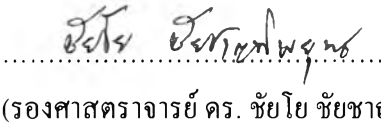
.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม)



.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)



.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ)

กนกวรรณ วรดง : การหาปริมาณแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินในผลิตภัณฑ์พริกโดยคะพิลลารีอิเล็กโทรฟอริซิส (DETERMINATION OF CAPSAICIN AND DIHYDROCAPSAICIN IN CHILLI PRODUCTS BY CAPILLARY ELECTROPHORESIS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. ธรรมนูญ หนูจักร, 89 หน้า.

ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการหาปริมาณของแคปไซซิน (CAP) และไดไฮโดรแคปไซซิน (DCAP) ด้วยไมเซลลาร์อิเล็กโทรไคเนทิกโครมาโทกราฟี (MEKC) และไมโครอิมัลชันอิเล็กโทรไคเนทิกโครมาโทรกราฟี (MEEKC) โดยการแยกของพีก CAP และ DCAP ออกจากสารอื่นๆ ในตัวอย่างส่วนสกัดจากพริกได้สมบูรณ์โดยบัฟเฟอร์ของ MEKC ประกอบด้วยความเข้มข้นของบอเรตบัฟเฟอร์ 10 mM ที่ pH 9.2 ความเข้มข้นของโซเดียมโดเดกซิลซัลเฟต 60 mM เป็นไมเซลลาร์เฟสและอะซิโตไนไทรล์ 15 % โดยปริมาตร อีกทั้งบัฟเฟอร์ของ MEKC สามารถเตรียมได้ง่ายกว่า MEEKC และใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่เร็วกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้ MEKC สำหรับปริมาณวิเคราะห์ของ CAP และ DCAP ในตัวอย่างส่วนสกัดจากพริก สำหรับปริมาณรวมของ CAP และ DCAP ในตัวอย่างส่วนสกัดจากพริกที่วิเคราะห์ได้ด้วย MEKC มีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานด้วยไฮเพอร์ฟอร์มานซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี

จากนั้นได้พัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างซอสพริก สำหรับปริมาณวิเคราะห์แคปไซซินอยด์ (CAPs) ด้วย MEKC ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยศึกษาและเปรียบเทียบผลของชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้สกัด (เอทิลอะซิเตตหรืออะซิโตไนไทรล์) แบบที่เติมเกลือและไม่เติมเกลือ พบว่าการสกัดตัวอย่างด้วยเอทิลอะซิเตตแบบเติมเกลือให้ประสิทธิภาพของการสกัด CAPs ที่ดีกว่า เมื่อศึกษาการสกัดด้วยวิธีนี้โดยใช้ซอสพริกเตรียมที่ประกอบด้วย CAPs ที่ 20, 50 และ 100 ppm (μg/g) พบว่าได้ recovery ในช่วง 96 ถึง 105 % แสดงว่ามีความเที่ยงสูงทั้งภายในวัน (RSD < 3.7 %, n=5 batch) และต่างวันกัน (RSD < 2.5 % เป็นเวลา 5 วัน) เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างซอสพริกจริง 22 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณ CAPs ในช่วง 13 ถึง 262 ppm โดยที่ 7 ตัวอย่างมีปริมาณ CAPs มากกว่า 50 ppm ซึ่งเกินปริมาณจำกัดของสหภาพยุโรป นอกจากนี้ปริมาณ CAPs ที่วิเคราะห์ได้จากต่างยี่ห้อกันไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณพริกในซอสพริกและระดับความเผ็ดที่ระบุไว้ ดังนั้น MEKC และวิธีการเตรียมตัวอย่างที่พัฒนาขึ้นนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการวิเคราะห์ปริมาณ CAPs ในซอสพริก เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเป็นข้อมูลความปลอดภัยของผู้บริโภคได้

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ ลายมือชื่อนิสิต กนกวรรณ วรดง

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

4872202123 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEYWORDS : CAPSAICIN / DIHYDROCAPSAICIN / CHILLI PRODUCT

KANOKWAN WORADONG : DETERMINATION OF CAPSAICIN AND DIHYDROCAPSAICIN IN CHILLI PRODUCTS BY CAPILLARY ELECTROPHORESIS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THUMNOON NHUJAK, Ph.D., 89 pp.

Micellar electrokinetic chromatography (MEKC) and microemulsion electrokinetic chromatography (MEEKC) were developed and compared as methods for quantitative determination of capsaicin (CAP) and dihydrocapsaicin (DCAP). Baseline resolution of CAP and DCAP from other compounds in the sample of capsicum oleoresin was achieved using the MEKC buffer containing 60 mM sodium dodecylsulfate as a micellar phase and 15 % v/v acetronitrile in a pH 9.2 borate buffer (10 mM $Na_2B_4O_7$). However, the MEKC buffer is more easily prepared, and therefore MEKC was chosen as a method for quantitative analysis of CAP and DCAP in the real samples. The total amount of CAP and DCAP in the samples of capsicum oleoresin determined by MEKC was found to be in excellent agreement with that claimed by high performance liquid chromatography.

The sample preparation for MEKC determination of capsaicinoids in chilli sauces was developed using solvent extraction (ethyl acetate or acetonitrile) with and without addition of salts. Results showed that ethyl acetate extraction with adding salts provided better extraction efficiency. Using the prepared sauces spiked with 20, 50 and 100 ppm (μg/g) CAPs, high recoveries of 96-105 % were obtained with high precision for intraday (RSD < 3.7 %, n=5 batches) and interday (RSD < 2.5 %, 5 days, n=25). This validated method was used for MEKC determination of CAPs in 22 samples of chilli sauces, and 13-262 ppm CAPs were found. It should be noted that 7 of them contain CAPs of higher than 50 ppm, which is above limited levels recommended by European Commission. In addition, the determined CAPs in chilli sauces are neither correlated with their chilli content nor hot degree labeled on each product. Therefore, this developed method may be used as an alternative method for determination of CAPs in chilli sauces for quality control and health safety.

Field of Study : Biotechnology Student's Signature Kanokwan Woradong

Academic Year : 2008 Advisor's Signature Thumnoon Nhujak

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะสำเร็จไม่ได้ ถ้าปราศจากการดูแลช่วยเหลือจากหลายๆ ท่านที่มีต่อข้าพเจ้าเสมอมา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ หนูจักร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักเป็นอย่างยิ่ง ที่กรุณาให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ และคอยดูแลตลอดการทำงานอย่างดีเสมอมา อีกทั้งช่วยเรียบเรียงและช่วยเสนอแนะการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ก๊กผล รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม รองศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช และ รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ดูแล ให้คำแนะนำและให้ความสะดวกในเรื่องต่างๆ

ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับแหล่งเงินทุนสนับสนุนจาก “งบประมาณแผ่นดิน ปี 2551” และสถานที่ทำวิจัย และเครื่องมือจากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ พี่ๆ และเพื่อนทั้งในกลุ่มและนอกกลุ่มวิจัยเทคนิคการแยกสารและวิเคราะห์เชิงโครมาโทกราฟี ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ข้อเสนอแนะต่างๆ

ขอขอบพระคุณบริษัทอุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีนจำกัด บริษัทคิงส์ฟู้ด เอนเทอไพรซ จำกัด บริษัทเคมสตาร์ จำกัด และกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ที่สนับสนุนสารตัวอย่างส่วนสกัดพริกในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา ญาติพี่น้องทุกคนเป็นอย่างสูง ที่ให้การสนับสนุนการศึกษา รวมทั้งเพื่อนๆ ในกลุ่มจากมหาวิทยาลัยทักษิณ และเพื่อนๆ ในกลุ่มจากหลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ สำหรับความช่วยเหลือในหลายๆ ด้าน และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมาในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง..... 4

1.3 ทฤษฎี สมมุติฐาน หรือกรอบแนวคิด..... 8

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 9

1.5 ขอบเขตของการวิจัย..... 9

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 9

2. ทฤษฎี..... 10

2.1 คะพิลลารีอิเล็กโทรฟอริซิส (Capillary Electrophoresis, CE)..... 10

2.2 ส่วนประกอบของเครื่อง CE..... 10

2.3 ความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (electrophoretic mobility, μ)..... 11

2.4 อิเล็กโทรออสโมซิส (electroosmosis)..... 14

2.5 ประเภทของเทคนิค CE..... 15

2.6 การเคลื่อนที่ของสารในเทคนิค MEKC และ MEEKC ในภาวะที่มี EOF มาก..... 16

2.7 อิเล็กโทรฟีโรแกรมและไมเกรชันไทม์ (electropherogram and migration time)..... 20

2.8 ค่าการแยก ประสิทธิภาพการแยกและความจำเพาะของสาร..... 20

2.9 คุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ด้วยเทคนิค CE (Qualitative and Quantitative Analysis in CE)..... 22

2.10 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction หรือ liquid-phase extraction)..... 24

บทที่ หน้า

2.11 Salting-Out Effect..... 26
3. วัสดุอุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย..... 27
3.1 วัสดุอุปกรณ์..... 27
3.2 เคมีภัณฑ์..... 27
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง..... 28
3.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับเทคนิค MEKC..... 28
3.3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับเทคนิค MEEKC..... 28
3.3.3 การเตรียมสารละลายสำหรับบัฟเฟอร์..... 28
3.3.4 การเตรียมสารละลายสำหรับเจือจางตัวอย่าง..... 29
3.3.5 ภาวะของ CE สำหรับการทดลอง..... 29
3.3.6 การหาภาวะที่เหมาะสมของ CE..... 29
3.3.7 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์สารมาตรฐาน 30
3.3.8 กราฟมาตรฐาน..... 31
3.3.9 ความแม่นและความเที่ยงของการวิเคราะห์..... 31
3.3.10 การหาปริมาณแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินในตัวอย่างส่วนสกัดพริก. 31
3.3.11 การหาชนิดและปริมาณของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดแคปไซซิน 32
และไดไฮโดรแคปไซซินและการกำจัดเมทริกซ์ในตัวอย่างที่เป็นผลิตภัณฑ์พริก.....
3.3.12 ขีดจำกัดของปริมาณวิเคราะห์ในตัวอย่าง..... 34
3.3.13 ความแม่นและความเที่ยงของการสกัดด้วยตัวทำละลาย..... 34
3.3.14 การหาปริมาณแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินในตัวอย่างซอสพริก..... 34
4. ผลการทดลองและการวิจารณ์..... 36
4.1 การเลือกภาวะของ CE..... 36
4.1.1 ขนาดและความยาวของคะพิลลารี..... 36
4.1.2 ความยาวคลื่นของการตรวจวัด..... 36
4.2 องค์ประกอบของบัฟเฟอร์..... 36
4.2.1 pH ของบัฟเฟอร์..... 37
4.2.2 สารลดแรงตึงผิว (surfactant)..... 38
4.2.3 หยดน้ำมัน..... 38
4.2.4 สารลดแรงตึงผิวร่วม (co-surfactant)..... 38

บทที่ หน้า

4.3 การหาภาวะที่เหมาะสมของเทคนิค MEKC..... 39
4.3.1 ผลของชนิดและปริมาณของตัวทำละลายอินทรีย์..... 39
4.3.2 ผลของความเข้มข้น SDS 43
4.3.3 ผลของอุณหภูมิ 46
4.3.4 ผลของศักย์ไฟฟ้า 49
4.4 การหาภาวะที่เหมาะสมของเทคนิค MEEKC..... 52
4.4.1 ผลของชนิดและปริมาณของตัวทำละลายอินทรีย์..... 52
4.4.2 ผลของความเข้มข้น SDS 55
4.4.3 ผลของอุณหภูมิและความต่างศักย์..... 58
4.5 การตรวจสอบวิธีการวิเคราะห์ (Validation of the method)..... 58
4.5.1 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์..... 58
4.5.2 กราฟมาตรฐาน..... 60
4.5.3 ความแม่น (accuracy) และความเที่ยง (precision)..... 62
4.6 การหาปริมาณแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินในตัวอย่างส่วนสกัดพริก..... 64
4.7 การหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัด..... 67
4.7.1 การหาชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัดและผลของการเติมเกลือ..... 67
4.7.2 ปริมาณเกลือที่เหมาะสมในการสกัด..... 72
4.7.3 การสกัดซ้ำ 2 ครั้ง เทียบกับ 1 ครั้ง..... 73
4.7.4 ความเที่ยงของการสกัด..... 74
4.8 การหาปริมาณแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินในตัวอย่างซอสพริก..... 75
5. สรุปผลการทดลอง..... 80
รายการอ้างอิง..... 83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 89

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ข้อกำหนดปริมาณแคปไซซินอยด์ในอาหารประเภทต่างๆ.....	2
1.2	มูลค่าการส่งออกของซอสพริกและเครื่องแกง.....	2
1.3	ชนิดของตัวอย่างและเทคนิคการเตรียมตัวอย่างที่ผ่านมา.....	5
4.1	ขีดจำกัดของการวิเคราะห์.....	59
4.2	ผลของเมทริกซ์ต่อความเที่ยงและความแม่นของปริมาณวิเคราะห์.....	62
4.3	ความเที่ยงของการวิเคราะห์แคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซิน (ความเข้มข้นรวมที่ 600 ppm).....	63
4.4	ปริมาณของแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินในตัวอย่างพริก capsicum oleoresin.....	66
4.5	เปรียบเทียบปริมาณเกลือที่เหมาะสมในการสกัดซอสพริก.....	72
4.6	ความเที่ยงของการสกัดสำหรับวิเคราะห์แคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซิน....	75
4.7	ปริมาณของแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินในตัวอย่างซอสพริก.....	77

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	สูตรโครงสร้างของแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซิน.....	1
2.1	ส่วนประกอบอย่างง่ายของเครื่อง CE.....	10
2.2	Electroosmotic flow (EOF).....	13
2.3	ลักษณะการไหลของสารและรูปร่างของพีกใน CE.....	14
2.4	สารลดแรงตึงผิวและไมเซลล์.....	15
2.5	หยดน้ำมันที่มีสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมมาล้อมรอบ.....	16
2.6	ลักษณะการเคลื่อนที่ของสารใน a) เทคนิค MEKC และ b) MEEKC โดยใช้บัฟเฟอร์ภาวะที่เป็นเบส.....	17
3.1	แผนผังการเตรียมตัวอย่าง.....	32
4.1	อิเล็กโทรฟีโรแกรมของส่วนสกัดพริก โดยใช้บัฟเฟอร์ของ MEKC ที่ (a) ไม่มีการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ (b ถึง d) มี ACN และ (e ถึง g) มี MeOH โดยที่ภาวะอื่นๆ คือ 10 mM $Na_2B_4O_7$ ที่ pH 9.2 ที่ประกอบด้วย 60 mM SDS, คะพิลลารีขนาด 50 μm i.d. × 40.2 cm (30 cm ถึงเครื่องตรวจวัด), อุณหภูมิของคอลัมน์ 25 °C, ศักย์ไฟฟ้า 25 kV, บรรจุสารด้วยการอัดความดัน 0.5 psi เป็นเวลา 5 s ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 214 nm; CAP = แคปไซซิน และ DCAP = ไดไฮโดรแคปไซซิน....	41
4.2	ผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่และการแยกของสาร a) retention time, b) electrophoretic mobility, c) retention factor, d) selectivity, e) efficiency และ f) resolution ของสาร (a ถึง c เป็นผลการทดลองของ CAP): ภาวะของ CE ดังรูป 4.1.....	42
4.3	อิเล็กโทรฟีโรแกรมของส่วนสกัดพริก โดยใช้บัฟเฟอร์ของ MEKC ประกอบด้วย SDS ความเข้มข้นต่างๆ ในบัฟเฟอร์ที่มี 15 % v/v ACN และภาวะอื่นดังรูปที่ 4.1d..	44
4.4	ผลของความเข้มข้น SDS ต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่และการแยกของสาร a) retention time, b) electrophoretic mobility, c) retention factor, d) selectivity, e) efficiency และ f) resolution ของสาร: ภาวะของ CE ดังรูป 4.3.....	45
4.5	อิเล็กโทรฟีโรแกรมของส่วนสกัดพริก โดยใช้อุณหภูมิของคอลัมน์ต่างๆ กันของ MEKC และภาวะอื่นดังรูปที่ 4.1d.....	47

รูปที่		หน้า
4.6	ผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่และการแยกของสาร a) retention time, b) electrophoretic mobility, c) retention factor, d) selectivity, e) efficiency และ f) resolution ของสาร: ภาวะของ CE ดังรูป 4.5.....	48
4.7	อิเล็กโทรฟีโรแกรมของส่วนสกัดพริก โดยใช้ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ กันของ MEKC และภาวะอื่นดังรูปที่ 4.1d.....	50
4.8	ผลของศักย์ไฟฟ้าต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่และการแยกของสาร a) retention time, b) electrophoretic mobility, c) retention factor, d) selectivity, e) efficiency และ f) resolution ของสาร: ภาวะของ CE ดังรูป 4.7.....	51
4.9	อิเล็กโทรฟีโรแกรมของส่วนสกัดพริกโดยใช้บัฟเฟอร์ของ MEEKC ที่ (a) ไม่มีการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ (b ถึง c) มี ACN และ (d ถึง e) มี MeOH: 10 mM $Na_2B_4O_7$ ที่ pH 9.2 ที่ประกอบด้วย 0.56 % v/v เอทิลอะซิเตต, 162 mM 1-บิวทานอล, 80 mM SDS และตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นเมทานอลหรือ ACN และภาวะอื่นๆ ของ CE คือ คะพิลลารีขนาด 50 μm i.d. × 40.2 cm (30 cm ถึงเครื่องตรวจวัด), อุณหภูมิของคอลัมน์ 25 °C, ศักย์ไฟฟ้า 25 kV, บรรจุสารด้วยการอัดความดัน 0.5 psi เป็นเวลา 5 s ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 214 nm; CAP = แคปไซซิน และ DCAP = ไดไฮโดรแคปไซซิน.....	53
4.10	ผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่และการแยกของสาร a) retention time, b) electrophoretic mobility, c) retention factor, d) selectivity, e) efficiency และ f) resolution ของสาร (a ถึง c เป็นผลการทดลองของ CAP): ภาวะของ CE ดังรูป 4.9.....	54
4.11	อิเล็กโทรฟีโรแกรมของส่วนสกัดพริกในบัฟเฟอร์ของ MEEKC ที่ประกอบด้วย SDS ที่ความเข้มข้นต่างๆ: และภาวะอื่นดังรูปที่ 4.9c.....	56
4.12	ผลของความเข้มข้นของ SDS ต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่และการแยกของสาร a) retention time, b) electrophoretic mobility, c) retention factor, d) selectivity, e) efficiency และ f) resolution ของสาร: ภาวะของ CE ดังรูป 4.11.....	57
4.13	กราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณวิเคราะห์ของ a) แคปไซซิน และ b) ไดไฮโดรแคปไซซิน.....	61
4.14	อิเล็กโทรฟีโรแกรมของ a) สารละลายตัวอย่าง A b) สารละลายตัวอย่าง B c) สารละลายตัวอย่าง C d) สารละลายตัวอย่าง D โดยใช้ภาวะของ MEKC ที่พัฒนาขึ้น.....	62

รูปที่		หน้า
4.15	Recovery ของ CAPs ในซอสเตรียมที่ผ่านการสกัดด้วย EtOAc และ ACN แบบเติมเกลือและไม่เติมเกลือ ที่ใช้ซอสเตรียมที่มี CAPs (a) 50 และ (b) 100 ppm (μg/g).....	65
4.16	อัตราส่วนของปริมาณ CAPs ที่วิเคราะห์ได้จากการสกัดตัวอย่างซอสพริกซ้ำ 2 ครั้งเทียบกับการสกัด 1 ครั้ง (E_{ratio}) ด้วย EtOAc แบบเติมเกลือและไม่เติมเกลือ.....	68
4.17	ปริมาณ CAPs ในตัวอย่างซอสพริกจริง ที่วิเคราะห์ได้จากการสกัดตัวอย่างด้วย EtOAc และ ACN แบบเติมเกลือและไม่เติมเกลือ (a) ตัวอย่างซอสพริก S1-h45 และ (b) S13-x30.....	73
4.18	อิเล็กโทรฟีโรแกรมของตัวอย่างซอสพริกจริงบางตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณ โดยทำการสกัดด้วย EtOAc แบบเติมเกลือ (anhydrous $MgSO_4$ 1.0 กรัม และ NaCl 0.25 กรัม); ISTD = Internal Standard, CAP = แคปไซซิน และ DCAP = ไดไฮโดรแคปไซซิน.....	76
4.19	ความสัมพันธ์ของปริมาณ CAPs และปริมาณของพริกในตัวอย่างซอสพริก (โดยที่ h, M, m และ x หมายถึงสูตรความเผ็ดมาก (hot) เผ็ดปานกลาง (medium) เผ็ดน้อย (mind) และไม่ได้ระบุ ตามลำดับ ส่วนตัวเลขท้ายสูตรหมายถึงปริมาณพริก (%) ที่ระบุไว้และตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บเป็นอัตราส่วนของ CAP : DCAP ที่วิเคราะห์ได้)...	78

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\Delta\mu$	ความแตกต่างของค่า μ ของสาร
α	Selectivity
ε	Permittivity
Φ	อัตราส่วนปริมาตรของ pseudo-stationary phase ต่อปริมาตรของ aqueous phase
η	ความหนืดของสารละลาย
μ	ความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (electrophoretic mobility)
μ^0	ความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าที่ความแรงของไอออนิกใกล้ศูนย์ (absolute electrophoretic mobility)
μ_{eo}	ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรออสโมซิส (electroosmotic mobility)
μ_{net}	ความสามารถในการเคลื่อนที่รวม (net mobility)
μ_{ps}	electrophoretic mobility ของ pseudo-stationary phase
ξ	zeta potential
A_{corr}	corrected peak area
C	ความเข้มข้นของสารที่สนใจที่เทียบหาจากกราฟมาตรฐาน (หน่วยเป็น ppm)
C_{aq}	ความเข้มข้นของสารใน aqueous phase
C_{dilute}	สารละลายมาตรฐานที่เจือจางตามความเหมาะสม
C_{ps}	ความเข้มข้นของสารใน pseudo-stationary phase
d	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคะพิลลารี
e	ประจุของอิเล็กตรอน (1.6×10^{-19} คูลอมบ์)
E	ความเข้มของสนามไฟฟ้า (electric field strength)
f	จำนวนเท่าที่เจือจางสารละลายพริกตัวอย่างจากเริ่มต้น (dilution factor)
H	ความสูงของเพลตเชิงทฤษฎี (total theoretical plates height)
H_{aq}	ค่า H ที่เกิดจาก intermicellar mass transfer in the aqueous phase
H_l	ค่า H ที่เกิดจาก longitudinal diffusion
H_{mc}	ค่า H ที่เกิดจาก sorption-desorption kinetics in micellar solubilisation
H_{pd}	ค่า H ที่เกิดจาก polydispersity of micelles
H_t	ค่า H ที่เกิดจาก thermal dispersion
I	ความแรงไอออนิก (ionic strength)

k	รีเทนชันแฟกเตอร์ (retention factor)
K	ค่าคงที่ของการกระจาย (distribution constant)
l	ความยาวจากปลายคะพิลลารีด้านที่บรรจุสารจนถึงเครื่องตรวจวัด
L	ความยาวทั้งหมดของคะพิลลารี
n_{aq}	จำนวนโมลของสารใน aqueous phase
n_{ps}	จำนวนโมลของสารใน pseudo-stationary phase
N	ประสิทธิภาพการแยกของสาร(efficiency หรือ theoretical plates)
$\overline{N}$	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการแยกของสารสองพีกที่ติดกัน
Q	ปริมาณแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินที่มีอยู่ในตัวอย่างในหน่วย g/kg
r_h	รัศมีไฮโดรไดนามิกของไอออน (hydrodynamic radius of ion) ซึ่งเป็นรัศมีของไอออนที่มีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบขณะที่ไอออนเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า
R_S	ค่าการแยกของสาร (resolution)
S/N	อัตราส่วนของสัญญาณตรวจต่อสัญญาณรบกวน (signal-to-noise ratio)
t_{eo}	ไมเกรชันไทม์ของ EOF marker
t_m	ไมเกรชันไทม์ (migration time)
t_{ps}	ไมเกรชันไทม์ของ pseudo-stationary phase
t_R	รีเทนชันไทม์ (retention time) ของสาร
v_{ep}	ความเร็วในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของสาร (electrophoretic velocity)
V	ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้แยกสาร (applied voltage)
V	ปริมาตรเริ่มต้นของสารละลายพริกตัวอย่าง (หน่วยเป็นลิตร)
V_F	ความเร็วโดยปริมาตรของสารตัวอย่างที่เคลื่อนที่ผ่านเครื่องตรวจวัด
w	ความกว้างของฐานพีกของสาร (peak width at base)
W	น้ำหนักของตัวอย่างพริกที่ชั่งมา (หน่วยเป็นกรัม)
x_{aq}	เศษส่วนจำนวนโมลของสารใน aqueous phase
x_{ps}	เศษส่วนจำนวนโมลของสารตัวอย่างใน pseudo-stationary phase
z	ประจุบนไอออน (electronic charge)
BGE	background electrolyte
CAP	แคปไซซิน
CE	capillary electrophoresis
CMC	critical micellar concentration
DCAP	ไดไฮโดรแคปไซซิน

EOF	electroosmotic flow
HPLC	ไฮเพอร์ฟอร์มานซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี (high performance liquid chromatography)
ISTD	internal standard
LOD	ขีดจำกัดของการตรวจวัด (limit of detection)
LOQ	ขีดจำกัดของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (limit of qauntitation)
MEEKC	microemulsion electrokinetic chromatography
MEKC	micellar electrokinetic chromatography
ppm	1 ล้านในล้านส่วน (part per million)
RSD	ค่าส่วนเบี่ยงเบนสัมพันธ์ (relative standard deviation)
SDS	โซเดียมโดเดกซิลซัลเฟต
SQL	ขีดจำกัดของปริมาณวิเคราะห์ของตัวอย่าง (sample quantiation limit)
K_d	สัมประสิทธิ์ของการกระจาย (distribution coefficient)
P	สัมประสิทธิ์ของการแบ่งส่วน (partition coefficient)
C_{org}	ความเข้มข้นของสารในเฟสตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent)
C_s	ความเข้มข้นของสารในเฟสตัวอย่าง (sample)
E	ประสิทธิภาพของการสกัด (extraction efficiency)
R	Recovery
W_{org}	ปริมาณสารในเฟสตัวทำละลายอินทรีย์
W_0	ปริมาณสารเริ่มต้น
V_{org}	ปริมาตรของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัด
V_s	ปริมาตรของตัวอย่างที่นำมาสกัด
SFE	supercritical fluid extraction
SPME	solid-phase microextraction
EtOAc	เอทิลอะซิเตต (Ethyl acetate)
ACN	อะซิโตไนไทรล์ (Acetronitrile)