การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์บางชนิดในอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิต โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

โดย

นายตรีพล สาตราภัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์

ภาควิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์บางชนิดในอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิต โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

โดย

นายตรีพล สาตราภัย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์

ภาควิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DETERMINATION OF SOME ORGANIC AND INORGANIC SPECIES IN PROCESSED FOODS BY ION CHROMATOGRAPHY

By

Thipol Satarpai

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Chemistry

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2008

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง " การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์บางชนิดในอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิต โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี " เสนอโดย นายตรีพล สาตราภัย เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์

…….....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตังกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง
2. อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดลฤดี ฉิมพาลี)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

...../...../.....

49310201 : สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์
คำสำคัญ : อาหารที่ผ่านกระบวนการผลิต / สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ / ไอออน
โครมาโตกราฟฟี

ตรีพล สาตราภัย : การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์บางชนิดในอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตโดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อ.ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และ อ.ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี. 140 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี (ใช้คอลัมน์ IonPac AS18 ขนาด 4 × 250 มิลลิเมตร) ต่อเข้ากับตัวตรวจวัดชนิดวัดค่าการนำไฟฟ้า และเครื่องผลิต KOH แบบอัตโนมัติ เพื่อใช้เป็น eluent ในการวิเคราะห์หากรดอินทรีย์บางชนิด ได้แก่ กรดอะซิตริก กรดฟอร์มิก กรด-ซักซินิก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก กรดแอสคอบิก กรดซิตริก และแอนไอออนอนินทรีย์บางชนิด ได้แก่ ฟลูออไรด์ คลอไรด์ โบรไมด์ ไนไตรต์ ไนเตรต ฟอสเฟต และเบนโซเอต โดยพร้อมๆกัน โดยไม่ต้องใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างที่ซับซ้อนก่อนทำการวิเคราะห์ สภาวะที่เหมาะสมในการแยก คือ สภาวะ gradient ของ KOH เข้มข้น 15 mM ที่เวลา 1 ถึง 15 นาที และเพิ่มความเข้มข้นเป็น 40 mM ที่เวลา 15 ถึง 35 นาที ในการวิเคราะห์สารมาตรฐานสำหรับแอนไอออนที่ศึกษา พบว่า ได้กราฟมาตรฐานที่เป็นเส้นตรง ครอบคลุมช่วงความเข้มข้นของแอนไอออนที่วิเคราะห์ในตัวอย่าง ขีดต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ สำหรับกรดอินทรีย์ อยู่ในช่วง 0.09-3.06 mg/L ขณะที่ แอนไอออนอนินทรีย์ อยู่ในช่วง 0.14 – 1.21 mg/L ตัวอย่างอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตที่เลือกมาศึกษา คือ ใบชาแห้ง ชา-พร้อมดื่ม แฮม และปลาทูน่ากระป๋อง

ผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างใบชาแห้งและชาพร้อมดื่ม มีค่า %recoveries ของแอนไอออน อยู่ในช่วง 83.9 ถึง 113.6 % ขณะที่ในตัวอย่างแฮมและตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง มีค่า %recoveries ของแอนไอออน อยู่ในช่วง 78.9 ถึง 135.1 % ยกเว้นสำหรับ %recovery ของกรดแอสคอบิก อยู่ในช่วง 44.5 ถึง 106.8 % สำหรับความเที่ยงของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

ภาควิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. ..... 2. .....

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

49310201 : MAJOR : ANALYTICAL CHEMISTRY

KEY WORDS : PROCESSED FOODS / ORGANIC AND INORGANIC SPECIES / ION CHROMATOGRAPHY

THIPOL SATARPAI : DETERMINATION OF SOME ORGANIC AND INORGANIC SPECIES IN PROCESSED FOODS BY ION CHROMATOGRAPHY. THESIS ADVISORS : SIRIRAT CHOOSAKULKRIENG, Ph.D. AND SUPACHAI SUPALUKNARI, Ph.D. 140 pp.

An ion chromatography (IonPac AS 18 column of 4×250 mm dimension) with suppressed conductimetric detection and an automated KOH generator were used to simultaneous determination of the contents of some organic acids namely, acetic acid, formic acid, succinic acid, malic acid, tartaric acid, ascorbic acid and citric acid and inorganic anions namely, fluoride, chloride, bromide, nitrite, nitrate, phosphate and benzoate. The method required no special sample pretreatment. The separation of all anions was achieved by the gradient elution as follows : eluting with 5 mM KOH (1 to 15 min) and then ramping to 40 mM KOH (15 to 35 min). For anions studied, linear calibration curves were obtained within the concentration ranges of the anions analysed in all samples. The limit of detections for the organic anions were in the range of 0.09 - 3.06 mg/L while those for the inorganic anions were in the range of 0.14 - 1.21 mg/L. The processed foods selected for this study were tea leaves, instant tea beverages, ham and canned tuna.

For the samples of tea leaves and instant tea beverages, the %recoveries of the anions were found to be in the range of 83.9 to 113.6 % while those for the samples of ham and canned tuna were in the range of 78.9 to 135.1 % except the %recovery of ascorbic acid was in the range of 44.5 to 106.8 %. The precisions of the method were within the accepted ranges.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Department of Chemistry Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2008

Student's signature…….

Thesis Advisors's signature 1. …… . 2. ……

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้ทำวิจัยต้องขอขอบพระคุณ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี อาจารย์ผู้ควบคุมงานวิจัยที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนวคิด คำแนะนำ ตลอดจนการตรวจและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ด้วยความดูแลเอาใจใส่ตลอดงานวิจัย

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดลฤดี ฉิมพาลี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีร-จำเนียร และกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาตรวจแก้ไข และให้แนวคิดรวมทั้งคำแนะนำ อันมีคุณค่าแก่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่มอบทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านสารเคมีและอุปกรณ์การทดลองต่างๆ ตลอดงานวิจัย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

ชา 1

แฮม 2

อาหารกระป๋อง 3

วัตถุเจือปนอาหาร 4

วัตถุกันเสีย 4

วัตถุกันหืน 15

วิธีการวิเคราะห์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยเทคนิค Ion Chromatography 22

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 26

ประโยชน์ของงานวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ 26

2 สารเคมีและเครื่องมือ 28

เครื่องมือ / อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 28

สารเคมี 29

การเตรียมสารละลาย 29

ตัวอย่าง 30

3 การทดลองและผลการทดลอง 33

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง 33

การเตรียมตัวอย่างชาพร้อมดื่ม 33

การเตรียมตัวอย่างใบชาแห้ง 33

การเตรียมตัวอย่างแฮม 33

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ หน้า

การเตรียมตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง 34

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี 34

การศึกษา Detection limit ในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี 37

การศึกษา Accuracy ในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟีจากการทำ Spiked recovery 38

การหาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในชาโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี 40

การหาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในชาพร้อมดื่ม 40

การหาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในใบชาแห้ง 56

การหาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแฮมโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี 66

การหาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปลาทูน่ากระป๋องโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี 86

4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 102

การเตรียมตัวอย่าง 102

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี 102

การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตโดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี 103

การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในชา 103

การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแฮม 107

การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปลาทูน่ากระป๋อง 108

เอกสารอ้างอิง 110

ภาคผนวก 112

ประวัติผู้วิจัย 140

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายชื่อสารเคมี บริษัทผู้ผลิต และเกรดของสารเคมี	29
2	รายชื่ออาหารที่ทำการสุ่มตัวอย่างในตลาด	30
3	ค่า Retention time และ Capacity factor ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ในสารละลายมาตรฐานผสม	35
4	สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์	36
5	ค่า Dectection limit, LOQ, working ranges และ correlation coefficient (r^2) ของ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ต่างๆ	38
6	ปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม	45
7	ปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม	47
8	ปริมาณของ chloride ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม	49
9	ปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม	51
10	ปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม	53
11	ปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม	55
12	ปริมาณของสารที่สนใจที่เวลาในการสกัด 20, 25, 30, 35, 40 และ 50 นาที ที่อุณหภูมิ 90-100 ^{0}C	56
13	ปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างใบชาแห้ง	61
14	ปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง	62
15	ปริมาณของ chloride ในตัวอย่างใบชาแห้ง	63
16	ปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง	64
17	ปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างใบชาแห้ง	65
18	ปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง	65
19	ปริมาณของสารที่สนใจที่เวลาในการสกัด 15, 25, 30 และ 40 นาที ที่อุณหภูมิ 75 ^{0}C	66
20	ปริมาณของ acetic acid ในตัวอย่างแฮม	74
21	ปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างแฮม	75
22	ปริมาณของ chloride ในตัวอย่างแฮม	76
23	ปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างแฮม	77

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ หน้า

24 ปริมาณของ nitrite ในตัวอย่างแฮม 79

25 ปริมาณของ nitrate ในตัวอย่างแฮม 80

26 ปริมาณของ succinic acid ในตัวอย่างแฮม 81

27 ปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างแฮม 83

28 ปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างแฮม 84

29 ปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างแฮม 85

30 ปริมาณของสารที่สนใจที่เวลาในการสกัด 10, 20, 30, 50 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 75 ^{0}C 86

31 ปริมาณของ acetic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง 91

32 ปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างปลากระป๋อง 92

33 ปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง 93

34 ปริมาณของ chloride ในตัวอย่างปลากระป๋อง 94

35 ปริมาณของ succinic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง 95

36 ปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง 97

37 ปริมาณของ benzoate ในตัวอย่างปลากระป๋อง 98

38 ปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างปลากระป๋อง 99

39 ปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง 100

40 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆที่พบในตัวอย่าง ชาพร้อมดื่ม 103

41 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆที่พบในตัวอย่างใบชาแห้ง ... 104

42 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่พบในตัวอย่าง ใบชาชนิดต่างๆ ของงานวิจัยอื่นๆ 106

43 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆที่พบในตัวอย่างแฮม 107

44 เปรียบเทียบ %recovery ของ nitrite และ nitrate ในตัวอย่างแฮมกับงานวิจัยอื่น .. 108

45 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆที่พบในตัวอย่าง ปลาทูน่ากระป๋อง 109

46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร 113

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	การแบ่งประเภทของวัตถุกันเสียจำพวกกรด	5
2	โครงสร้างทางเคมีของ A.) กรดเบนโซอิก B.) โซเดียมเบนโซเอต C.) โปแตสเซียมเบนโซเอต	6
3	โครงสร้างทางเคมีของ A.) เมทิลพาราเบน B.) โพรพิลพาราเบน	7
4	โครงสร้างทางเคมีของกรดโพรพิโอนิก	7
5	โครงสร้างทางเคมีของ A.) กรดซอร์บิก B.) เกลือโพแทสเซียมซอร์เบต และ C.) เกลือโซเดียมซอร์เบต	8
6	โครงสร้างทางเคมีของกรดอะซีติก	8
7	โครงสร้างทางเคมีของกรดแล็กติก	9
8	โครงสร้างทางเคมีของกรดมาลิก	9
9	โครงสร้างทางเคมีของกรดซักซินิก	10
10	โครงสร้างทางเคมีของกรดฟอร์มิก	10
11	โครงสร้างทางเคมีของกรดฟูมาริก	11
12	โครงสร้างทางเคมีของกรดซิตริก	11
13	โครงสร้างทางเคมีของกรดกรดทาร์ทาริก	12
14	โครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอบิก	12
15	สมการแสดงการเกิดสารประกอบไนโตรซามีนในอาหาร	14
16	โครงสร้างทางเคมีของกรดฟอสฟอริก	14
17	การทำงานของ suppressor	25
18	การทำงานของเครื่องผลิตตัวชะอัตโนมัติ (EG50)	25
19	องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ	26
20	Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในสารละลายมาตรฐานผสม	36
21	Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamE (unspiked)	39
22	Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamE (spiked)	40

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ หน้า

23 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaA .. 41

24 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaB .. 41

25 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaC .. 42

26 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaD .. 42

27 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaE .. 43

28 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaF .. 43

29 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaG .. 44

30 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐาน fluoride (A.) ในช่วงความเข้มข้น 4-40 ppm 44

30 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐาน fluoride (B.) ในช่วงความเข้มข้น 12-80 ppm 45

31 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน formic acid (A.) ในช่วงความเข้มข้น 1-48 ppm (B.) ในช่วงความเข้มข้น 1-24 ppm 46

32 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน chloride (A.) ในช่วงความเข้มข้น 0.01-300 ppm (B.) ในช่วงความเข้มข้น 0.1-20 ppm 48

33 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid (A.) ในช่วงความเข้มข้น 10-150 ppm (B.) ในช่วงความเข้มข้น 20-257 ppm 50

34 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน phosphate (A.) ในช่วงความเข้มข้น 2-160 ppm (B.) ในช่วงความเข้มข้น 2-20 ppm (C.) ในช่วงความเข้มข้น 20-100 ppm 52

35 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน citric acid (A.) ในช่วงความเข้มข้น 2-50 ppm (B.) ในช่วงความเข้มข้น 2-100 ppm (C.) ในช่วงความเข้มข้น 146-1826 ppm 54

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ หน้า

36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารที่สนใจกับเวลาที่ใช้ในการสกัดครั้งที่ 1 ในตัวอย่างใบชาแห้ง 57

37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารที่สนใจกับเวลาที่ใช้ในการสกัดครั้งที่ 2 ที่เหลือในตัวอย่างใบชาแห้ง 57

38 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaH .. 58

39 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaI 58

40 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaJ 59

41 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaK ... 59

42 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaL ... 60

43 ปริมาณของสารที่สนใจในแฮมในการสกัดครั้งที่ 1+2 67

44 ปริมาณของสารที่สนใจที่เหลือในแฮมในการสกัดครั้งที่ 3 67

45 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม Ham A 68

46 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม Ham A (dil1:2) 68

47 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม Ham B 69

48 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม Ham B (dil1:3) 69

49 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม Ham C 70

50 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม Ham C (dil1:3) 70

51 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม Ham D 71

52 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม Ham D (dil1:2) 71

53 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม Ham E 72

54 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม Ham E (dil1:4) 72

55 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน acetic acid ในช่วงความเข้มข้น 83-629 ppm 73

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ หน้า

56 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน fluoride ในช่วงความเข้มข้น 0.5-8 ppm 74

57 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน chloride ในช่วงความเข้มข้น 54-802 ppm 75

58 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน formic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.9-19 ppm 77

59 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน nitrite ในช่วงความเข้มข้น 0.1-6.3 ppm 78

60 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน nitrate ในช่วงความเข้มข้น 0.2-6 ppm 79

61 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน succinic acid ในช่วงความเข้มข้น 1-10 ppm 81

62 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid (A.) ในช่วงความเข้มข้น 2-23 ppm (B.) ในช่วงความเข้มข้น 11-160 ppm 82

63 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน phosphate ในช่วงความเข้มข้น 50-603 ppm 84

64 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน citric acid ในช่วงความเข้มข้น 0.5-8 ppm 85

65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารที่สนใจกับเวลาที่ใช้ในการสกัดครั้งที่ 1และ 2 ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง 87

66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารที่สนใจที่เหลือกับเวลาที่ใช้ในการสกัดครั้งที่ 3 ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง 87

67 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง Fish A 88

68 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง Fish B 88

69 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง Fish C 89

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ หน้า

70 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง Fish D 89

71 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง Fish E 90

72 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน fluoride ในช่วงความเข้มข้น 0.1-1.2 ppm 92

73 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน succinic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.2-10 ppm 95

74 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.2-16.8 ppm 96

75 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน benzoate ในช่วงความเข้มข้น 0.1-5 ppm 98

76 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน citric acid ในช่วงความเข้มข้น 0.4-8 ppm 100

77 Chromatogram ของน้ำ DI ที่ใช้ในการ diluted ตัวอย่างชาพร้อมดื่ม 136

78 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaH 136

79 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaI 136

80 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaJ 136

81 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaK 137

82 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaL 137

83 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างแฮม HamA 137

84 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างแฮม HamB 137

85 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างแฮม HamC 138

86 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างแฮม HamD 138

87 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างแฮม HamE 138

88 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishA 138

89 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishB 139

90 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishC 139

91 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishD 139

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่		หน้า

92 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishE 139

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 1

บทนำ

อาหารเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ดังนั้นการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์และมีคุณค่าทางโภชนาการจึงเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากนี้แล้วอาหารจะต้องมีความสะอาด ปลอดภัย และปราศจากสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ขั้นตอนของกระบวนการผลิตอาหารในอุตสาหกรรม ควรคำนึงถึงคุณภาพของอาหารและความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญ โดยการแปรรูปผลิตภัณฑ์ เพื่อรักษาสภาพอาหารได้มีการใส่สารเติมแต่ง (food additives) ต่างๆ ลงไปตามแต่วัตถุประสงค์ แต่ทั้งนี้ถ้ามีการใช้ในปริมาณที่มากเกินไปหรือตกค้างในอาหารเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด ก็อาจเกิดอันตรายหรือผลเสียต่อผู้บริโภคได้ ดังนั้นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารเหล่านี้จึงเป็นสิ่งสำคัญ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีที่สามารถวิเคราะห์สารเติมแต่งต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี กับอาหารที่ผ่านการแปรรูปชนิดต่างๆ คือ ชา แฮม และปลาทูน่ากระป๋อง ซึ่งจัดว่าเป็นอาหารที่ได้รับความนิยม นอกจากนี้ตัวอย่างแฮม และปลาทูน่ากระป๋องยังมีงานวิจัยที่ศึกษาสารเหล่านี้อยู่น้อย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

1.1 ชา

ในช่วง 2-3 ปีมานี้ เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพอย่างเช่น ชาเขียว ได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่องในหมู่คนไทย ซึ่งมีแนวโน้มการบริโภคที่เพิ่มขึ้น เห็นได้จากมีการพัฒนารูปแบบของการบริโภค ตั้งแต่อยู่ในรูปของใบชามาชงดื่ม หรือในรูปของน้ำชาเขียวสำเร็จรูปบรรจุขวด กระป๋อง กล่องUHT นอกจากนี้ ยังมีการนำมาผสมในอาหารและขนมอื่นๆรวมไปถึงยา อีกทั้งยังมีการพัฒนาเพื่อนำมาผสมลงในเครื่องสำอางต่างๆอีกด้วย มูลเหตุที่น่าสนใจ ของการบริโภคชาเขียว เป็นเรื่องของสารสำคัญ ที่มีอยู่ในชาเขียว มีความสามารถในการชะลอความแก่ ช่วยให้มีอายุยืน ป้องกันและบำบัดโรคร้ายที่กำลังคุกคามมนุษย์ในปัจจุบันเช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ ภาวะไขมันในเลือดสูง และโรคมะเร็ง เป็นต้น

1.1.1 ข้อมูลทั่วไปของชา [1]

ชา หมายถึง ใบ ยอด และก้าน ที่ยังอ่อนอยู่ของต้นชาในสกุลคาเมลเลีย (*Camellia sinensis L.*) ที่ทำให้แห้งแล้ว และหมายรวมถึง ชาผงสำเร็จรูป (instant tea) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำของเหลวซึ่งสกัดมาจากใบชาและนำมาทำให้เป็นผงกระจายตัวได้ง่ายเพื่อใช้เป็นเครื่องดื่ม ได้ทันที [2] ชาที่ใช้ในการบริโภค ส่วนมากจะเป็นต้นชาที่มีการเพาะปลูกบนพื้นที่สูง มีอากาศ

เย็น มีความชื้น และอุณหภูมิพอเหมาะ ส่วนที่นำมาบริโภคซึ่งถือกันว่าเป็นใบชาที่มีคุณภาพดี โดยทั่วไปจะเก็บเฉพาะส่วนยอดอ่อนของต้น คือเฉพาะหน่ออ่อนและใบอ่อน 2 ใบแรกเท่านั้น ถ้าเป็นใบแก่กว่านั้น ถือว่าเป็นใบชาที่มีคุณภาพด้อยลงไป

สารประกอบของใบชา ประกอบด้วย 1. สารที่มีฤทธิ์กระตุ้น เช่น แทนนิน (tannin) มีสูตรทางเคมีเหมือนคาเฟอีน เป็นส่วนผสมที่มีความสลับซับซ้อนมีองค์ประกอบมากกว่า 20 ชนิด มีปริมาณมากในใบชา ทำให้ใบชามีรสฝาด แทนนินในน้ำชามีผลทำให้การเคลื่อนไหวของลำไส้ลดน้อยลง จึงช่วยลดอาการท้องเดินในคนที่ท้องเสียรุนแรงได้ แทนนินมีประมาณ 3.3%ในใบชาดำ ซึ่งจะถูกสกัดออกมาในช่วงเวลา 3 นาทีแรกของการต้มหรือชงชา 2. วิตามิน มีอยู่หลายชนิด เช่น วิตามินซี และ 3. องค์ประกอบอื่นๆ เช่น น้ำ ประมาณ 8% โปรตีน ประมาณ 26% ไขมันชา (tea oil) ประมาณ 5.1% คาร์โบไฮเดรต ประมาณ 55.4% และแร่ธาตุต่างๆ เช่น ฟลูออไรด์ ประมาณ 5.6%

ใบชา แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ซึ่งทำมาจากชาชนิดเดียวกันแต่มีวิธีทำต่างกัน คือ [1]

1.1.1.1 ชาดำ (black tea) ได้มาจากการนำใบชามาทำให้เหี่ยวจนอ่อนนุ่มแล้วใช้เครื่องกลิ้งทับเพื่อปลดปล่อยเอนไซม์ที่ช่วยให้เกิดการหมักใบชา ซึ่งเป็นการทำให้เกิดออกซิเจนเติมลงในใบชา ไม่ใช่ออกซิเจนที่เกิดจากแบคทีเรีย แล้วนำไปหมักต่อในห้องหมัก ซึ่งจะต้องเกลี่ยใบชาออกเพื่อจะให้ดูดซึมออกซิเจนได้มากและทั่วถึง ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับแทนนินในใบชา ทำให้ใบชามีสีดำคล้ำ จึงเรียก ชาดำ แล้วจึงนำไปอบให้ร้อน หรือตากแห้งเพื่อหยุดการเติมออกซิเจน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ขณะหมัก กลิ่นใบชาจะระเหย และแทนนินจะถูกทำลายไปบ้าง ทำให้ชาดำมีกลิ่นหอมน้อยกว่า และมีรสชาติฝาดน้อยกว่าชาเขียวแต่น้ำชาจะมีสีน้ำตาลสวย การแบ่งเกรดจะแบ่งกันด้วยขนาดของใบชา

1.1.1.2 ชาเขียว (green tea) ได้มาจากการนำใบชามาปล่อยทิ้งไว้ให้เหี่ยวแล้วทับด้วยเครื่องและตากแห้งโดยไม่ต้องหมัก ทำให้น้ำชามีสีจางกว่าชาดำแต่มีกลิ่นหอมของชามากกว่า

1.2 แฮม

1.2.1 ข้อมูลทั่วไปของแฮม [3]

แฮม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักเนื้อหมูด้วยน้ำหมักที่มีเกลือ น้ำตาล ไนเตรต และไนไตรต์ แล้วทำให้สุกโดยการอบหรือต้มและรมควัน นิยมใช้ขาหน้าและขาหลังของหมู น้ำหมักประกอบด้วย เกลือ น้ำตาล โซเดียมไนเตรต โซเดียมไนไตรต์และฟอสเฟต อาจมีการเติมน้ำเชื่อมกลูโคสและโซเดียมอีริโทรเบต (sodium erythrobate) โดยฉีดเข้าชิ้นเนื้อด้วยเข็มฉีดหรือเครื่องฉีดน้ำยาแฮม เพื่อให้น้ำหมักกระจายเข้าสู่ชิ้นเนื้ออย่างสม่ำเสมอ จากนั้นอาจรมควันทันทีหรือหมักไว้ในห้องเย็น 24 ชั่วโมงก่อน (แฮมที่มีคุณภาพดีต้องหมักเป็นเวลา 3-7 วันในห้องเย็น ทำให้

แฮมที่ได้มีสีสวยและคงตัว มีความเค็มสม่ำเสมอ กลิ่นรสดี สามารถอุ้มน้ำได้ดีและไม่สูญเสียน้ำมากขณะรมควัน) การใช้เกลือเป็นส่วนประกอบของน้ำหมักช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อโดยลดปริมาณน้ำที่แบคทีเรียจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและช่วยเพิ่มรสชาติ ส่วนโซเดียมไนเตรต เมื่อถูกรีดิวซ์เป็นไนไตรต์และไนตริกออกไซด์จะมีผลในการตรึงสีเนื้อสัตว์ (ปัจจุบันนิยมใช้ทั้งโซเดียมไนเตรตและโซเดียมไนไตรต์ผสมกัน) ในประเทศสหรัฐอเมริกานิยมใช้เฉพาะโซเดียมไนไตรต์ โดยเติมโซเดียมอีริโทรเบตซึ่งเป็นสารเร่งปฏิกิริยาการสร้างสี ทำให้โซเดียมไนไตรต์ถูกรีดิวซ์เป็นไนตริก-ออกไซด์ในเวลาอันรวดเร็วขึ้น นอกจากนี้การเติมฟอสเฟตเข้าไปด้วยจะช่วยเพิ่มความสามารถในการจับน้ำของเนื้อให้สูงขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการผลิตน้อยกว่าเดิมมาก และยังช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาการเหม็นหืนได้

1.3 อาหารกระป๋อง

1.3.1 ข้อมูลทั่วไปของอาหารกระป๋อง [4]

อาหารกระป๋อง เป็นอาหารที่บรรจุกระป๋องโลหะที่มีการใช้ดีบุกเคลือบเพื่อป้องกันการเกิดสนิม ภายใต้สูญญากาศ หรือมีการไล่อากาศออกก่อนปิดฝา จากนั้นจึงนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันสูง จุลินทรีย์ต่าง ๆ จะถูกทำลายหมด อาหารกระป๋องจึงเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน แต่การเก็บอาหารกระป๋องไว้นานถึงแม้อาหารนั้นจะไม่เสียเพราะจุลินทรีย์ แต่สภาพของอาหารในกระป๋องก็จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อาหารกระป๋องเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในเมืองไทยและต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารทะเลบรรจุกระป๋องและสับปะรดกระป๋อง นอกจากนี้ อุตสาหกรรมอาหารทะเลกระป๋องและแปรรูป เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมอาหารที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของ ระบบเศรษฐกิจไทย ทั้งในแง่ของ การบริโภค การจ้างงาน และการผลิต โดยในปี 2549 มูลค่าการส่งออกของอาหารทะเลกระป๋องของไทย อยู่ในลำดับที่ 138 คิดเป็นมูลค่า 109,277.1 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 2.2 ของการส่งออกทั้งสิ้นของไทย [5]

กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์และกรมศุลกากรได้สรุปแหล่งวัตถุดิบสำคัญ 2 แหล่ง สำหรับอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง คือ

1.3.1.1 วัตถุดิบนำเข้า ส่วนใหญ่เป็นปลาทูน่าแช่เย็นหรือแช่แข็ง โดยส่วนใหญ่นำเข้าจากไต้หวัน ไมโครเนเซีย ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ โซโลมอน และปาปัวนิวกินี ชนิดของปลาทูน่าที่นำเข้า จะเป็นปลาทูน่าน้ำลึก ที่ไม่สามารถจับได้ในแถบทะเลไทย แบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลักๆ เช่น ปลาทูน่าท้องแถบ (Skip-Jack Tunas) มีการนำเข้ามากที่สุดประมาณร้อยละ 73 เนื่องจากมีสีเนื้อค่อนข้างดำราคาโดยเฉลี่ยจะถูกกว่าปลาทูน่าครีบเหลืองและปลาทูน่าครีบยาว, ปลาทูน่าครีบเหลือง (Yellow Fin Tunas) มีการนำเข้าประมาณร้อยละ 18 เนื่องจากมีสีเนื้อค่อนข้างขาวจึงเหมาะกับการผลิตเป็น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ปลาทูน่ากระป๋อง และปลาทูน่าครีบยาว (Albacore หรือ Long Finned Tunas) มีการนำเข้าประมาณร้อยละ 8 ส่วนปลาทูน่าชนิดอื่นๆ ได้แก่ ปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบน้ำเงิน เป็นต้น

1.3.1.2 วัตถุดิบในประเทศ มีการใช้ประมาณร้อยละ 20 ของวัตถุดิบทั้งหมด ปลาทูน่าที่จับได้ในประเทศไทย เรียกว่า ปลาโอ มีขนาดความยาวประมาณ 12 นิ้ว ส่วนใหญ่เพื่อบริโภคสดในประเทศมากกว่าใช้เพื่อบรรจุกระป๋อง เนื่องจากปลาทูน่าไทยมีขนาดเล็กและเป็นปลาทูน่าผิวน้ำ เช่น ปลาโอดำ ปลาโอลาย และปลาโอแกลบ

1.4 วัตถุเจือปนอาหาร [4], [6], [7],[8]

วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึง สารซึ่งปกติมิได้ใช้บริโภคเป็นอาหาร หรือใช้เป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร อาจมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่มีคุณค่าทางอาหารก็ได้ และวัตถุประสงค์ในการใช้สารนั้นในอาหาร ก็เพื่อประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับเทคนิคในการแปรรูป (รวมถึงคุณลักษณะในด้านประสาทสัมผัส) กรรมวิธีในการแปรรูป การเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ การขนส่ง และอายุการเก็บของอาหารนั้น และมีผลหรืออาจมีผลทางตรงหรือทางอ้อม ทำให้สารนั้นหรือผลิตผลพลอยได้ของสารนั้น กลายเป็นส่วนประกอบของอาหารนั้น หรือมีผลต่อคุณลักษณะของอาหารนั้น แต่ไม่ได้รวมถึง สารปนเปื้อน หรือสารที่เติมลงไป เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหาร (คณะกรรมาธิการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (Codex Alimentarius Commission FAO/WHO)) [9]

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

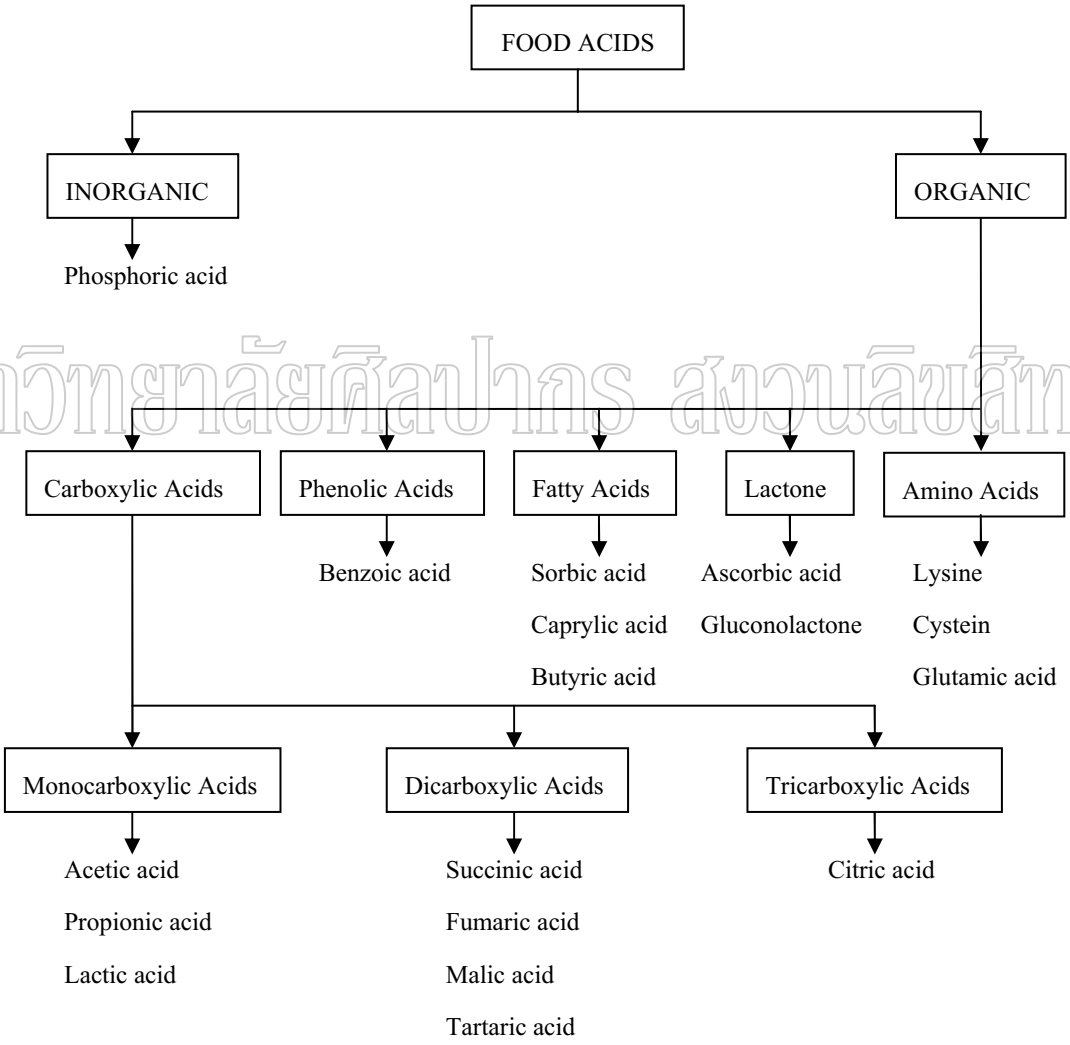
วัตถุเจือปนในอาหารที่ช่วยในกระบวนการแปรรูป ได้แก่ กรดและเบส อิมัลซิไฟ-เออร์ วัตถุที่ช่วยให้ข้นหรือคงตัว วัตถุกันการรวมตัวเป็นก้อนและวัตถุที่ใช้เพื่อให้คงรูป

1.4.1 วัตถุกันเสีย (preservative) เป็นสารประกอบเคมีหรือของผสมของสารประกอบเคมีที่ใช้ช่วยในการถนอมหรือยืดอายุการเก็บของอาหาร ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำลายจุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่เป็นสาเหตุให้อาหารเกิดการเน่าเสีย โดยทั่วไปการเสียของอาหารมักเกิดจากสาเหตุใหญ่ๆ คือ จุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น การใช้วัตถุกันเสีย เป็นวัตถุเจือปนในอาหารเป็นวิธีการหนึ่ง ที่จะช่วยลดการเน่าเสียของอาหาร ที่เกิดจากจุลินทรีย์ และช่วยให้สามารถเก็บอาหารได้นานขึ้น สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารแต่ละชนิด ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข(ฉบับที่ 281) พ.ศ. 2547 เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 [10] แสดงในภาคผนวก

วัตถุกันเสีย สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ (ดังรูปที่ 1 โดยจัดกลุ่มในรูปของกรด) คือ

1.4.1.1 สารอินทรีย์ ส่วนใหญ่จะมีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติหรือเกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก ได้แก่ พวกกรดไขมันและเกลือของกรดไขมัน เช่น ซอร์เบต (sorbate), เบนโซเอต (benzoate)

และโพรพิโอเนต (propionate) สารเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ขึ้นกับความสามารถในการละลาย ในสภาพที่เป็นโมเลกุลจะไม่แตกตัว แต่เมื่ออยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์จะแตกตัว ทำให้มีประจุบวกเกิดขึ้นภายในเซลล์มาก (เซลล์จึงต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการรักษาระดับโปรตอนหรือประจุบวกภายในเซลล์ไม่ให้มีมาก) ในทางตรงข้ามเมื่อวัตถุกันเสียอยู่นอกเซลล์ก็จะทำให้เซลล์สูญเสียประจุบวกออกจากเซลล์เป็นจำนวนมากอย่างรวดเร็ว ทำให้เซลล์ต้องใช้พลังงานมากเพื่อรักษาสมดุลของประจุโปรตอน นอกจากนี้ยังรบกวนการทำงานอื่นๆของเซลล์ เช่น สารพวกเบนโซเอต รบกวนการส่งผ่านกรดอะมิโนของเซลล์

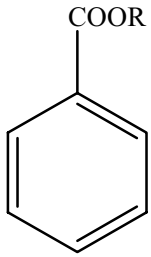


มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 1 การแบ่งประเภทของวัตถุกันเสียจำพวกกรด [11]

1.4.1.1.1 กรดเบนโซอิก และเกลือเบนโซเอต (benzoic acid and benzoates)

กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอต เป็นวัตถุกันเสียที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น แยม เนยเทียม เยลลี่ น้ำผลไม้ เครื่องดื่มที่อัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปโซเดียมเบนโซเอต และนิยมใช้ในรูปของเกลือมากกว่ากรด เป็นสารที่พบได้ในเปลือกไม้บางชนิด เช่น กระวาน พะยอม ชา เชอรี่ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ต่ำในอาหารที่มีความเป็นกลาง และประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรดในอาหารสูงขึ้น ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ในช่วง pH 2.5 – 4.0



A.) R = H (benzoic acid)

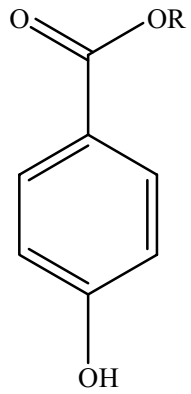
B.) R = Na (sodium benzoate)

C.) R = K (potassium benzoate)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของ A.) กรดเบนโซอิก B.) โซเดียมเบนโซเอต C.) โปแตสเซียมเบนโซเอต

สารในกลุ่มใกล้เคียงกัน เช่น เอสเทอร์ของกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก (p-hydorxy benzoic acid) หรือเรียกสั้นๆ ว่า พาราเบน ได้แก่ เมทิลพาราเบน โพรพิลพาราเบน บิวทิวพาราเบน และเอทิลพาราเบน สารเหล่านี้มีประสิทธิภาพคล้าย กรดเบนโซอิก แต่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีในช่วง pH ที่สูงกว่า และเป็นวัตถุกันเสียที่ค่อนข้างมีความคงตัวดีมาก นิยมใช้พาราเบนในอาหาร เช่น เครื่องดื่มชนิดต่างๆ ทั้งชนิดที่อัดคาร์บอนไดออกไซด์ และไม่อัดคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำหวานชนิดต่างๆ น้ำผลไม้ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เป็นต้น



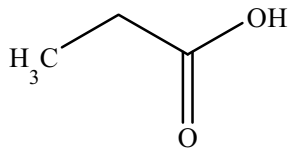
A.) R = CH_3 (เมทิลพาราเบน)

B.) R = C_3H_7 (โพรพิลพาราเบน)

รูปที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของ A.) เมทิลพาราเบน B.) โพรพิลพาราเบน

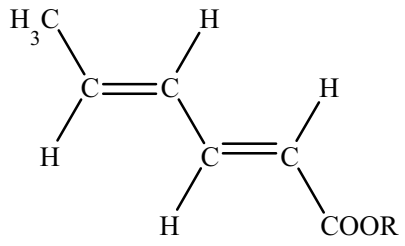
1.4.1.1.2 กรดโพรพิโอนิกและเกลือโพรพิโอเนต (propionic acid and propionates) กรดโพรพิโอนิกเป็นกรดที่รวมอยู่ในกลุ่มของ aliphatic monocarboxylic acid นิยมใช้ในรูปเกลือมากกว่ากรด เพราะละลายง่ายกว่า เกลือของกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) เป็นกรดไขมันสายสั้นๆ ใช้ในการป้องกันการเจริญของราและการเกิดเมือก เช่น ในขนมอบต่างๆ และเนยแข็ง ไม่มีผลในการยับยั้งการเจริญของยีสต์และแบคทีเรีย มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญได้ดีในช่วง pH ที่เป็นกรด

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของกรดโพรพิโอนิก

1.4.1.1.3 กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบต (sorbic acid and sorbates) เป็นสารประกอบที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส ทำให้เวลาใช้ไม่ทำให้กลิ่น รสและสีของอาหารเปลี่ยนแปลง กรดซอร์บิก เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพียงชนิดเดียวที่นำมาใช้เป็นวัตถุกันเสีย สำหรับเกลือของกรดซอร์-บิก ที่นิยมใช้ เช่น ในรูปของเกลือโซเดียม แคลเซียม และโพแทสเซียม ใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ส่วนกรดซอร์บิก ใช้ในการยับยั้งการเจริญของราและยีสต์ แต่ไม่ค่อยมีผลสำหรับแบคทีเรีย โดยจะไประงับการทำงานของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) ในเซลล์ ใช้ได้ดีที่ pH ต่ำจนถึง pH ประมาณ 6.5 มีประสิทธิภาพดีกว่าเบนโซเอตที่ pH สูงกว่า 4.0 นิยมใช้ในการช่วยยืดอายุการเก็บอาหาร เช่น เนยเทียม เนยแข็ง แยม เยลลี่ น้ำสลัดต่างๆ เป็นต้น



A.) R = H (กรดซอร์บิก)

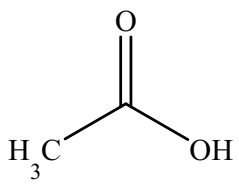
B.) R = K (เกลือโพแทสเซียม ซอร์เบต)

C.) R = Na (เกลือโซเดียม ซอร์เบต)

รูปที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของ A.) กรดซอร์บิก B.) เกลือโพแทสเซียม ซอร์เบต และ C.) เกลือโซเดียม ซอร์เบต

1.4.1.1.4 กรดอะซีติกและเกลืออะซิเตต (acetic acid and acetates) มีลักษณะทั่วไป คือ เป็นของเหลว ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน โดย 5% ของกรดอะซีติกเมื่อละลายน้ำ จะได้ pH อยู่ที่ประมาณ 2.4 อาจใช้เป็นวัตถุกันเสียหรือสารปรับความเป็นกรด ในรูปของสารละลายเจือจาง กรดอะซีติกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งยีสต์และแบคทีเรียได้ดีกว่าร่า โดยประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์จะดีที่ pH ต่ำ ใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรส เช่น ในน้ำสลัด มายองเนส ซอสมะเขือเทศ นอกจากนี้อาจใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อ และผลิตภัณฑ์ปลา เป็นต้น การใช้กรดอะซิติกในอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากจะมีการใช้ในรูปของกรดน้ำส้มสายชูแล้ว ยังมีการใช้กันมากในรูปของเกลืออะซิเตต เช่น แคลเซียมอะซิเตต โซเดียมอะซิเตต โปแตสเซียมอะซิเตต และโซเดียมไดอะซิเตต เป็นต้น

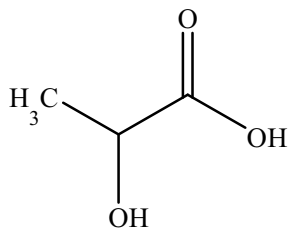
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของกรดอะซีติก

1.4.1.1.5 กรดแล็กติก (lactic acid หรือ 2-hydroxypropanoic acid) หรือกรดนม ลักษณะทั่วไปเป็นผลึกหรือของเหลวข้น ไม่มีสี มีคุณสมบัติดูดความชื้นได้ง่าย มีกลิ่นกรด ส่วนใหญ่ใช้เพื่อควบคุมความเป็นกรด-ด่างของอาหาร หรือเพื่อใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสในอาหารดอง น้ำผลไม้ แยมและเยลลี่ นอกจากนี้กรดแล็กติกยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโต และทำลายจุลินทรีย์

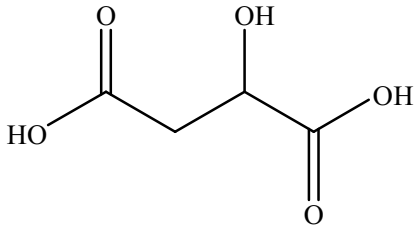
ได้หลายชนิด ส่วนเกลือของกรดแล็กติก เช่น โซเดียมแล็กเตตและโปแตสเซียมแล็กเตต ก็มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดที่สามารถสร้างสปอร์ได้ จุลินทรีย์ชนิดที่ก่อให้เกิดโรคในอาหาร และจุลินทรีย์ชนิดที่ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียได้เช่นกัน ในด้านความปลอดภัยนั้น กรดแล็กติกและเกลือแล็กเตตได้รับการรับรองจากคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration) ว่าปลอดภัยที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้



รูปที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของกรดแล็กติก

1.4.1.1.6 กรดมาลิก (malic acid หรือ hydroxysuccinic acid) ลักษณะทั่วไป เป็นผงเกล็ดสีขาว มีรสเปรี้ยว โดย 1% ของกรดมาลิกเมื่อละลายน้ำ จะได้ pH ประมาณ 2.4 เป็นกรดที่ให้กลิ่นฝาดที่เป็นธรรมชาติคล้ายกรดซิตริก แต่ให้กลิ่นรสที่เข้มข้นกว่า พบตามธรรมชาติในผักและผลไม้ เช่น ในแอปเปิ้ล กล้วย แครอท และสามารถแปรรูปจาก fumaric acid อาจใช้ในเครื่องดื่มที่ไม่มีแอกอฮอล์ มะเขือเทศกระป๋อง เพื่อปรุงแต่งกลิ่นรสและควบคุม pH นอกจากนี้ยังอาจใช้เป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนได้

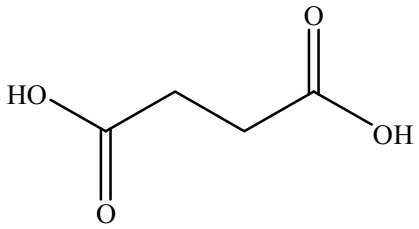
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 8 โครงสร้างทางเคมีของกรดมาลิก

1.4.1.1.7 กรดซักซินิก (succinic acid หรือ butanedioic acid) ลักษณะทั่วไปเป็นผลึกรูปปริซึม ไม่มีสีหรือสีขาว เป็นผงหรือเกล็ดผง ไม่มีกลิ่น มีรสเปรี้ยว ไม่ดูดความชื้น โดย 1% ของกรดซักซินิกเมื่อละลายน้ำ จะได้ pH ประมาณ 2.7 ใช้เป็น buffer ช่วยให้เป็นกลาง ให้ความเปรี้ยว

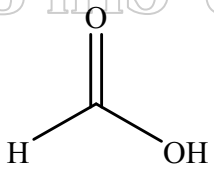
เพิ่มรสชาติ ที่ประเทศญี่ปุ่นใช้ในเหล้าขาว 0.08 – 0.09% นอกจากนี้ยังใช้ในการหมักเต้าเจี้ยว ซีอิ้ว เครื่องดื่ม เครื่องปรุงรส



รูปที่ 9 โครงสร้างทางเคมีของกรดซักซินิก

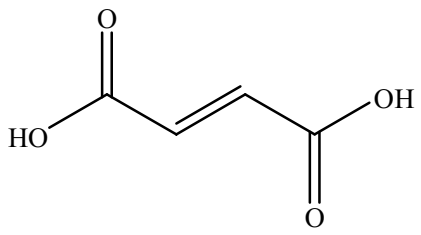
1.4.1.1.8 กรดฟอร์มิกและอนุพันธ์ (formic acid and derivative) formic acid หรือ methanoic acid มีลักษณะทั่วไปเป็นของเหลวใส ไม่มีสี สามารถกัดกร่อนได้สูง ละลายได้ทั้งในน้ำและในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล อีเทอร์ เป็นต้น ใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ รา ยีสต์ มีประสิทธิภาพที่ดีเมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นกรดที่ pH ประมาณ 3

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 10 โครงสร้างทางเคมีของกรดฟอร์มิก

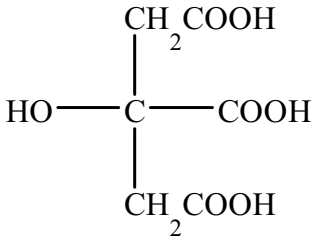
1.4.1.1.9 กรดฟูมาริกและเกลือฟูมาเรต (fumaric acid and fumarates) กรดฟูมาริกเป็นกรดที่มีรสเปรี้ยวจัด มีกลิ่นคล้ายองุ่น ละลายน้ำได้น้อยมาก และดูดความชื้นได้ช้า จึงมีประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารผงชนิดต่างๆ ช่วยให้มีอายุในการเก็บได้นานขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ในขนมผงที่มีเจลาตินเป็นส่วนประกอบ เนื่องจากกรดฟูมาริกจะช่วยให้เจลของขนมเกิดได้ดีขึ้น ในน้ำผลไม้ชนิดต่างๆ ในผลไม้แช่อิ่ม ในไวน์ เป็นต้น



รูปที่ 11 โครงสร้างทางเคมีของกรดฟูมาริก

1.4.1.1.10 กรดซิตริก (citric acid) ลักษณะทั่วไป แบ่งออกเป็น ชนิดน้ำ คือเป็นกรดเข้มข้น และชนิดเกล็ดสีขาว คือเป็นผงหยาบหรือละเอียด โดยทั่วไปพบตามธรรมชาติในผลไม้ประเภทส้ม มะนาว เป็นกรดที่นิยมใช้มากที่สุด ช่วยทำให้เปรี้ยวหรือเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสารกันบูด หรือวัตถุกันหืน หรือเพิ่มความหอม สามารถผสมผสานเข้ากันหรือแยกกระจายได้ โดยจะทำหน้าที่ต่างกันในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ในผลิตภัณฑ์นม จะทำหน้าที่ เป็นวัตถุกันเสีย ให้กลิ่นรสและลด pH ในเครื่องดื่มน้ำอัดลมจะทำหน้าที่เป็น สารปรุงแต่งกลิ่นรส เป็นวัตถุกันเสียและยังเป็นตัวจับกับโลหะเพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีและกลิ่นรส นอกจากนี้ยังมีการศึกษาโดย Gardner, W.H. [12] พบว่า กรดซิตริกเป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนที่มีประสิทธิภาพที่ดี สามารถช่วยชะลอการเกิดการหืนของอาหาร ที่มีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบ และป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรสในผลไม้กระป๋องและปลากระป๋องได้

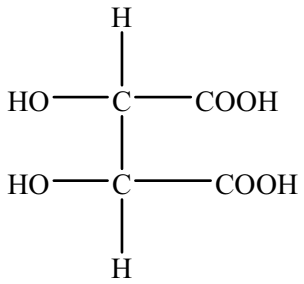
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 12 โครงสร้างทางเคมีของกรดซิตริก

1.4.1.1.11 กรดทาร์ทาริก (tartaric acid) หรือกรดมะขาม มีลักษณะทั่วไป เป็นผงเกล็ดผลึกไม่มีสีหรือสีขาว รสเปรี้ยว ละลายในน้ำได้ดี และค่อยๆ ละลายในแอลกอฮอล์ โดยกรดทาร์ทาริก 0.3% จะให้สารละลายที่ pH 2.4 เป็นกรดที่มีกลิ่นรสฝาดรุนแรง พบใน สัปปะรด มีความสามารถในการให้กลิ่นรสที่เหมือนผลไม้ธรรมชาติ มักใช้เป็นส่วนผสมของเยลลี่และแยม

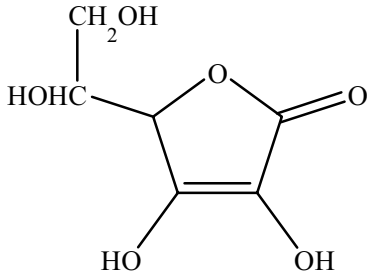
ผลไม้ เครื่องดื่มรสองุ่นและรสมะนาว นิยมใช้ในอาหารเพื่อช่วยเพิ่มความเป็นกรด ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ช่วยเพิ่มกลิ่นรส ช่วยเพิ่มความคงตัว นอกจากนี้ยังอาจใช้เป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน



รูปที่ 13 โครงสร้างทางเคมีของกรดทาร์ทาริก

1.4.1.1.12 กรดแอสคอบิก (ascorbic acid) เป็นกรดที่พบได้ในพืช พบมากในพืชตระกูลส้ม ลักษณะทั่วไปเป็นผลึก ละลายน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นรีดิวซิงเอเจนต์ที่มีประสิทธิภาพดี ใช้เป็นวัตถุกันเสีย ทำให้ความเป็นกรด-ด่างของอาหารลดลงและใช้เป็นวัตถุกันหืน เนื่องจากกรดแอสคอบิกสามารถถูกออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็ว จึงสามารถช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชันหรือปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหารได้ สำหรับในผลิตภัณฑ์เนื้อ ในระหว่างกระบวนการหมักเนื้อ เพื่อผลิตไส้กรอกหรือเบคอน โซเดียมไนไตรต์จะทำปฏิกิริยากับไดเมทิลามีนเกิดเป็น NDMA (Nitrosamine n-nitrosodimethylamine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง แต่เมื่อมีการใส่โซเดียมแอสคอเบต หรือกรดแอสคอบิก พบว่าจะสามารถลดปริมาณของ NDMA ที่เกิดขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ [12, 13]

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 14 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอบิก

1.4.1.2 สารอนินทรีย์ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ซัลไฟต์ และไนไตรต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารที่มีความเป็นกรดมากกว่าอาหารที่มีความเป็นกลาง แต่สารกันเสียอนินทรีย์จะมีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ น้อยกว่าพวกสารอินทรีย์ แต่จะให้ผลดีเมื่อออกฤทธิ์กับสารเคมีเฉพาะอย่าง เช่น ไนไตรต์จะทำปฏิกิริยากับซัลไฟดริล (sulpydryl) ในอาหาร

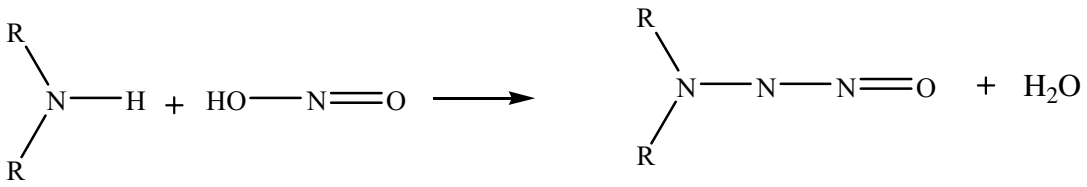
เกิดสารพวก ไนโตรโซไทโอล (nitrosothiol) ไปยับยั้งการเจริญสปอร์ของ บาซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*)

1.4.1.2.1 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือซัลไฟต์ (sulfur dioxide and sulfites) มีการใช้มานานโดยใช้กำมะถันมาเผา เพื่อทำลายจุลินทรีย์ในการทำไวน์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา Maillard หรือ browning ในอาหารซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโน เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในอาหารและยับยั้งการเจริญของราและแบคทีเรีย จากปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับหมู่คาร์บอนิลของคาร์โบไฮเดรต ทำให้เซลล์ไม่สามารถนำไปใช้สร้างพลังงานได้ หรืออาจทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน บริเวณที่มีการเกาะกันระหว่างซัลเฟอร์ (S-S linkage) ของเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ เมตาโบลิซึมของเซลล์หยุดชะงัก ประสิทธิภาพของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือซัลไฟต์ จะขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากเมื่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือซัลไฟต์ละลายน้ำ จะได้กรดซัลฟิวรัส (H_2SO_3) ไบซัลไฟต์ไอออน (HSO_3^-) และซัลไฟต์ไอออน (SO_2^{2-}) โดยอัตราส่วนนี้ขึ้นกับความเป็นกรด-ด่างของอาหาร คือต้องมีความเป็นกรด-ด่างต่ำ เพื่อที่จะได้มีกรดซัลฟิวรัสเกิดขึ้นมากและอยู่ในรูปไม่แตกตัว ดังนั้น อาหารที่เหมาะที่จะใช้วัตถุกันเสียนี้ เช่น น้ำผลไม้ต่างๆ น้ำหวานเข้มข้น ผักดอง เป็นต้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

1.4.1.2.2 ไนไตรต์และไนเตรต (nitrite and nitrate) ใช้ในการหมักเนื้อ เช่น เบคอน แฮม เป็นสารที่ช่วยรักษาสีให้เนื้อมีสีแดง โดยสารประกอบไนเตรตถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรต์ก่อน แล้วเปลี่ยนต่อไปเป็นไนทริกออกไซด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไมโอโกลบินในเนื้อเกิดเป็นไนโตรโซไมโอโกลบินที่มีสีแดง หยุดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น *Clastridium botulinum* ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสีย และยังทำให้เกิดกลิ่นรสในอาหารด้วย ประสิทธิภาพของสารประกอบไนไตรต์จะขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง ยิ่งมีความเป็นกรด-ด่างต่ำ ประสิทธิภาพก็จะยิ่งดีขึ้น (ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่ออาหารมีสภาวะเป็นกรดมากขึ้น) นอกจากนี้ไนไตรต์ไอออนสามารถเป็นทั้งตัวรับอิเล็กตรอนและตัวให้อิเล็กตรอน ในสภาวะที่เป็นกรดไนไตรต์เปลี่ยนเป็นกรดไนทรัส (nitrous acid) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนทริกออกไซด์ (nitric oxide) แล้วไปทำปฏิกิริยากับสารที่มีโพรไพริน เช่น คาเทเลส เพอร์ออกซิเดส ไซโทโครม ซึ่งปฏิกิริยานี้ทำให้หยุดการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ไนเตรตแม้ว่าจะมีความเสถียรมากกว่าและมีความเป็นพิษน้อยกว่าไนไตรต์ แต่ไนเตรตสามารถเปลี่ยนเป็นไนไตรต์โดยผ่าน microbial reduction ได้

การใช้สารประกอบไนไตรต์และไนเตรตในผลิตภัณฑ์อาหาร ควรใช้อย่างระมัดระวัง เพราะถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้เกิดอันตรายกับผู้บริโภคได้ เนื่องจากสารประกอบไนไตรต์และไนเตรตจะรวมตัวกับสารประกอบเอมีนในอาหารเกิดเป็นสารประกอบไนโตรซามีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังรูปที่ 15

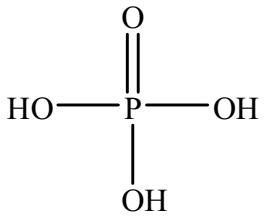


Secondary amine nitrite nitrosamine

รูปที่ 15 สมการแสดงการเกิดสารประกอบไนโตรซามีนในอาหาร

1.4.1.2.3 กรดฟอสฟอริกและเกลือฟอสเฟต (phosphoric acid and phosphates) เป็นกรดอนินทรีย์ตัวเดียวที่ใช้อย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์อาหาร และใช้ร่วมกับกรดอื่นๆได้ ส่วนเกลือฟอสเฟตที่ใช้ เช่น โซเดียมฟอสเฟต ไดโซเดียมฟอสเฟต ไตรโซเดียมฟอสเฟต ส่วนใหญ่ใช้เพื่อช่วยเพิ่มความเป็นกรดของอาหาร ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ช่วยให้อาหารมีรสเปรี้ยว และสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะที่ปนเปื้อนมาในอาหารได้ ใช้ในเครื่องดื่มรสผลไม้ ในน้ำอัดลม ในแยมและเยลลี่ ในเครื่องดื่มที่มีนมเป็นส่วนประกอบ เป็นต้น การใช้ฟอสเฟตจะช่วยควบคุมความหนืดของผลิตภัณฑ์และช่วยเน้นกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ในอุตสาหกรรมการผลิตเนยแข็งและเบียร์ มีการใช้กรดฟอสฟอริก เพื่อช่วยในการปรับความเป็นกรด-ด่าง ในอุตสาหกรรมการผลิตเจลาติน น้ำมันพืชและน้ำตาล จะใช้กรดฟอสฟอริกช่วยในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 16 โครงสร้างทางเคมีของกรดฟอสฟอริก

1.4.1.3 น้ำตาลและเกลือ การเติมเกลือให้มีความเข้มข้นสูงๆ สามารถยับยั้งการเจริญของ จุลินทรีย์โดยทำให้เกิดความดันออสโมติกสูง เป็นผลให้เซลล์แตก ดึงน้ำออกจากเซลล์ ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ขึ้นกับ ความเข้มข้นของเกลือในอาหารและอุณหภูมิ ส่วนน้ำตาลทั้งที่เป็น ซูโครส และกลูโคส ที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดความดันออสโมติกสูงในอาหาร แย้งน้ำอิสระในอาหารจากจุลินทรีย์ ดึงน้ำออกจากเซลล์ของจุลินทรีย์ และลดการละลายของออกซิเจนในอาหาร

โดยทั่วไปการเสียของอาหารมักมีสาเหตุเนื่องจากจุลินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ การเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีมีน้อยกว่าแต่ก็มีความสำคัญมาก และสามารถเกิดขึ้นได้ ตั้งแต่ในช่วงเตรียมวัตถุดิบ ระหว่างกระบวนการแปรรูป ระหว่างการเก็บเพื่อรอจำหน่าย ระหว่างการขนส่ง และระหว่างการวางจำหน่าย ตัวอย่างหนึ่งของการเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญ คือ การเสียที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารทุกชนิด คือ อาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบ มักจะเกิดการเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าที่จะเกิดการเสียจากจุลินทรีย์ เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมคุณภาพ คุณค่าทางอาหารลดลงและอาจมีสารที่เป็นพิษเกิดขึ้นได้ กล่าวคือ อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการสลายตัวของ กรดไขมันจำเป็นในผลิตภัณฑ์อาหาร หรือเกิดการสลายตัวของวิตามินชนิดที่ละลายได้ในไขมัน เช่น วิตามินเอ ดี อี และเค เป็นต้น หรืออาจเป็นสาเหตุให้เกิดการสารที่เป็นอันตรายหรือสารพิษ เช่น สารก่อมะเร็ง หรืออาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของอาหาร หรือกระทั่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารด้วย เช่น สีประเภทแคโรทีนอยด์ ไมโอโกลบิน แอนโทไซยานิน และคลอโรฟิลล์ เป็นต้น

1.4.2 วัตถุกันหืน [8] หมายถึง สารที่ใช้เพื่อชะลอการเสียของอาหารอันมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยอาหารประเภทไขมันเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของอาหาร เกิดการหืนของอาหารทำให้มีสีผิดปกติ กลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเปลี่ยนแปลงไป โดยมีกลไกการชะลอหรือยับยั้งการเกิดออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในไขมันและน้ำมัน เมื่อเติมวัตถุกันหืนลงไปจะไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นแบบลูกโซ่หยุดชะงัก ดังนี้

$$ROO^{\cdot} + AH \longrightarrow ROOH + A^{\cdot} \quad \text{หรือ}$$

$$RO^{\cdot} + AH \longrightarrow ROH + A^{\cdot} \quad \text{หรือ}$$

$$R^{\cdot} + AH \longrightarrow RH + A^{\cdot}$$

เมื่อเหลืออนุมูลอิสระของวัตถุกันหืน ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าอนุมูลอิสระมาก และสามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่คงตัวได้ ดังนี้

$$A^{\cdot} + A^{\cdot} \longrightarrow A_2$$

$$ROO^{\cdot} + A^{\cdot} \longrightarrow ROOA$$

สารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน (synergist) หมายถึง สารที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้กับวัตถุกันเสีย (โดยที่ตัวสารเสริมฤทธิ์ไม่มีสมบัติเป็นวัตถุกันหืน) สารเสริมฤทธิ์นี้จะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับโลหะที่ปนเปื้อนมาในอาหารหรือช่วยชะลอปฏิกิริยาของโพร-ออกซิแดนต์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

(pro-oxidant) หรือทำหน้าที่เป็นตัวรับแรดดิคอล หรือทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนหรือโปรตอน เพื่อช่วยให้วัตถุกันหืนสามารถทำหน้าที่ป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ ดังนี้

$$ROO^{\cdot} + AH \longrightarrow ROOH + A^{\cdot} \quad : \text{pro-oxidant}$$

$$A^{\cdot} + SH \longrightarrow AH + S \quad : \text{synergist}$$

$ROO^{\cdot}$ = แรดดิคอลอิสระที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

AH = วัตถุกันหืนที่เติมลงไป

SH = สารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน

สารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนที่นิยมใช้กันทั่วไป เช่น กรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และไพโรฟอสเฟต เป็นต้น

1.4.2.1 กรดซิตริก นอกจากที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.4.1.1.10. แล้ว ในอุตสาหกรรมอาหารประเภทไขมันและน้ำมันหรืออาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบ จะมีการใช้กรดซิตริกเป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน เนื่องจากเป็นสารที่จับโลหะที่มีประสิทธิภาพดี ตัวอย่างเช่น การใช้ TBHQ 0.2% ร่วมกับ citric acid 0.01% ในน้ำมันฝ้าย พบว่า สามารถช่วยชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จะเกิดขึ้นในช่วงหลังการเก็บจาก 10 ชั่วโมงเป็น 30 ชั่วโมงได้ ในน้ำมันมะกอก การใช้ TBHQ 0.02% ร่วมกับ citric acid 0.01% พบว่าสามารถช่วยชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในช่วงหลังการเก็บได้ จาก 12 ชั่วโมงเป็น 58 ชั่วโมง [15]

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

1.4.2.2 กรดทาร์ทาริก นอกจากที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.4.1.1.11. แล้ว ยังมีคุณสมบัติเป็นสารจับโลหะที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกรดซิตริก จึงนิยมใช้เป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน โดยกรดทาร์ทาริกจะไปจับกับโลหะที่ปนเปื้อนมาในอาหาร ทำให้ปฏิกิริยาการหืนเกิดช้าลง ตัวอย่างเช่น การใช้กรดทาร์ทาริกร่วมกับวัตถุกันหืนในน้ำมันถั่วเหลือง จะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดกลิ่นไม่ดีในน้ำมันถั่วเหลืองได้ [16]

1.4.2.3 กรดฟอสฟอริกและเกลือฟอสเฟต เช่น ไพโรฟอสเฟต ไตรโพลิฟอสเฟต และเฮกซาเมตาฟอสเฟต เป็นต้น ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.4.1.2.3. แล้ว ยังสามารถใช้เป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนชนิดต่างๆ เช่น บีเอชเอ บีเอชที โพรพิลแกตเลต และโทโคฟีรอล เป็นต้น ทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารที่มีไขมันและน้ำมันถูกชะงักหรือชะลอให้เกิดช้าลง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆในอาหาร มีปริมาณเพิ่มขึ้นในระยะสิบปีที่ผ่านมา จำนวนของวิธีการและความหลากหลายของกระบวนการที่จะวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ถูกนำเสนอออกมานั้น เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก

ในปี ค.ศ. 1995 Saccani และคณะ [17] ได้วิเคราะห์หากรดอินทรีย์ต่างๆ คือ citric acid, malic acid, isocitric acid และ tartaric acid ในน้ำผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น น้ำส้ม น้ำส้มโอ น้ำแอปเปิ้ล น้ำเชอรี่ น้ำองุ่น และน้ำ blackcurrant ที่มาจากแหล่งต่างๆกัน เป็นต้น โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี ใช้คอลัมน์ OMNI PAC PAX-500 ตัวชะเป็น NaOH ทำการวิเคราะห์แบบ gradient elution และใช้ตัวตรวจวัดเป็น conductometric detector พบว่า สามารถแยกกรดอินทรีย์หลักๆในน้ำผลไม้ออกจากกันได้ดี มีกรดอื่นๆรบกวนเล็กน้อย มีความเที่ยงอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 73 (S.D.) นอกจากนี้ยังสามารถแยกกรดอินทรีย์อื่นๆ เช่น lactic acid, acetic acid และกรดอนินทรีย์ที่สำคัญอย่างเช่น คลอไรด์ และไนเตรต ได้ด้วย มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่ง่าย ในงานวิจัยนี้ ได้เสนอ profile ของกรดอินทรีย์ทั้งหมดรวมทั้งองค์ประกอบย่อยต่างๆ ในการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็น characterization ของน้ำผลไม้ชนิดต่างๆ ที่มาจากแหล่งต่างๆกันได้และใช้ในการควบคุมคุณภาพได้อีกทางหนึ่ง

ในปี ค.ศ. 1995 Lodi และ Rossin [18] ได้วิเคราะห์หากรดอินทรีย์ต่างๆ คือ citric acid, malic acid, lactic acid, formic acid, acetic acid, propionic acid, butyric acid, valeric acid และ pyroglutamic acid ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำตาล โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟีและทำการเปรียบเทียบกับเทคนิค high-performance liquid chromatography และ enzymatic analysis พบว่าเทคนิคทางโครมาโตกราฟฟีไม่สามารถวิเคราะห์และไม่สามารถแยกสารที่เป็น isomer กันได้แต่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค enzymatic analysis เช่นในกรณีของ D,L-lactic acid ซึ่ง L-lactic acid ถือเป็นตัวแปรที่สำคัญในการวัด fermentation activity ในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ในการวิเคราะห์หา propionic acid และ pyroglutamic acid ไม่สามารถแยกได้ทางโครมาโตกราฟฟีเนื่องจากมี retention time เดียวกัน อีกทั้งไม่สามารถหาได้ด้วยเทคนิค emzymatic analysis แต่วิเคราะห์ได้ด้วยคอลัมน์ IONPAC ICE AS6 ในเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

ในปี ค.ศ. 2000 Masson [19] ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวทำละลายอินทรีย์ (คือ methanol ethanol และ acetonitrile) ในตัวชะ ในการวิเคราะห์หากรดอินทรีย์ต่างๆ (เช่น succinic acid, malic acid tartaric acid, ketoglutaric acid, fumaric acid และ citric acid) และแอนไอออนอนินทรีย์ต่างๆ (เช่น chloride, nitrate, sulfate และ phosphate) ในน้ำองุ่นโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี ใช้คอลัมน์เป็น Dionex AS11 ใช้ NaOH เป็นตัวชะแบบ gradient elution และมีตัวตรวจวัดเป็น suppressed conductivity detector พบว่า การแยกไอออนทั้งหมดได้ดี (R_s >1.2)โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ 20 นาที ใช้ตัวชะที่มี 13%(v/v) methanol และ 13%(v/v) ethanol ในน้ำ ไม่ต้องทำการ clean-up ตัวอย่างก่อน ทำการเตรียมตัวอย่างโดยเจือจางตัวอย่าง 20 เท่าแล้วกรองด้วย 0.45 μm membrane filter ก่อนทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ในปี ค.ศ. 2001 Chen และ Wang [20] ได้วิเคราะห์หาสารให้ความหวาน (เช่น sodium saccharin, aspartame และ aceculfame-K) วัตถุกันเสีย (เช่น benzoic acid และ sorbic acid) caffeine theobromine และ theophylline ในอาหาร คือ เครื่องดื่มโคลา น้ำผลไม้ นม ผลไม้ และยาเม็ด โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี ใช้คอลัมน์เป็น Shimadzu Shim-pack IC-A3 ใช้ 5mM NaH_2PO_4 (pH 8.20) ที่มี 4%(v/v) acetonitrile เป็นตัวชะ และใช้ตัวตรวจวัดเป็น wavelength-switching ultraviolet absorbance detector พบว่า ใช้เวลาในการวิเคราะห์ 45 นาที มีค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ ต่ำกว่าระดับ sub-μg/mL มีความแม่นยำอยู่ในช่วง 85 ถึง 104% อีกทั้งกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น citric acid, malic acid, tartaric acid และ ascorbic acid ที่มีในบางตัวอย่างไม่รบกวนในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบกับเทคนิค reverse-phase high performance liquid chromatography (RP-HPLC) พบว่า ค่าที่ได้ในการวิเคราะห์กับตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าที่ได้จากเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

ในปี ค.ศ. 2002 Buldini Cavalli และ Sharma [21] ได้วิเคราะห์หาสารอนินทรีย์ต่างๆ คือ chloride, bromide, phosphorus (ในรูป phosphate), sulfur (ในรูป sulfate), copper, nickel, zinc, cobalt, iron และ lead ในนมชนิดต่างๆ โดยใช้การย่อยแบบ oxidative UV photolysis เปรียบเทียบกับการย่อยด้วย wet digestion (ใช้กรดไนตริกย่อยในระบบปิด) ใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟีที่มี conductivity เป็นตัวตรวจวัดแอนไอออนและ variable-wavelength UV-Vis เป็นตัวตรวจวัดแคด-ไอออนหลังจากถูก derivatisation จาก post-column แล้ว พบว่า การย่อยด้วย wet digestion ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน (AOAC Official methods of analysis, 16th ed.,4th revision, 1998, chapter9) ให้ผลการวิเคราะห์ที่สูงกว่าค่าจาก certified values เล็กน้อยเมื่อเทียบกับการย่อยด้วย UV photolysis แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถวิเคราะห์ manganese, nitrate, nitrite และ iodide ได้ เนื่องจาก iodide, nitrite, nitrate และ sulfite จะมีการสูญเสียไปกับ UV radiation ส่วน manganese (II) จะถูกออกซิไดซ์ไปสู่ oxidation state ที่สูงกว่า

ในปี ค.ศ. 2007 Yoshikawa และคณะ [22] ได้วิเคราะห์หาสารอินทรีย์ต่างๆ คือ acetic acid, lactic acid, succinic acid, malic acid, tartaric acid, citric acid และ สารอนินทรีย์ต่างๆ คือ chloride, nitrite, nitrate, sulfide ในอาหารหลายชนิด คือ nutoritions drink, moromi vinegar และ yogurt โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี ที่มีคอลัมน์เป็น graphite carbon ถูกเคลือบด้วย cetyltrimethylammonium (CTMA) ion อย่างถาวร ใช้ 0.35 mM saticylic acid และ 0.1 mM sodium salicylate เป็น ตัวชะ และใช้ตัวตรวจวัดชนิด non-suppressed conductivity detector ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 35 นาที พบว่า malic acid, chloride และ nitrite ไม่แยกออกจากกันจึงเปลี่ยนตัวชะเป็น 2.0 mM benzoic acid และ 1.2 mM tris aminomethane (pH4.4) พบว่าสามารถแยกออกจาก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

กันได้ภายใน 10 นาที ให้ช่วงความเป็นเส้นตรงที่ดีในช่วง 10-200 mg/L (correlation coefficients = 0.999) ความเที่ยงอยู่ระหว่าง 0.40 ถึง 0.84 %RSD (n=6) ขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ อยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 4.5 mg/L และมีความแม่นยำจากการศึกษา % recovery อยู่ในช่วง 85.9 ถึง 105.9 %

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆในตัวอย่างอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิต เช่น ชา แฮม และปลากระป๋อง ได้มีการนำเสนอออกมาเช่นกัน โดยการศึกษาสารเหล่านี้ในตัวอย่างชา มีดังต่อไปนี้

ในปี ค.ศ. 1995 Wu และคณะ [23] ได้วิเคราะห์หาสารอินทรีย์ต่างๆ คือ oxalic acid, citric acid, acetic acid, tartaric acid, malic acid, succinic acid, lactic acid, carbonic acid, aspartic acid, glutamic acid, ascorbic acid และ gluconic acid โดยเทคนิค capillary electrophoresis (CE) ใช้ตัวตรวจวัดแบบ indirect absorbtion มี background electrolytes (BGEs) หลายชนิดที่นำมาศึกษา คือ chromate, *p*-hydroxybenzoate, phthalate, terephthalate, trimellitate และ pyromellitate ทำการวิเคราะห์โดยให้กระแสแบบ negative หรือ reverse polarity mode พบว่าให้ผลที่ดีกว่าการให้แบบ positive voltage นอกจากการศึกษาตัวแปร BGEs แล้วยังศึกษาผลของ pH ซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อ selectivity และ resolution ในการทำ CE เช่นกัน สารที่สนใจทั้งหมดยกเว้น malate และ succinate สามารถแยกได้ในการวิเคราะห์หนึ่งครั้งโดยใช้ 5mM trimellitate เป็น BGE และ 1mM tetradecyltrimethylammonium bromide เป็น EOF modifier ที่ pH 9.0 ใช้เวลาน้อยกว่า 10 นาที ความเที่ยงของเทคนิคนี้สำหรับ monoprotic analytes ส่วนใหญ่ มีค่าน้อยกว่า 1% สำหรับค่า migration time และ 1-4% สำหรับค่า peak area (n=6) ขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ของสารที่สนใจส่วนใหญ่ประมาณ 2.0×10^{-6} M และได้นำเทคนิคนี้มาวิเคราะห์หาสารที่สนใจดังกล่าวในตัวอย่างเครื่องดื่ม 4 ประเภท คือ sports drink, nutrients-added drink, fruit juice และชา

ในปี ค.ศ. 1997 Ding Chen และ Luo [24] ได้ทำการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ต่างๆ คือ acetic acid, ascorbic acid, succinic acid, malic acid, citric acid และ tartaric acid สารอนินทรีย์ต่างๆ คือ phosphate, chloride และ sulphate ในชาโดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี ใช้ตัวชะผสมระหว่าง 0.75 mmol/L potassium hydrogenphthalate และ 0.25 mmol/L phthalic acid ที่ pH 3.5 ตัวตรวจวัดเป็น conductivity detector พบว่า เป็นเทคนิคที่ง่าย ไม่ต้องมีการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก สามารถแยกสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆได้ดี โดยไม่มีสารอื่นๆรบกวน มีขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0.04 ถึง 0.19 mg/L สำหรับสารอนินทรีย์และ 0.48 ถึง 1.34 mg/L สำหรับสารอินทรีย์ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 45 นาที

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ในปี ค.ศ. 1998 Horie Yamauchi และ Kohata [25] ได้วิเคราะห์หาสารอินทรีย์ต่างๆ คือ oxalic acid, citric acid, malic acid, aspartic acid, glutamic acid และ quinic acid และสารอนินทรีย์ คือ fluoride ในชาชง โดยใช้เทคนิค capillary zone electrophoresis ที่มีตัวตรวจวัดแบบ indirect UV absorption ที่ความยาวคลื่น 254 nm ใช้บัฟเฟอร์เป็น chromate buffer (10 mM) ที่มี 0.5 mM tetradecyltrimethylammonium bromide และ 0.1mM ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) เพื่อลดผลของ metal cations ต่างๆ เช่น calcium, magnesium, aluminum และ manganese ต่อ ค่า migration times และ peak areas ของสารที่สนใจ และในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างได้เติม 0.25 mM EDTA ด้วย พบว่า ความเที่ยงสำหรับ migration time อยู่ในช่วง 0.40 ถึง 0.83% (n=4) และสำหรับ peak area อยู่ในช่วง 0.93 ถึง 3.53% ความแม่นยำสำหรับชาเขียวอยู่ในช่วง 97 ถึง 105% และสำหรับชาดำอยู่ในช่วง 97 ถึง 102% (n=3)

ในปี ค.ศ. 2003 Alcazar และคณะ [26] ได้ทำการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ต่างๆ คือ acetic acid, malic acid, ascorbic acid, citric acid และ succinic acid สารอนินทรีย์ต่างๆ คือ chloride และ phosphate ในกาแฟและชาโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี ใช้ตัวชะเป็น 0.6mM aqueous potassium hydrogenphthalate (pH 4.0) แบบ isocratic elution ที่มี 4%(v/v) acetonitrile อยู่ด้วย ที่อุณหภูมิคอลัมน์ 40 ^{0}C ใช้ตัวตรวจวัดเป็น conductivity detection พบว่าใช้เวลาในการวิเคราะห์ 25 นาทีโดยไม่ต้องมีการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก ขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ อยู่ในช่วง 0.6 ถึง 12.6 mg/L

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ในปี ค.ศ. 2006 Michalski [27] ได้วิเคราะห์หาสารอนินทรีย์ต่างๆ คือ fluoride, chloride, nitrate, phosphate และ sulfate ในชาดำและชาสมุนไพรอย่างละ 5 ตัวอย่างในท้องตลาด โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟีที่มีตัวตรวจวัดแบบ suppressed conductivity ใช้ 3.2 mM Na_2CO_3 และ 1.0 mM $NaHCO_3$ เป็นตัวชะ ทำการแยกแบบ isocratic elution พบว่า มีขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0.14 ถึง 0.98 mg/L ความแม่นยำอยู่ในช่วง 91 ถึง 105 % โดยไม่ต้องมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก

ในปี ค.ศ. 2008 Kumar Narayan และ Hassarajani [28] ได้วิเคราะห์หาแอนไอออนต่างๆ คือ fluoride, chloride, bromide, iodide, nitrate, phosphate และ sulphate ในชาชง (ชาดำและ kombucha tea) โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี ใช้ Metrosep anion dual 2 เป็น analytical column ต่อกับ Metrosep RP เป็น guard column ใช้ตัวชะเป็น 1.3 mM Na_2CO_3 และ 2 mM $NaHCO_3$ โดยมีขั้นตอน sample clean-up เพื่อขจัดสารอินทรีย์อื่นๆ ออกก่อนโดยใช้ On Guard-P กับ On Guard-RP cartidge พบว่า มีขีดจำกัดต่ำสุดมีสามารถวิเคราะห์ได้ อยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.05 μg/mL ความเที่ยง อยู่ในช่วง 4 ถึง 6 %RSD และความแม่นยำอยู่ในช่วง 95 ถึง 106 %

การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และแฮมนั้น โดยส่วนใหญ่จะเป็นการวิเคราะห์หา nitrite และ nitrate โดยเทคนิคต่างๆ ดังต่อไปนี้

ในปี ค.ศ. 1995 Marshall และ Trenerry [29] ใช้เทคนิค capillary ion electrophoresis (CIE) วิเคราะห์หา nitrite และ nitrate ในอาหารหลายชนิด คือ ชีส ซุปกะหล่ำปลี น้ำผลไม้ น้ำ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ใช้ fused silica capillary column ขนาด 75cm×75μm กับ OFM Anion-BT/sodium chloride electrolyte ใช้ operating voltage เท่ากับ -20 kV ที่อุณหภูมิ 28 ^{0}C และใช้ตัวตรวจวัด UV absorption ที่ความยาวคลื่น 210 nm พบว่า ตรวจพบ nitrate ในบางผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ให้ความแม่นยำที่ดี (มีค่า %recoveries อยู่ที่ 91 ถึง 99 %) สำหรับ nitrite และ nitrate เมื่อใช้ thiocyanate เป็น internal standard

ในปี ค.ศ. 1998 Siu และ Henshall [30] ได้วิเคราะห์หา nitrate และ nitrite ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ คือ แฮม และ salami โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟีที่มี UV absorbance เป็นตัวตรวจวัด พบว่า การใช้ตัวตรวจวัดเป็น UV absorbance สามารถจำเพาะกับ nitrate และ nitrite ขจัดตัวรบกวนจากไอออนอื่นๆที่มีอยู่สูงกว่าได้ ให้ความแม่นยำสูงกว่า 90 % recoveries ช่วงความเป็นเส้นตรง อยู่ในช่วง 300 μg/kg ถึง 3.00 g/kg สำหรับ nitrite และ 500 μg/kg ถึง 3.75 g/kg สำหรับ nitrate (มีค่า r^2>0.999) และขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้สำหรับ nitrate และ nitrite เท่ากับ 50 μg/L และ 30 μg/L ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ในปี ค.ศ. 2008 Ferreira และ Silva [31] ได้วิเคราะห์หา nitrite และ nitrate ที่เหลือในแฮมโดยใช้เทคนิค reverse-phase high performance liquid chromatography (RP-HPLC) ที่มี diode array เป็นตัวตรวจวัด ใช้คอลัมน์ HyPurity C18 และตัวชะเป็น 0.01M *n*-octylamine และ 5mM tetrabutylammonium hydrogenosulphate ที่ pH 6.5 ทำ gradient elution พบว่า ให้ช่วงความเป็นเส้นตรง ในช่วง 0.0125 ถึง 10.0 mg/L สำหรับ nitrite และ 0.0300 ถึง 12.5 g/L สำหรับ nitrate มีขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้เท่ากับ 0.019 และ 0.050 mg/kg ตามลำดับ ความเที่ยง ต่ำกว่า 2.89% และ 5.47% ตามลำดับ ความแม่นยำ อยู่ในช่วง 93.6% ถึง 104.3% และได้เทียบผลที่ได้กับ reference methods ISO 3091-1975 สำหรับการวิเคราะห์หา nitrate และ ISO 2919-1976 สำหรับการวิเคราะห์หา nitrite ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 1% significance level นอกจากนี้ยังเทียบผลที่ได้กับ NMKL Collaborative study พบว่า มีความแม่นยำใกล้เคียงกันและมีขีดจำกัดที่สามารถวิเคราะห์ได้สูงกว่าของ Ferreira และ Silva

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆในปลาทูน่ากระป๋องนั้น โดยส่วนใหญ่จะเป็นการวิเคราะห์หาโลหะหนัก หรือโลหะมีพิษที่ปนเปื้อนในอาหารด้วยเทคนิคต่างๆ ดังต่อไปนี้

ในปี ค.ศ. 1999 Voegborlo El-Methnani และ Abedin [32] ได้วิเคราะห์หาปริมาณของ mercury ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋องโดยใช้เทคนิค cold vapour atomic absorption spectrophotometry และหาปริมาณของ cadmium และ lead โดยใช้เทคนิค flame atomic absorption spectrophotometry พบว่ามีปริมาณโลหะต่างๆ แสดงในหน่วย μg/g ต่อน้ำหนักเปียกของตัวอย่าง มี mercury อยู่ในช่วง 0.20 ถึง 0.66 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 μg/g มี cadmium อยู่ในช่วง 0.09 ถึง 0.32 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 μg/g และมี lead อยู่ในช่วง 0.18 ถึง 0.40 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 μg/g ซึ่งบ่งชี้ว่าปลาทูน่าในแถบฝั่งทะเล Mediterranean ของประเทศ Libya มีความเข้มข้นของโลหะดังกล่าวต่ำกว่าค่ายอมรับของ FAO/WHO และมีความแม่นยำ อยู่ในช่วง 90 ถึง 110 %

ในปี ค.ศ. 2005 Khansari Ghazi-Khansari และ Abdollahi [33] ได้วิเคราะห์หาปริมาณของ mercury และ arsenic ในปลาทูน่ากระป๋องโดยใช้เทคนิค hydride generation atomic absorption spectrophotometry ขณะที่ cadmium และ lead ทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค graphite tube atomic absorption spectrophotometry และในการวิเคราะห์หาปริมาณของ tin โดยใช้ flame atomic absorption spectrophotometry พบว่า มีปริมาณโลหะต่างๆ แสดงในหน่วย μg/g ต่อน้ำหนักเปียกของตัวอย่าง มี mercury อยู่ในช่วง 0.043 ถึง 0.253 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.117 μg/g มี arsenic อยู่ในช่วง 0.0369 ถึง 0.2618 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.128 μg/g มี cadmium อยู่ในช่วง 0.0046 ถึง 0.0720 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0223 μg/g มี lead อยู่ในช่วง 0.0126 ถึง 0.726 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0366 μg/g และไม่พบ tin ซึ่งบ่งชี้ว่าปลาทูน่าจากอ่าว Persian ของประเทศอิหร่าน มีความเข้มข้นของโลหะดังกล่าวต่ำกว่าค่ายอมรับของ FAO/WHO และมีความแม่นยำ อยู่ในช่วง 91.7 ± 2.89 ถึง 99.3 ± 4.03 %

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆในปลาทูน่ากระป๋องนั้น ยังมีอยู่น้อย โดยส่วนใหญ่จะเป็นการวิเคราะห์หาโลหะหนัก หรือโลหะมีพิษที่ปนเปื้อนในอาหาร ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆในปลาทูน่ากระป๋องโดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

1.5 วิธีการวิเคราะห์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

ไอออนโครมาโตกราฟ เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่อยู่ในรูปของประจุ โดยมีความสามารถในการแยกและวิเคราะห์ประจุบวกและประจุลบ สำหรับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในสารละลาย โดยอาศัยหลักการของ liquid chromatography กล่าวคือ อาศัยกระบวนการ ion exchange ระหว่าง mobile phase และ ion exchange groups ถูกยึดเกาะที่ support material (ในกรณี การแยก anions จะทำด้วย quaternary ammonium groups ติดกับ polymer และ

กรณีการแยก cations จะทำด้วย sulfonate-, carboxyl- หรือ phosphonate groups) องค์ประกอบหลักเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ แสดงดังรูปที่ 19 โดยมีองค์ประกอบ ดังนี้

1. Eluent Reservoir ทำหน้าที่เป็นภาชนะสำหรับใส่ mobile phase มีฝาปิดสนิทไม่ให้มีอากาศเข้าเพื่อป้องกันการเกิดคาร์บอเนตเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ และมีการพ่น nitrogen gas ร่วมด้วย ทั้งเป็นการป้องกันอากาศที่กล่าวแล้วข้างต้นและใช้เป็นแรงขับเคลื่อน mobile phase เข้าสู่ pump หรือในกรณีของการใช้เครื่องผลิตตัวชะร่วมด้วย ดังรูปที่ 18 ภายใน eluent reservoir จะบรรจุน้ำ deionized water (DI water) เมื่อผ่านมายังส่วนของ EG50 เข้าสู่ cation-exchage connector ที่ขั้วลบเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำได้ไฮดรอกไซด์ไอออนและที่ขั้วบวกเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันของน้ำ ภายใน EluGen KOH cartridge จะมีโพแทสเซียมไอออนผ่านมายัง cation-exchanger ผลิต mobile phase ได้เป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยความเข้มข้นของ KOH แปรผันตามกระแสและแปรผกผันกับอัตราการไหล จากนั้นจะผ่านมายังส่วน CR-ATC (Continuously regenerated trap column) ทำหน้าที่กำจัดคาร์บอเนตและแอนไอออนอื่นๆที่ปนเปื้อนมากับน้ำก่อนเข้าสู่ส่วนของ Degaser แล้วจึงได้เป็น KOH ที่มีความบริสุทธิ์สูง พร้อมใช้งาน

2. Pump ทำหน้าที่ ขับเคลื่อน mobile phase มีทั้งแบบ single-piston และ dual-piston pumps โดยแบบ dual-piston pump จะสามารถลดสัญญาณรบกวน (noise) จาก pulse ในระหว่างที่มีการขับเคลื่อนลูกสูบ สามารถปรับค่าความดันและอัตราการไหลได้ เมื่อระบบมีค่าความดันสูงกว่าที่กำหนด pump จะหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับคอลัมน์ได้ มีทั้งแบบที่มีและไม่มีระบบ Degaser ซึ่งทำหน้าที่ในการกำจัดฟองอากาศภายในระบบ

3. Sample Injection ทำหน้าที่ฉีดสารที่จะวิเคราะห์เข้าสู่คอลัมน์ตามปริมาตรที่กำหนด มีทั้งแบบฉีดเอง (manual) และแบบอัตโนมัติ (auto-sampler) ผ่านเข้าสู่ injection valve มีหลายขนาด เช่น แบบ 6 port valves อีกทั้งยังสามารถเลือก sample loop ได้หลายขนาดด้วยกันตามความเหมาะสมตั้งแต่ 5μL ถึง 100 μL

4. Column แบ่งออกเป็น guard column และ analytical column หรือ separator column โดย guard column ทำหน้าที่เป็นส่วนป้องกันสิ่งเจือปนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่หรือสารปนเปื้อนอื่นๆที่อาจทำอันตรายต่อ analytical column ได้ โดยวัสดุที่ใช้ใน guard column จะเป็นชนิดเดียวกันกับใน analytical column แต่ต่างกันที่ particle size ส่วน analytical column ทำหน้าที่ในการแยกไอออนต่างๆ ออกจากกันตาม valence ของไอออน, รัศมีของ hydrated ions, polarization ของไอออนและขนาดของไอออน โดย retention time ของไอออนจะเพิ่มขึ้นเมื่อ ionic charge เพิ่มขึ้น, รัศมีของ hydrated ions ลดลง, ไอออนที่ถูก polarized ได้ง่ายและไอออนที่มีขนาดใหญ่

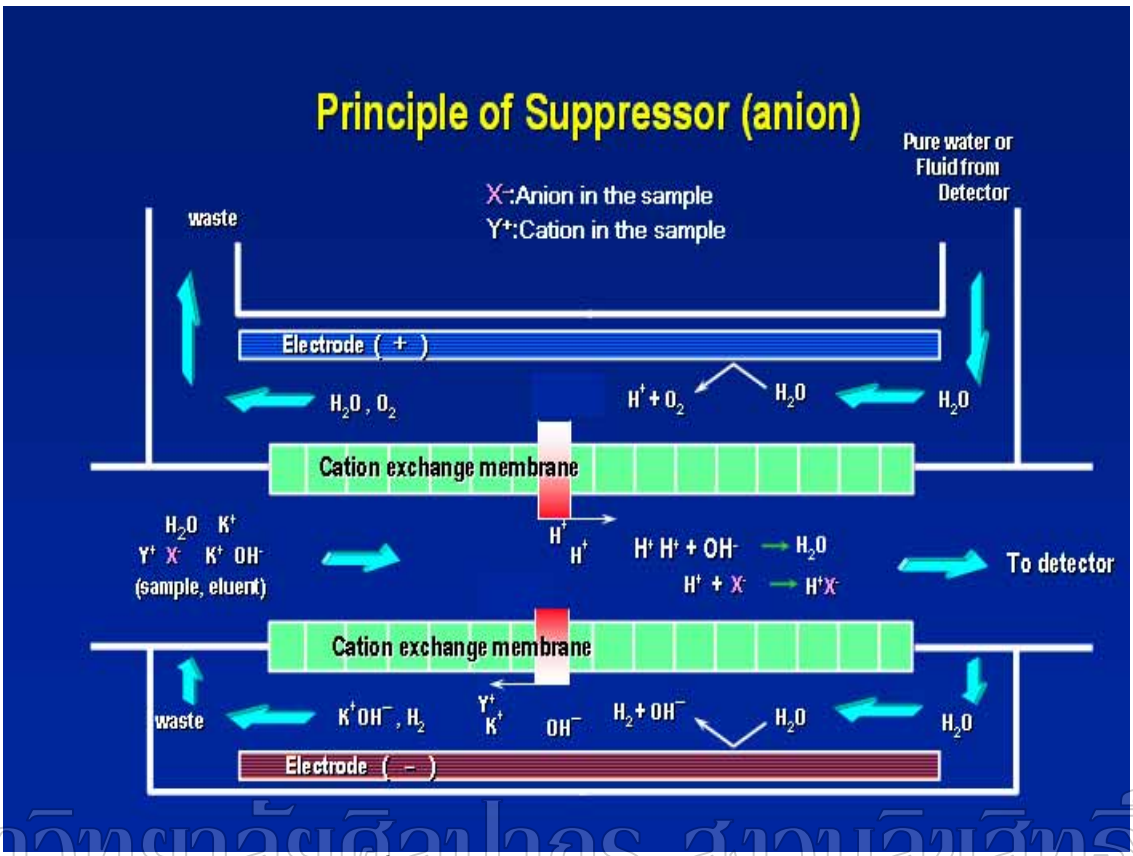
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

5. Suppressor (ดังรูปที่ 17) ทำหน้าที่ลดค่าการนำไฟฟ้าของ mobile phase โดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่นำไฟฟ้าได้น้อยมากหรือไม่นำไฟฟ้า เช่น กรณีใช้ KOH เป็น mobile phase ไฮดรอกไซด์ไอออนจะจับกับโปรตอนได้เป็นน้ำ จึงเท่ากับว่าเป็นการเพิ่ม sensitivity ให้กับสารที่สนใจที่มีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากๆได้ ส่วนไอออนบวกอื่นๆ อย่างเช่น โพแทสเซียมไอออนจะถูกกำจัดออกจากระบบก่อนเข้าสู่ตัวตรวจวัด

6. Detector ทำหน้าที่เป็น ส่วนตรวจวัดสัญญาณและทำการเปลี่ยนสัญญาณจากรูป analog ไปเป็น digital เพื่อส่งไปยังส่วนบันทึกและประมวลผลต่อไป มีอยู่หลายชนิด เช่น conductivity detectors, UV/Vis, amperometric และ fluorescence detectors เป็นต้น

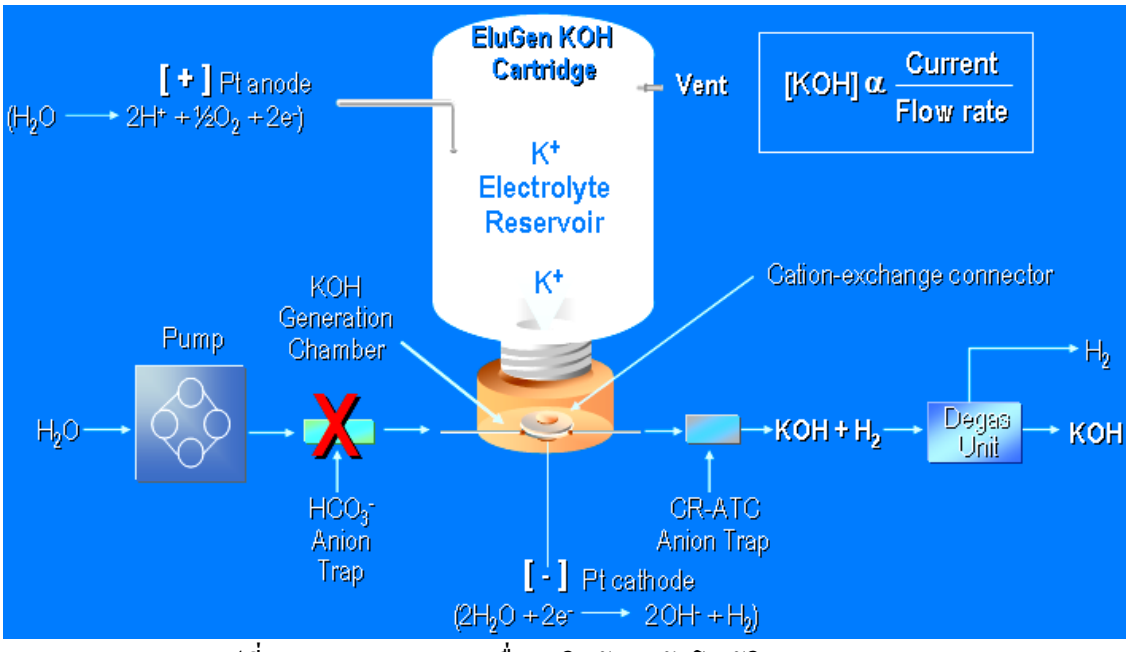
จากรูปที่ 19 ระบบจะมีลักษณะการทำงาน คือ เริ่มต้น pump จะทำหน้าที่ขับเคลื่อน mobile phase เมื่อฉีดสารละลายตัวอย่าง (loading) ผ่านทาง loop injector ตามปริมาตรของ sample loop ที่กำหนด (กรณี fixed loop) ที่ atmospheric pressure จากนั้นเมื่อทำการ switch injection valve จากตำแหน่ง load ไปสู่ตำแหน่ง inject ตัวอย่างจะส่งผ่านไปยัง guard column และ analytical column โดย mobile phase ซึ่งภายใน analytical column จะเป็นบริเวณที่เกิดการแยกขึ้น โดยเลือก stationary phase และสภาวะที่เหมาะสม จากนั้นจึงผ่านเข้าสู่ส่วนของ suppressor ทำหน้าที่ลดค่าการนำไฟฟ้าของ eluent แล้วจึงผ่านเข้าสู่ detector เพื่อทำการวัดสัญญาณ สุดท้ายเป็นส่วนของ recorder และ ส่วนประมวลผล (digital integrators)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

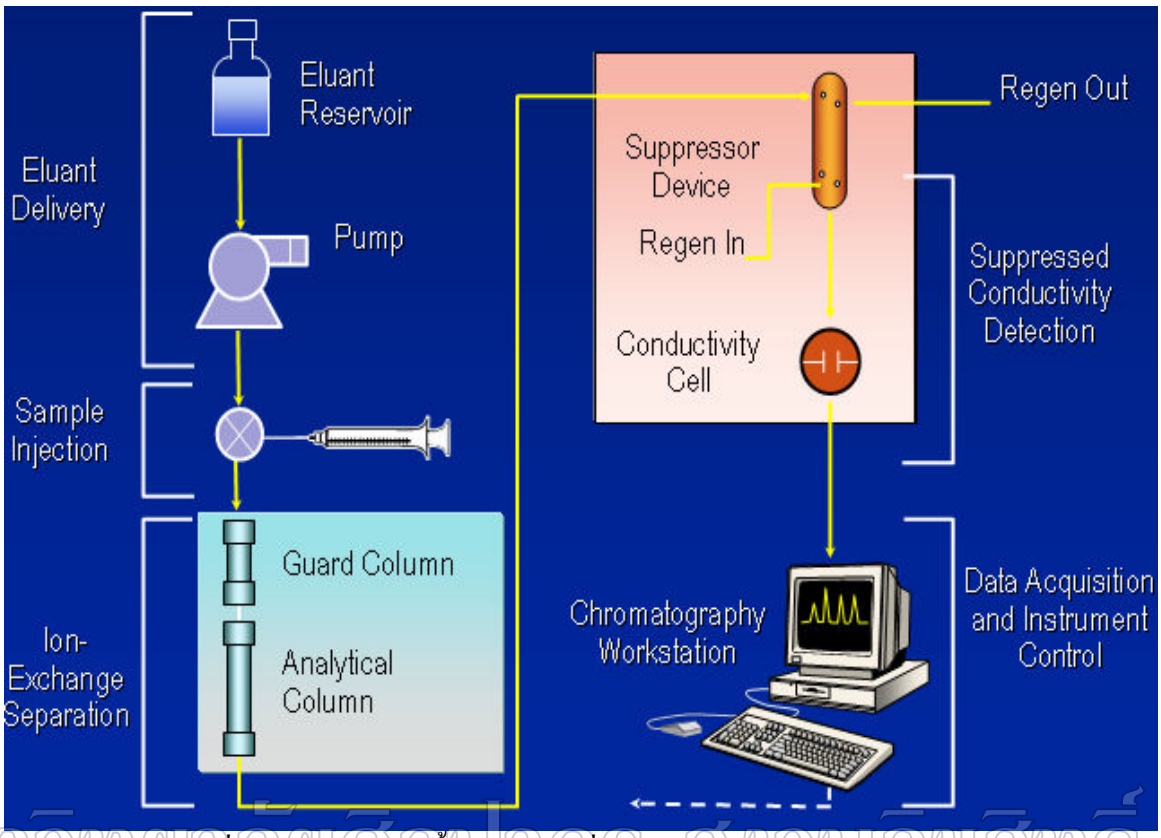


มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 17 การทำงานของsuppressor [34]



รูปที่ 18 การทำงานของเครื่องผลิตตัวชะอัตโนมัติ (EG50) [34]



รูปที่ 19 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ [34]

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

1.6 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.ศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิต คือ ใบชาแห้ง ชาพร้อมดื่ม แฮม และปลาทูน่ากระป๋อง

2.ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ของสารมาตรฐานผสมโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

3.วิเคราะห์หาปริมาณของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆ ในตัวอย่างอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิต โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

1.7 ประโยชน์ของงานวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

1.สามารถนำสภาวะในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี วิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆในอาหารชนิดต่างๆ เพื่อควบคุมคุณภาพปริมาณของวัตถุเจือปนที่มีอยู่ในตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆได้

2.รวบรวมข้อมูลจาก profile ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ นำมาทำ characterization ของตัวอย่างอาหารชนิดนั้นๆในแต่ละแห่งได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 2
สารเคมี และเครื่องมือ

2.1 เครื่องมือ / อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 Dionex ICS-1000 และโปรแกรม Dionex CM Dongle Chromeleon 680 SP1 build 2238

2.1.2 Dionex reagent-free controller RFC-30

2.1.3 Dionex IonPac AG 18 Guard column (4×50 mm) และ Dionex IonPac AS18 Analytical column (4×250 mm)

2.1.4 Dionex ASRS ULTRA II 4mm Self-Regenerating Suppressor

2.1.5 Refrigerated centrifuge IEC Multi-RF R404-A (Thermo IEC)

2.1.6 Vortex-Genie2 mixer G-560E (Scientific Industries, Inc.)

2.1.7 Homogenizer Ultra-Turrax T25 (Janke & Kunkel Ika-Labortechnik)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

2.1.8 เครื่องปั่น Panasonic MX-795N

2.1.9 Hot plate M21-1 (Framo-Geratetechnik)

2.1.10 เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง Adventurer AR2140 (Ohaus Corp.)

2.1.11 Nylon Syringe filters ขนาด 13mm, pore size 0.45 μm และขนาด 25mm, pore size 0.2 μm (Verticlean)

2.1.12 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

2.1.13 โกร่งบดยา

2.1.14 เครื่องแก้ว (glasswares)

2.1.15 กระบอกฉีดสารตัวอย่างขนาด 3 mL

2.1.16 แก๊สไนโตรเจนพร้อมถัง และอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน (Nitrogen gas 99.995% Lab grade)

2.2 สารเคมี

ตารางที่ 1 รายชื่อสารเคมี บริษัทผู้ผลิต และเกรดของสารเคมี

สารเคมี	บริษัทผู้ผลิต	เกรด
Acetic acid	B.D.H. Laboratory	Anala R
Ascorbic acid	Fluka	Puriss
Citric acid anhydrous	Fluka	Puriss
Formic acid	Fisher Chemicals	Anala R
Malic acid	Fluka	Purum
Malonic acid	Fluka	Purum
Potassium dihydrogen phosphate	Fluka	Anala R
Sodium benzoate	B.D.H. Laboratory	Anala R
Sodium bromide	Fluka	Anala R
Sodium chloride	Fluka	Anala R
Sodium fluoride	Fluka	Anala R
Sodium nitrate	Fluka	Anala R
Sodium nitrite	Fluka	Anala R
Succinic acid	B.D.H. Laboratory	Anala R
Tartaric acid	Fluka	Puriss

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

2.3 การเตรียมสารละลาย

2.3.1 สารละลายมาตรฐาน เข้มข้น 1000 ppm

1. กรณีที่เป็นของแข็ง ชั่งสารมาตรฐาน 0.1 g ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ละลายด้วย deionized water ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100.00 mL ปรับปริมาตรด้วย deionized water

2. กรณีที่เป็นของเหลว ปิเปตสารมาตรฐาน 100 μL ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 100.00 mL ปรับปริมาตรด้วย deionized water

2.3.2 สารละลายมาตรฐาน เข้มข้น 100 ppm

ปิเปตสารมาตรฐาน เข้มข้น 1000 ppm จากข้อ 2.3.1 มา 10 mL ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 100.00 mL ปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วย deionized water

2.4 ตัวอย่าง

ทำการสุ่มตัวอย่างอาหารในตลาด คือ ชาพร้อมดื่ม จำนวน 7 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 3 ตัวอย่าง ใบชาแห้ง จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 3 ตัวอย่าง แฮม จำนวน 5 ยี่ห้อ และปลาทูน่ากระป๋อง จำนวน 5 ยี่ห้อ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายชื่ออาหารที่ทำการสุ่มตัวอย่างในตลาด

Code Name	ชื่อผลิตภัณฑ์/บริษัทผู้ผลิต/วัน/เดือน/ปีที่ผลิต/ส่วนประกอบที่สำคัญ
ชาพร้อมดื่ม	
Tea A	ตัวอย่างชาพร้อมดื่ม Oishi Green Tea/ บ.โออิชิ เทรดดิ้ง จำกัด/ ผลิตเมื่อ 29/10/07 / น้ำชาเขียว 99% และคาเทชิน 0.15%
Tea B	ตัวอย่างชาพร้อมดื่ม Fuji Cha Natural (Green Tea Formula2)/ บมจ.มาลีสามพราน/ ผลิตเมื่อ 7/3/08 /น้ำชาเขียว 99.9% และวิตามินซี 0.1%
Tea C	ตัวอย่างชาพร้อมดื่ม Pokka Green Tea Jasmine/ พอคคา คอร์เปอร์เรชั่น(สิงค์โปร์) ลิมิเต็ด/ ผลิตเมื่อ 26/6/07 และ 1/1/08/น้ำ 74.18% ชาเขียวสกัด 21.60% และน้ำตาล 4%
Tea D	ตัวอย่างชาพร้อมดื่ม Pokka Japanese Green Tea with Catechins/ พอคคา คอร์เปอร์เรชั่น(สิงค์โปร์) ลิมิเต็ด/ ผลิตเมื่อ 20/10/07 และ 20/11/08 / ชาเขียว 99.9% และคาเทชิน 0.05%
Tea E	ตัวอย่างชาพร้อมดื่ม Zummer Oolong Tea/ บมจ.ฟู้ดแอนด์ดริ้งส์/ ผลิตเมื่อ 2/11/07 / น้ำชา(จากใบชา 1%) 100%
Tea F	ตัวอย่างชาพร้อมดื่ม Zenya Green Tea with Super Lemon/ บมจ.ฟู้ดแอนด์ดริ้งส์/ ผลิตเมื่อ 27/12/07 และ 29/1/08 /น้ำชาเขียว 90.20% น้ำตาล 9% มะนาวผง 0.3% และวิตามินซี 0.03%
Tea G	ตัวอย่างชาพร้อมดื่ม Oishi Black Tea Lemon/ บ.โออิชิ เทรดดิ้ง จำกัด/ ผลิตเมื่อ 12/4/08 /น้ำชาดำ 35% น้ำชาเขียว 20% น้ำตาล 7.5% น้ำตาลฟรุกโตส 5% และน้ำมะนาวจากน้ำมะนาวเข้มข้น 0.01%
ใบชาแห้ง	
Tea H	ตัวอย่างชา ICON Oolong Green Tea (No.12)/ นำชัยชาจีน/ ผลิตเมื่อ 7/07 และ 8/07 / ยอดใบชา 100%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 2 รายชื่ออาหารที่ทำการสุ่มตัวอย่างในตลาด (ต่อ)

Code Name	ชื่อผลิตภัณฑ์/บริษัทผู้ผลิต/วัน/เดือน/ปีที่ผลิต/ส่วนประกอบที่สำคัญ
Tea I	ตัวอย่างชา Oolong Tea 303 ตรานกยูง/ ไชน่าเนชั่นแนล เนทิฟโปรยูซ แอนด์ แอนนิมอลบายโปรดัทซ์ อิมปอร์ต แอนด์ เอกซ์ปอร์ต คอร์โปเรชั่น/ ผลิตเมื่อ 1/3/08 /ใบชา 100%
Tea J	ตัวอย่างชา Black Tea Leng Hong 1949/ บ.ไชน่า อิมเม็กซ์ จำกัด/ ผลิตเมื่อ 1/4/08 / ใบชาดำ 100%
Tea K	ตัวอย่างชา Lipton (Yellow Label Tea)/ PT Unilever Indonesia/ ผลิตเมื่อ 6/11/07 / ใบชา 100%
Tea L	ตัวอย่างชา Three Horses Tea (No.3) บ.ใบชาสามม้า จำกัด/ ผลิตเมื่อ9/06 /ใบชา 100%
แฮม	
Ham A	ตัวอย่างแฮม Toast Ham TGM/ บ.ไทยเยอรมันมีทโปรดักส์ จำกัด/ ผลิตเมื่อ 3/7/08 / เนื้อหมู 80% น้ำ 15% และเครื่องปรุงรส 5%
Ham B	ตัวอย่างแฮม Sandwich Ham/ บ.บางกอกแฮม โปรดักส์ ซัพพลาย จำกัด/ ผลิตเมื่อ 23/6/08 /เนื้อหมู, เกลือ, น้ำตาล และเครื่องเทศ
Ham C	ตัวอย่างแฮม Sandwich Ham (Home Fresh Mart)/ บ.ไทยเยอรมันมีทโปรดักส์ จำกัด/ ผลิตเมื่อ 8/7/08 /เนื้อหมู, เกลือ, น้ำตาล และเครื่องเทศ
Ham D	ตัวอย่างแฮม Sausage&Ham/ บ.ซีพีเอฟ ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด/ ผลิตเมื่อ 23/7/08 / เนื้อหมู, เกลือ, น้ำตาล และเครื่องเทศ
Ham E	ตัวอย่างแฮม Cooked Ham/ บมจ.เอส แอนด์ พี ซินดิเคท จำกัด/ ผลิตเมื่อ 4/8/08 /เนื้อหมู, เกลือ, น้ำตาล และเครื่องเทศ
ปลาทูน่ากระป๋อง	
Fish A	ตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง Nautilus Tuna steak in oil/ บ.พัทยาฟู้ด อินดัสตรี จำกัด/ ผลิตเมื่อ 7/08 และ8/08 /น้ำปลาทูน่า 75% น้ำมันพืช 24% และเกลือ 1%
Fish B	ตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง TESCO Tuna Chunks in Brine plus/ บ.พัทยาฟู้ด อินดัสตรี จำกัด/ ผลิตเมื่อ 27/6/08 และ 4/7/08 /น้ำปลาทูน่า 70% น้ำ 29% และเกลือ 1%
Fish C	ตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง TCB Chunk White Tuna in Spring Water/ บมจ.ทรอปิคอล แคนนิ่ง (ประเทศไทย)/ ผลิตเมื่อ 7/7/08 /น้ำปลาทูน่าพันธุ์ทองโกล 75% และน้ำแร่ 25%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 2 รายชื่ออาหารที่ทำการสุ่มตัวอย่างในตลาด (ต่อ)

Code Name	ชื่อผลิตภัณฑ์/บริษัทผู้ผลิต/วัน/เดือน/ปีที่ผลิต/ส่วนประกอบที่สำคัญ
Fish D	ตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง Sealect Tuna Steak in Vegetable Oil with Broth/ บ.ไทยรวมสินพัฒนาอุตสาหกรรม จำกัด/ ผลิตเมื่อ 21/6/08 และ 3/8/08 /น้ำปลาทูน่า 75% น้ำมันถั่วเหลือง 15% น้ำผัก 9% และเกลือ 1%
Fish E	ตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง TESCO Tuna Chunks in Brine/ บ.พัทยาฟู้ด อินดัสตรี จำกัด/ ผลิตเมื่อ 23/10/08 /น้ำปลาทูน่า 70% น้ำ 29% และเกลือ 1%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 3

การทดลองและผลการทดลอง

3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างชาพร้อมดื่ม

กรองผ่าน 0.2 μm nylon membrane filter ลงในบีกเกอร์ ขนาด 5 mL อาจเจือจางสารละลายตามความเหมาะสม

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างใบชาแห้ง

1. บดใบชาให้ละเอียดด้วยโกร่งบดยา เก็บในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท แล้วเก็บในที่มืด

2. ชั่ง 0.5 g ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 mL ใส่ deionized water 80 mL

3. ตั้งบน hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ 90 ถึง 100 ^{0}C เป็นเวลา 30 นาที

4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรองใส่ลงในขวดปริมาตร ขนาด 100.00 mL ปรับปริมาตรด้วย deionized water และกรองด้วย 0.2 μm nylon membrane filter

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างใบชาแห้งนี้ได้ดัดแปลงจากวิธีการเตรียมตัวอย่างของ Ding และคณะ [24]

3.1.3 การเตรียมตัวอย่างแฮม

1. บดแฮมให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นเก็บในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทเก็บไว้ที่อุณหภูมิ4 ^{0}C

2. ชั่ง 10 g ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 mL ใส่ deionized water 100 mL

3. ตั้งบน hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ 75 ^{0}C ทำการ Homogenized ด้วยเครื่อง Homogenizer ที่ความเร็ว 9,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

4. นำไป centrifuge ที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

5. กรองด้วยกระดาษกรองใส่ลงในขวดปริมาตร ขนาด 200.00 mL ทำการสกัดครั้งที่สองกับกากที่เหลือในหลอด centrifuge (ในข้อ 4.) ปรับปริมาตรด้วย deionized water และกรองด้วย 0.45 และ 0.2 μm nylon membrane filter ตามลำดับ

ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแฮมนี้ได้ดัดแปลงจากวิธีการเตรียมตัวอย่างของ Siu และ Henshall [30]

3.1.4 การเตรียมตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง

1. ตักเนื้อปลาทูน่า ทำการบดปลาทูน่าให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น เก็บในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 ^{0}C

2. ชั่ง 10 g ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 mL ใส่ deionized water 100 mL

3. ตั้งบน hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ 75 ^{0}C ทำการ Homogenized ด้วยเครื่อง Homogenizer ที่ความเร็ว 9,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

4. นำไป centrifuge ที่ความเร็ว 7,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

5. กรองด้วยกระดาษกรองใส่ลงในขวดปริมาตร ขนาด 200.00 mL ทำการสกัดครั้งที่สองกับกากที่เหลือในหลอด centrifuge (ในข้อ 4.) ปรับปริมาตรด้วย deionized water และกรองด้วย 0.45 และ 0.2 μm nylon membrane filter ตามลำดับ

3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยเทคนิค ไอออนโครมาโตกราฟฟี

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี โดยเลือกใช้ stationary phase เป็น Dionex IonPac AS18 (มี functional group เป็น Alkanol quaternary ammonium) และใช้ mobile phase เป็น potassium hydroxide ที่ได้จากเครื่องผลิตตัวชะชนิดไฮดรอกไซด์แบบอัตโนมัติ คือ EG50 ควบคุมด้วย Dionex reagent-free controller RFC-30 โดยเตรียมจาก deionized water

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานผสม คือ fluoride, acetic acid, formic acid, chloride, bromide, nitrite, nitrate, succinic acid, malic acid, tartaric acid, ascorbic acid, benzoate, phosphate และ citric acid จาก stock เข้มข้น 1000 ppm ลงในขวดปริมาตร

2. ทำการฉีดสารละลายมาตรฐานผสมเข้าเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ

3. หาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกทั้งแบบ isocratic และ gradient mode

ผลการทดลอง

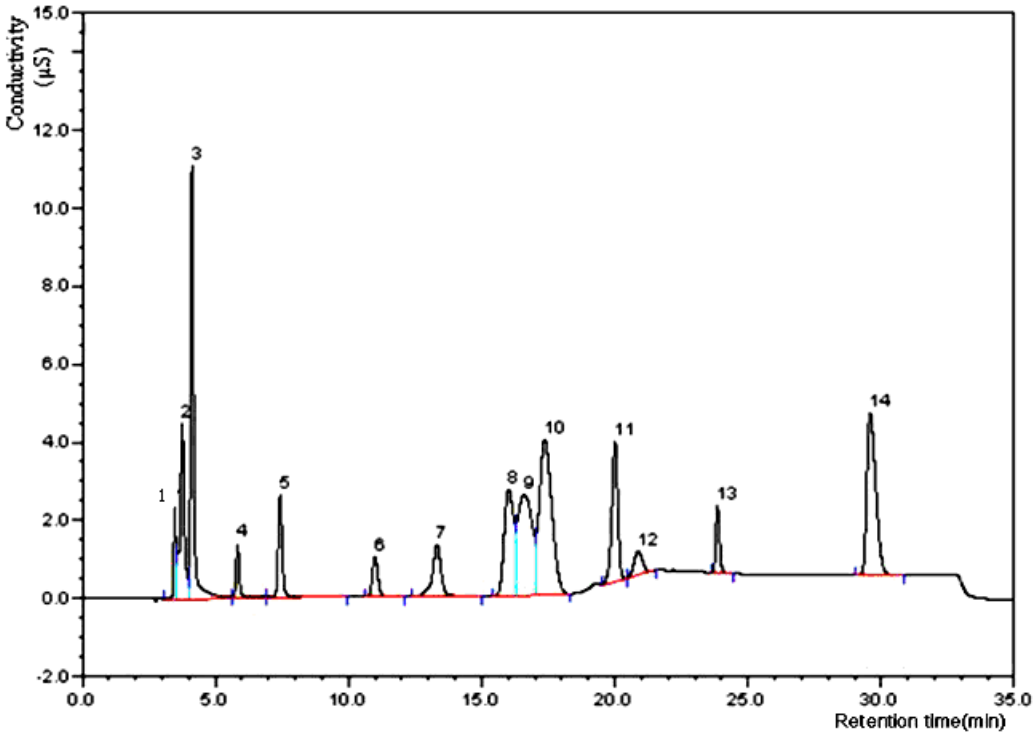
สภาวะที่เหมาะสมในการแยก คือ สภาวะ gradient ของ KOH เข้มข้น 15 mM ที่เวลา 1 ถึง 15 นาทีและเพิ่มความเข้มข้นเป็น 40 mM ที่เวลา 15 ถึง 35 นาที (ตารางที่ 4) จะเห็นได้ว่าใช้เวลาในการวิเคราะห์ไม่นาน มีค่า Capacity factor (k’) = 0.3-9.8 สภาวะที่ได้สามารถใช้แยกสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ได้ดี ยกเว้นในกลุ่ม dicarboxylic acids ได้แก่ succinic acid, malic

acid และ tartaric acid มีค่า Resolution (R_s) = 0.4-0.5 ซึ่งถือว่าแยกออกจากกันไม่ดี สารประเภทแอนไอออนอนินทรีย์ ปรากฏให้เห็นที่ retention time ก่อน 15 นาที ดังตารางที่ 3 ยกเว้น phosphate มี t_R=23.9 นาที ขณะที่กรดอินทรีย์ พบที่เวลาหลังจากนั้น ยกเว้น กรดที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ได้แก่ acetic acid และ formic acid ที่พบก่อน 5 นาที โดยใน peak ที่ 1-3 คือ fluoride, acetic acid และ formic acid มีค่า R_s อยู่ระหว่าง 0.9-1 ซึ่งถือว่าสามารถแยกออกจากกันได้ดีสามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของสารนั้นๆ ได้ Chromatogram ที่ได้แสดงดังรูป 20

ตารางที่ 3 ค่า Retention time และ Capacity factor ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในสารละลายมาตรฐานผสม

Compound	Retention time (t_R) (min)	Capacity factor (k')
Fluoride	3.5	0.3
Acetic acid	3.8	0.4
Formic acid	4.2	0.6
Chloride	5.8	1.1
Bromide	7.5	1.8
Nitrite	11.2	3.1
Nitrate	13.3	3.9
Succinic acid	15.9	4.9
Malic acid	16.8	5.2
Tartaric acid	17.6	5.5
Ascorbic acid	19.9	6.4
Benzoate	20.9	6.7
Phosphate	23.9	7.8
Citric acid	29.3	9.8

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 20 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในสารละลายมาตรฐานผสม

Peaks: 1=fluoride 0.1 ppm; 2=acetic acid 1 ppm; 3=formic acid 1.2 ppm; 4=chloride 0.2 ppm; 5=bromide 0.5 ppm; 6=nitrite 0.5 ppm; 7=nitrate 0.5 ppm; 8=succinic acid 12 ppm; 9=malic acid 17 ppm; 10=tartaric acid 12 ppm; 11=ascorbic acid 12 ppm; 12=benzoate 1 ppm; 13=phosphate 0.7 ppm; 14=citric acid 13 ppm

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 4 สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

Column	Dionex Ionpac AG18 guard column (50 × 4 mm i.d.)
	Dionex Ionpac AS 18 Analytical column (250 × 4 mm i.d.)
Mobile phase	KOH eluent generator (RFIC EluGen Cartridge EGC II KOH)
Gradient mode	15 mM KOH (1 to 15 min) ramp to 40 mM KOH (15 to 35 min)
Flow rate	1.00 mL/min
Column backpressure	< 1400 psi
Column temperature	30 °C
Injection volume	25 µL
Detection	Suppressed conductivity
Cell temperature	35 °C

3.3 การศึกษา Detection limit ในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

ทำการศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่สนใจโดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

วิธีการทดลอง

1. ทำการตั้งสภาวะดังในตารางที่ 4 จากนั้นฉีด reagent blank เข้าเครื่องไอออนโคร-มาโตกราฟ

2. วิเคราะห์ซ้ำ 10 ครั้ง (n=10) บันทึกสัญญาณของ reagent blank ที่อ่านได้

3. คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และคำนวณค่า Limit of detection (LOD) ค่า Limit of quantitation (LOQ) จากสูตร [35]

$$LOD = 3 \times S.D.$$

$$LOQ = 10 \times S.D.$$

4. ค่าที่ได้จะเป็นค่า Instrumental detection limit (IDL) นำค่าที่ได้ แทนค่าลงในสมการเส้นตรงจาก calibration curve ของสารนั้นที่ช่วงความเข้มข้นต่ำๆ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ผลการทดลอง

ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่า Detection limit, LOQ, working ranges และ correlation coefficient (r^2) ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆ

Compound	Detection limit (mg/L)	LOQ (mg/L)	working ranges (mg/L)	r^2
Fluoride	0.14	0.39	1-80	0.9997
Acetic acid	3.06	4.12	10-800	0.9993
Formic acid	0.24	0.52	1-48	0.9990
Chloride	0.23	0.74	1-802	0.9998
Bromide	0.56	1.19	1-33	0.9993
Nitrite	0.26	0.76	1-28	0.9992
Nitrate	0.89	1.34	1-30	0.9993
Succinic acid	0.24	0.88	0.6-20	0.9990
Malic acid	0.09	0.64	2-20	0.9992
Tartaric acid	0.43	1.06	2-20	0.9992
Ascorbic acid	0.31	1.22	2-260	0.9997
Benzoate	1.38	2.71	2-20	0.9991
Phosphate	1.21	2.03	2-603	1.0000
Citric acid	0.29	1.09	2-1826	0.9997

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3.4 การศึกษา Accuracy ในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี จากการทำ Spiked recovery

ทำการศึกษาความถูกต้องของข้อมูลจากการ spiked สารละลายมาตรฐานต่างๆ ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนลงในตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ แสดงในรูปของการหาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน (%recovery) ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของวิธีที่มีต่อสารที่สนใจในตัวอย่าง

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานผสมของสารที่สนใจแต่ละชนิด ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

2. นำสารละลายมาตรฐานผสมเติมลงในตัวอย่าง (spiked sample) แล้วทำการเตรียมตัวอย่างในหัวข้อ 3.1 ตามประเภทของตัวอย่างอาหารแต่ละชนิด ทำการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ และอีกตัวอย่างไม่ต้องเติมสารละลายมาตรฐานผสม (unspiked sample)

3. คำนวณค่า %recovery จากสูตร [35]

$$\%recovery = (C1-C2) / C3 \times 100$$

C1 = ความเข้มข้นของสารที่สนใจใน spiked sample

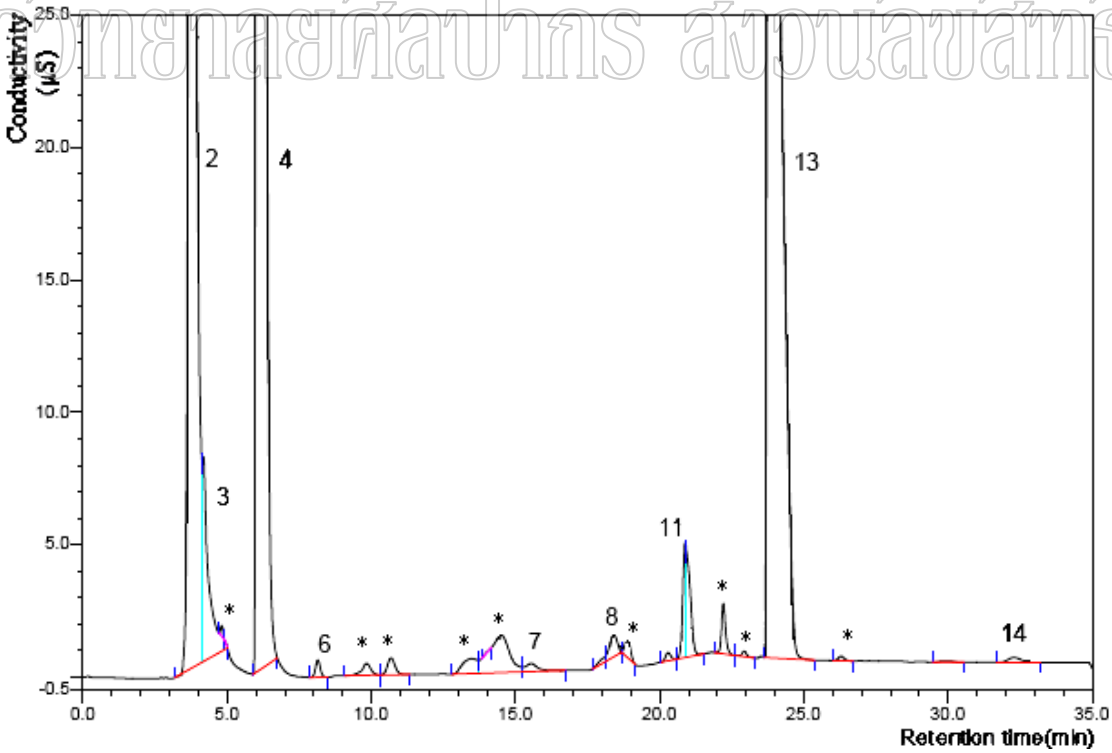
C2 = ความเข้มข้นของสารที่สนใจในตัวอย่าง (unspiked sapmle)

C3 = ความเข้มข้นของสารที่สนใจที่เติมในตัวอย่าง

ผลการทดลอง

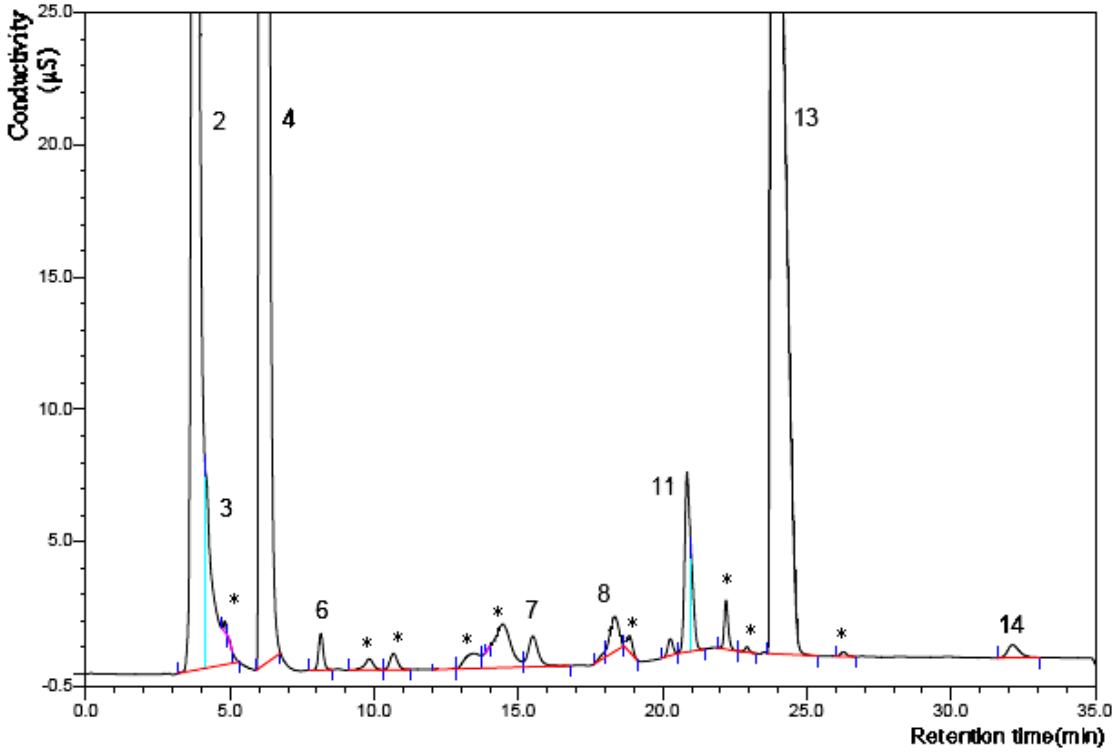
ดังรูปที่ 21 และ 22 เป็นตัวอย่างการหา %recovery ในตัวอย่าง HamE ที่มีทั้งไม่มีการเติมสารละลายมาตรฐานผสม (unspiked) และมีการเติมสารละลายมาตรฐานผสม (spiked) ตามลำดับ จากรูปที่ 21 และ 22 จะเห็นว่า peak ของ nitrite, nitrate, succinic acid, ascorbic acid และ citric acid มี peak area ที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเติมสารละลายมาตรฐานเหล่านี้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 21 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamE (unspiked)

(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 22 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamE (spiked)

(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

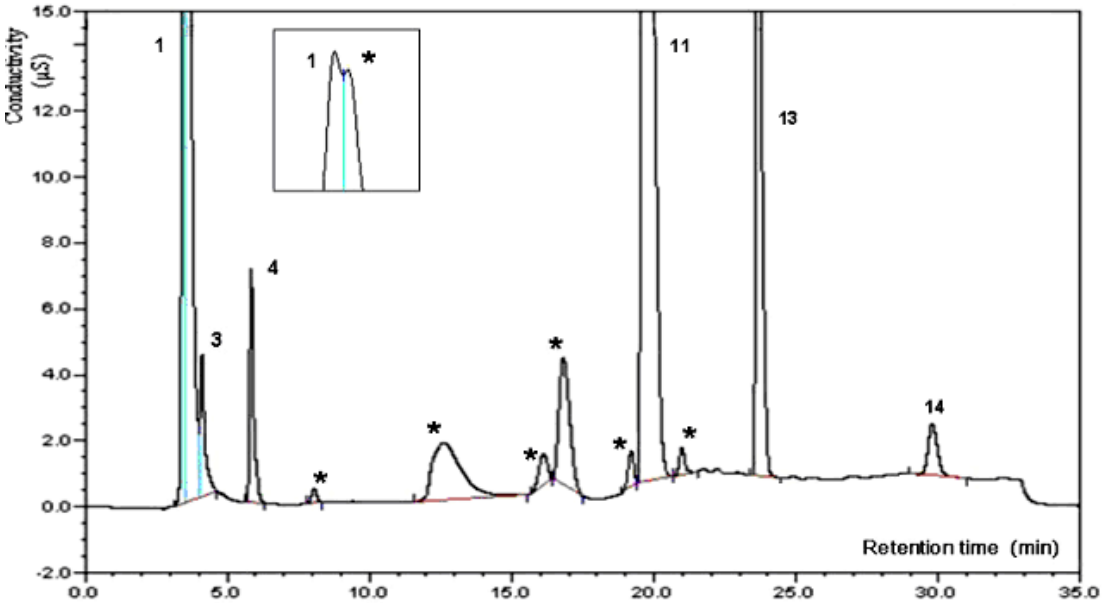
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3.5 การหาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในชา โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

หาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในชาโดยใช้วิธีเทียบปริมาณกับสารละลายมาตรฐานจาก Calibration curve ดังนี้

3.5.1 ชาพร้อมดื่ม

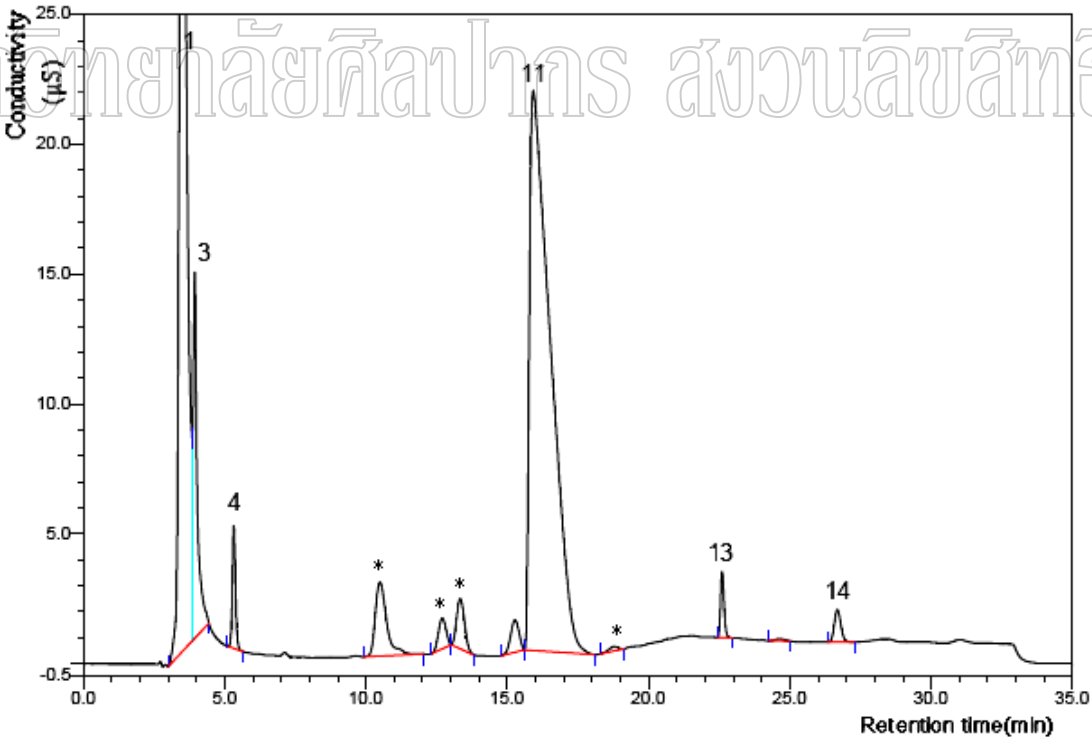
ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaA ถึง TeaG ได้ผลดัง chromatogram (รูปที่ 23 ถึง 29) ตามลำดับ



รูปที่ 23 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaA

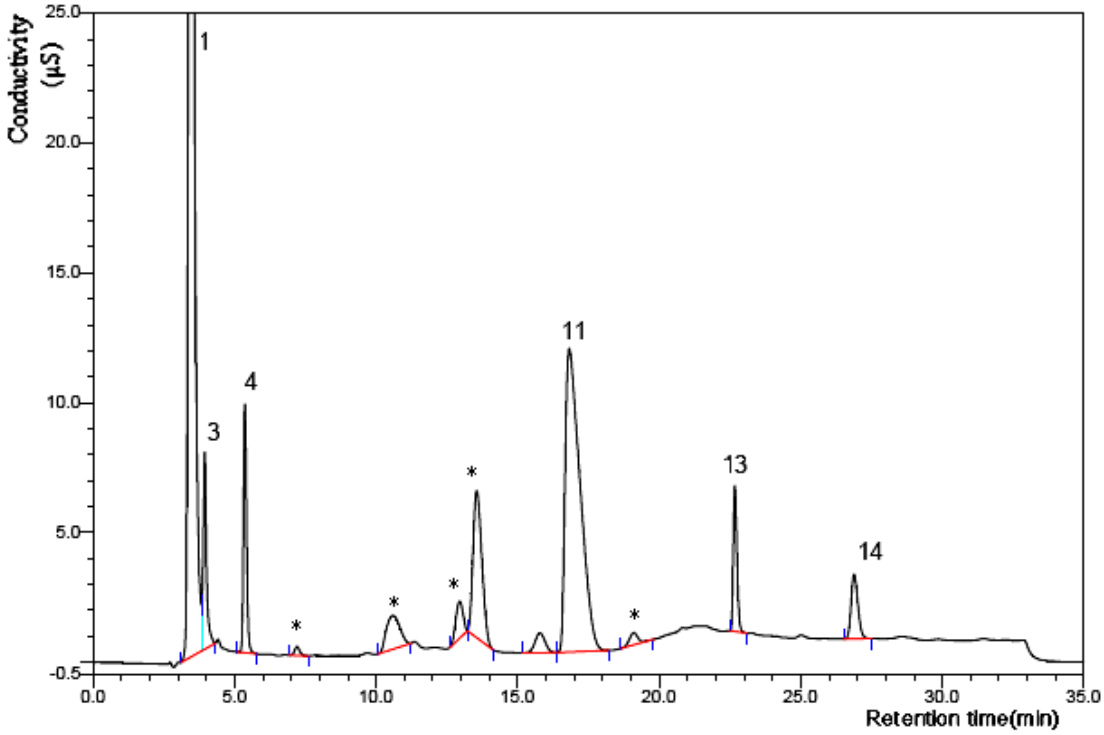
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 24 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaB (dil1:2)

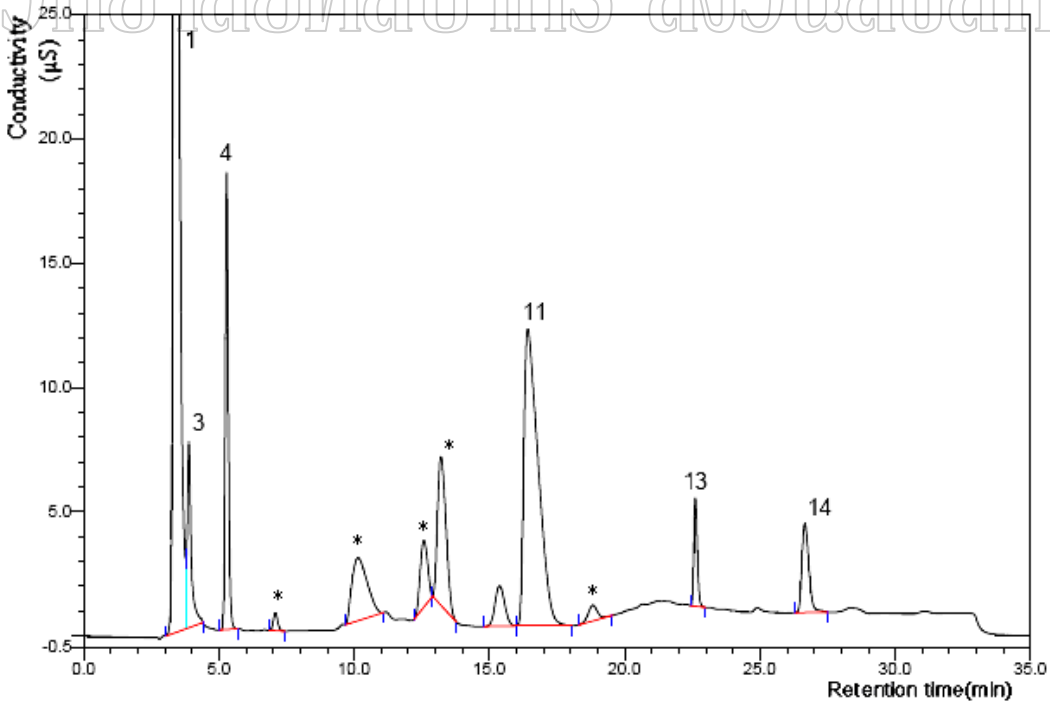
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 25 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaC

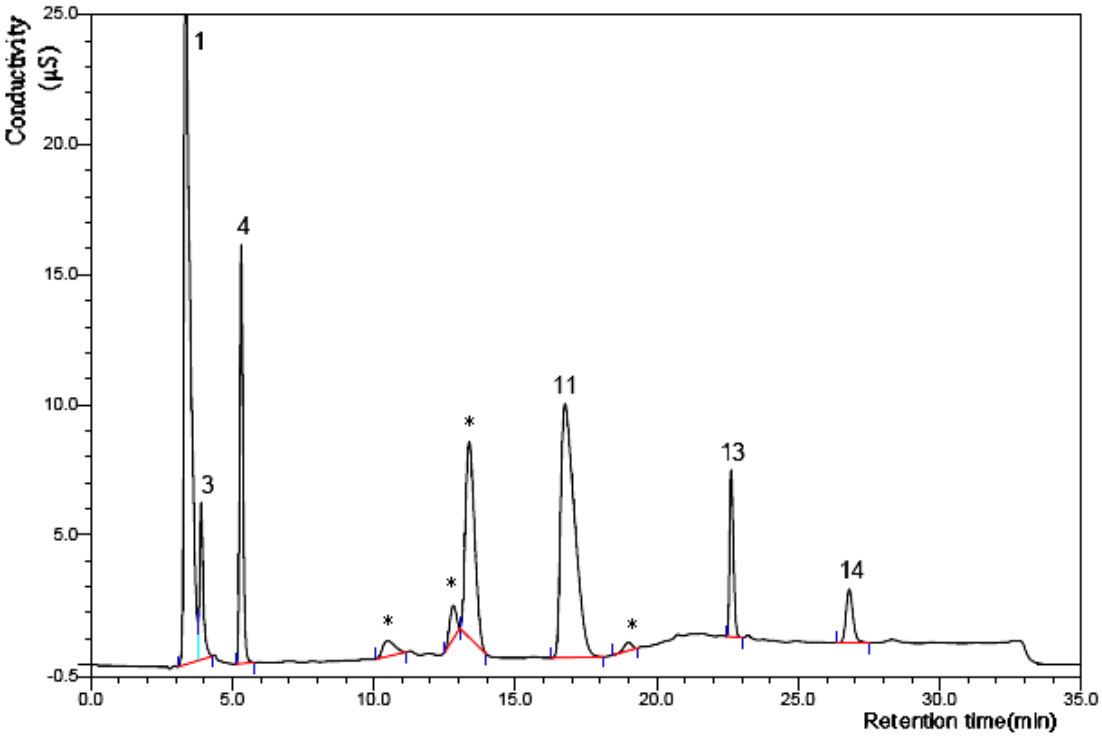
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 26 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaD

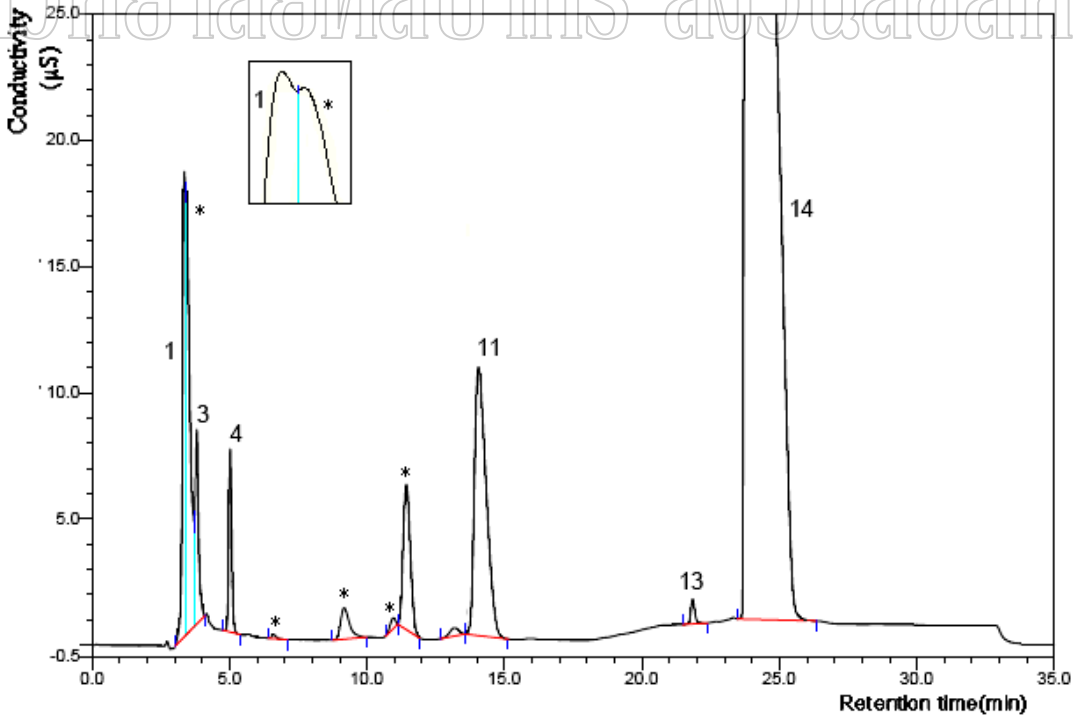
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 27 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaE

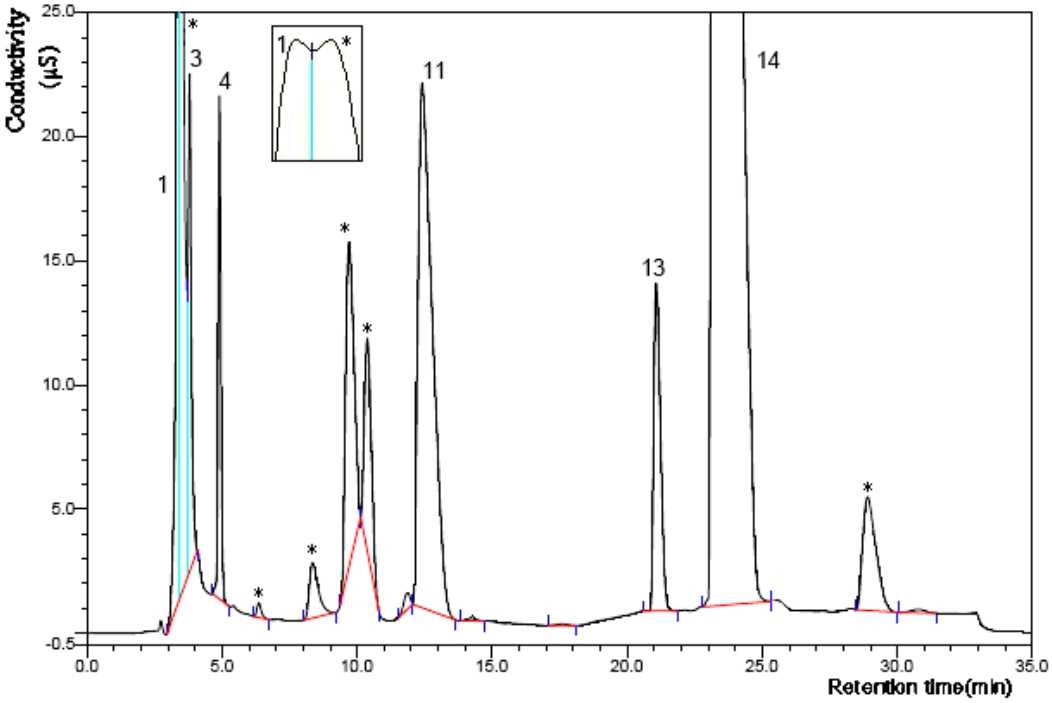
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 28 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaF (dil1:2)

(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



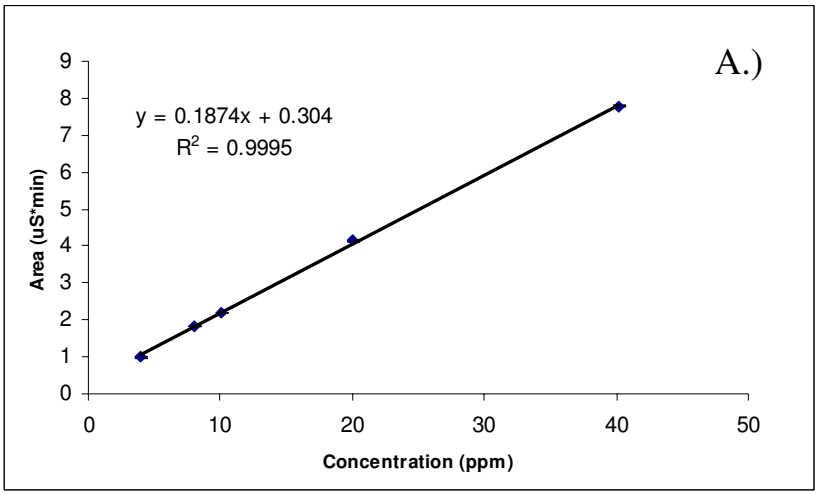
รูปที่ 29 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaG (ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

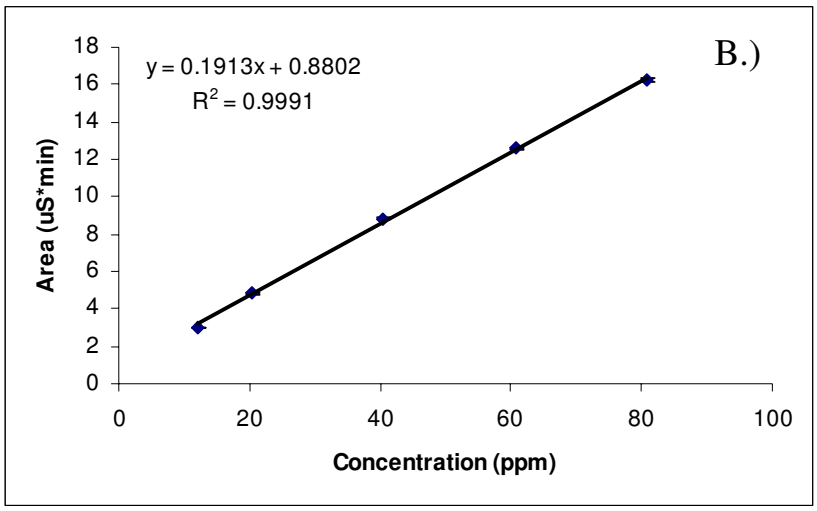
<u>การหาปริมาณ fluoride ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม</u>

จากรูปที่ 23, 28 และ 29 จะเห็นว่ามี peak ที่มีค่า retention time ใกล้เคียงกับ fluoride ดังแสดงภาพขยายส่วนยอดในภาพแทรก

Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน fluoride ในช่วงความเข้มข้น 4-40 ppm (A.) และ 12-80 ppm (B.) แสดงดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน fluoride (A.) ในช่วงความเข้มข้น 4-40 ppm



รูปที่ 30 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน fluoride (B.) ในช่วงความเข้มข้น 12-80 ppm

จาก calibration curve รูปที่ 30 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.1874x + 0.304 มีค่า r^2 = 0.9995 นำไปใช้หาปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaA และรูปที่ 30 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.1913x + 0.8802 มีค่า r^2 = 0.9991 นำไปใช้หาปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaB ถึง TeaG โดยในตัวอย่าง TeaB ได้ diluted ตัวอย่าง 1:2 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 6

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

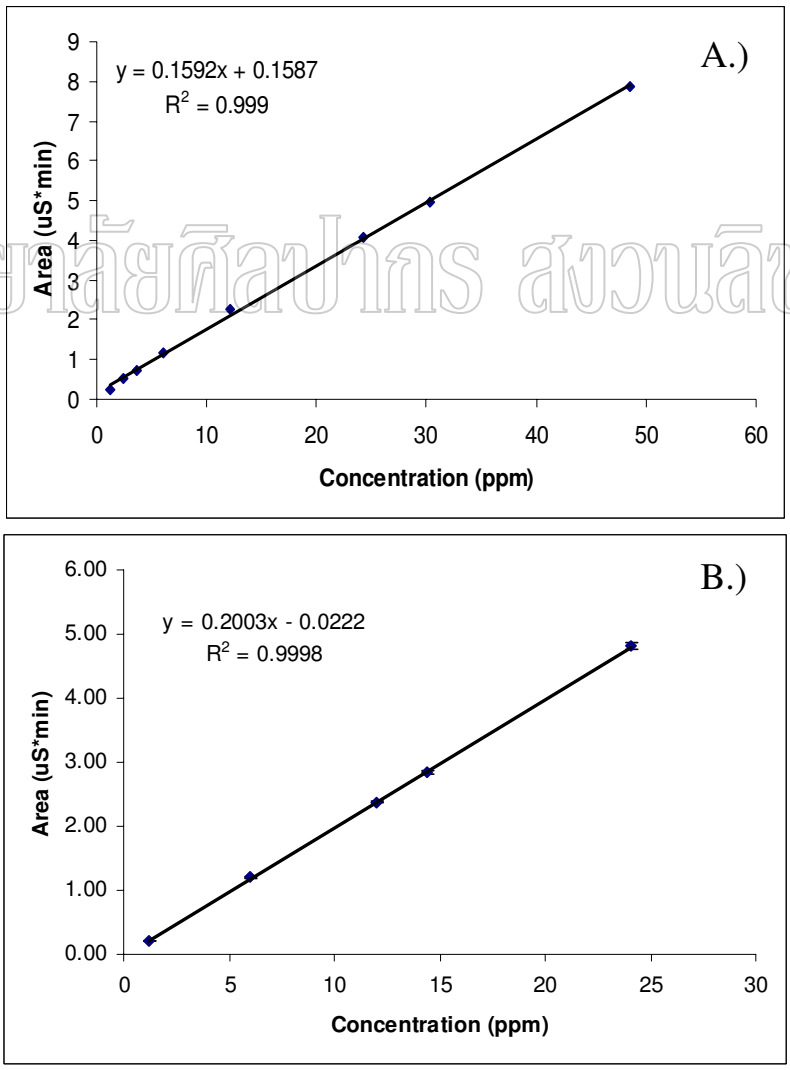
ตารางที่ 6 ปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (mg/L)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaA	3.49	27.81 ± 0.03	0.03	93.7 ± 2.8
TeaB	3.52	106.22 ± 0.02	0.09	98.1 ± 9.4
TeaC	3.49	53.24 ± 0.12	0.07	109.2 ± 5.1
TeaD	3.41	70.65 ± 0.09	0.16	93.2 ± 10.6
TeaE	3.36	33.17 ± 0.06	0.03	97.9 ± 9.0
TeaF	3.35	14.16 ± 0.03	0.17	106.6 ± 9.1
TeaG	3.43	24.38 ± 0.25	0.27	89.8 ± 21.3

จากตารางที่ 6 จะเห็นว่า พบปริมาณของ fluoride มากที่สุดในตัวอย่าง TeaB มีปริมาณ 106.22 mg/L มีค่า retention time ใกล้เคียงกับที่ได้จากสารละลายมาตรฐานผสม เท่ากับ 3.5 นาที (ตารางที่3) จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน fluoride เข้มข้น 2 ppm ในตัวอย่าง TeaB, TeaF และ TeaG และ 4 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 80-120% ซึ่งเป็นช่วงที่ยอมรับได้ในงานวิจัยนี้

<u>การหาปริมาณ formic acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม</u>

Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน formic acid ในช่วงความเข้มข้น 1-48 ppm (A.) และ 1-24 ppm (B.) แสดงดังรูปที่ 31



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 31 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน formic acid (A.) ในช่วงความเข้มข้น 1-48 ppm และ (B.) ในช่วงความเข้มข้น 1-24 ppm

จาก calibration curve รูปที่ 31 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.1592x + 0.1587 มีค่า r^2 = 0.999 นำไปใช้หาปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaA และรูปที่ 31 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.2003x - 0.0222 มีค่า r^2 = 0.9998 นำไปใช้หาปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaB ถึง TeaG ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม (n = 5)

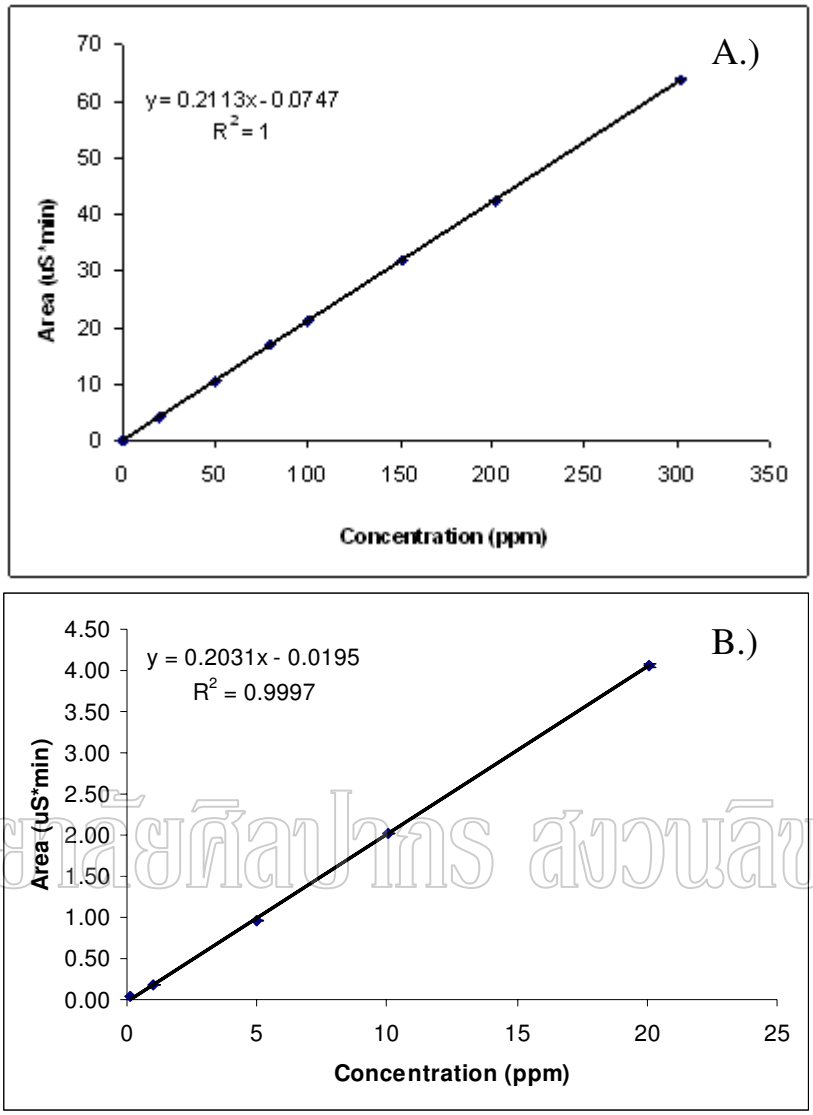
Sample	Retention time (min)	Amount (mg/L)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaA	4.01	1.59 ± 0.01	0.01	101.1 ± 9.2
TeaB	3.94	13.28 ± 0.01	0.06	94.6 ± 8.3
TeaC	3.94	5.34 ± 0.02	0.02	101.2 ± 0.1
TeaD	3.90	6.30 ± 0.03	0.03	97.0 ± 10.6
TeaE	3.90	4.80 ± 0.01	0.02	111.6 ± 7.3
TeaF	3.80	11.70 ± 0.02	0.25	105.3 ± 3.7
TeaG	3.79	14.50 ± 0.06	0.39	96.2 ± 0.5

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 7 จะเห็นว่า พบปริมาณของ formic acid มากที่สุดในตัวอย่าง TeaG มีปริมาณ 14.50 mg/L ค่า retention time ใกล้เคียงกับที่ได้จากสารละลายมาตรฐานผสม เท่ากับ 3.8 นาที (ตารางที่3) จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน formic acid เข้มข้น 2 ppm ในตัวอย่าง TeaC, TeaD และ TeaE และ 4 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

<u>การหาปริมาณ chloride ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม</u>

Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน chloride ในช่วงความเข้มข้น 0.01-300 ppm (A.) และ 0.1-20 ppm (B.) แสดงดังรูปที่ 32



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 32 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน chloride (A.) ในช่วงความเข้มข้น 0.01-300 ppm และ (B.) ในช่วงความเข้มข้น 0.1-20 ppm

จาก calibration curve รูปที่ 32 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.2113x - 0.0747 มีค่า r^2 =1 นำไปใช้หาปริมาณของ chloride ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaA และรูปที่ 32 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.2031x - 0.0195 มีค่า r^2 = 0.9997 นำไปใช้หาปริมาณของ chloride ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaB ถึง TeaG ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณของ chloride ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม (n = 5)

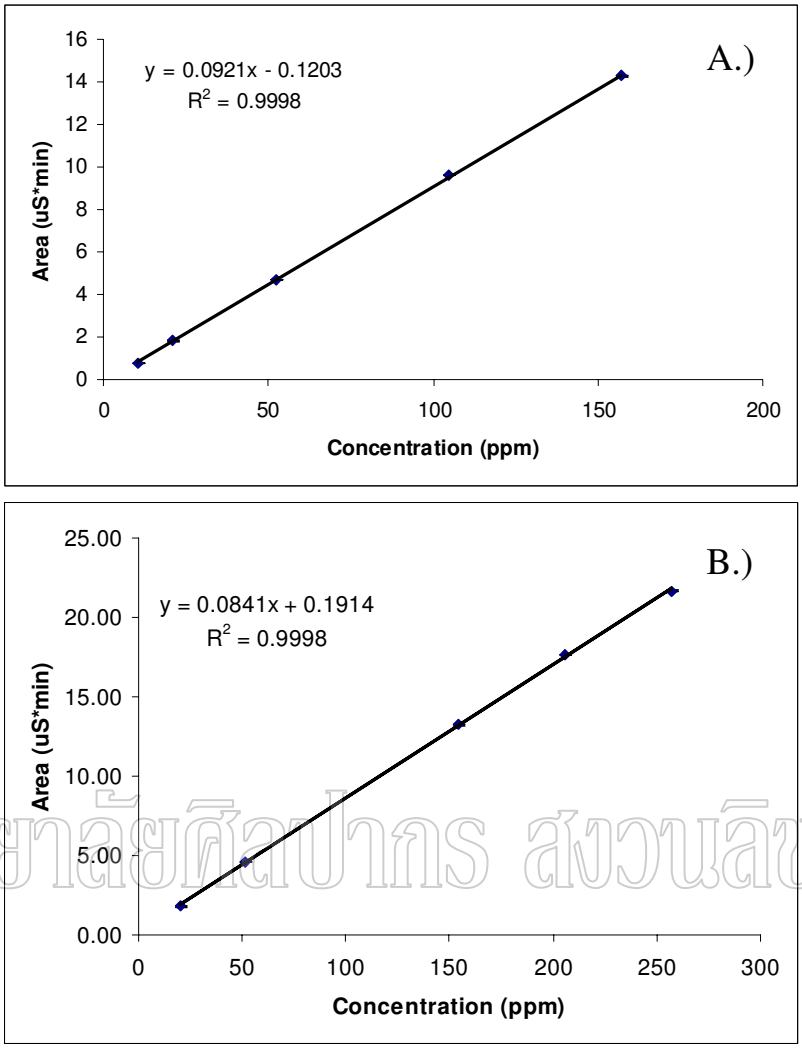
Sample	Retention time (min)	Amount (mg/L)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaA	5.80	6.64 ± 0.06	0.11	87.6 ± 9.3
TeaB	5.33	6.37 ± 0.002	0.04	105.8 ± 0.6
TeaC	5.36	6.13 ± 0.02	0.02	103.7 ± 0.4
TeaD	5.30	12.41 ± 0.02	0.03	99.9 ± 3.0
TeaE	5.32	10.81 ± 0.02	0.02	97.1 ± 2.0
TeaF	5.02	8.88 ± 0.004	0.006	99.8 ± 1.5
TeaG	4.90	11.83 ± 0.02	0.06	98.2 ± 1.5

จากตารางที่ 8 จะเห็นว่า พบปริมาณของ chloride มากที่สุดในตัวอย่าง TeaD มีปริมาณ 12.41 mg/L ค่า retention time ใกล้เคียงกับที่ได้จากสารละลายมาตรฐานผสม เท่ากับ 5.8 นาที (ตารางที่3) จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน chloride เข้มข้น 4 ppm ในแต่ละตัวอย่าง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ ascorbic acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม</u>

Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid ในช่วงความเข้มข้น 10-150 ppm (A.) และ 20-257 ppm (B.) แสดงดังรูปที่ 33



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 33 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid (A.) ในช่วงความเข้มข้น 10-150 ppm และ(B.) ในช่วงความเข้มข้น 20-257 ppm

จาก calibration curve รูปที่ 33 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0921x - 0.1203 มีค่า r^2 = 0.9998 นำไปใช้หาปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaA และรูปที่ 33 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0841x + 0.1914 มีค่า r^2 = 0.9998 นำไปใช้หาปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaB ถึง TeaG ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม (n = 5)

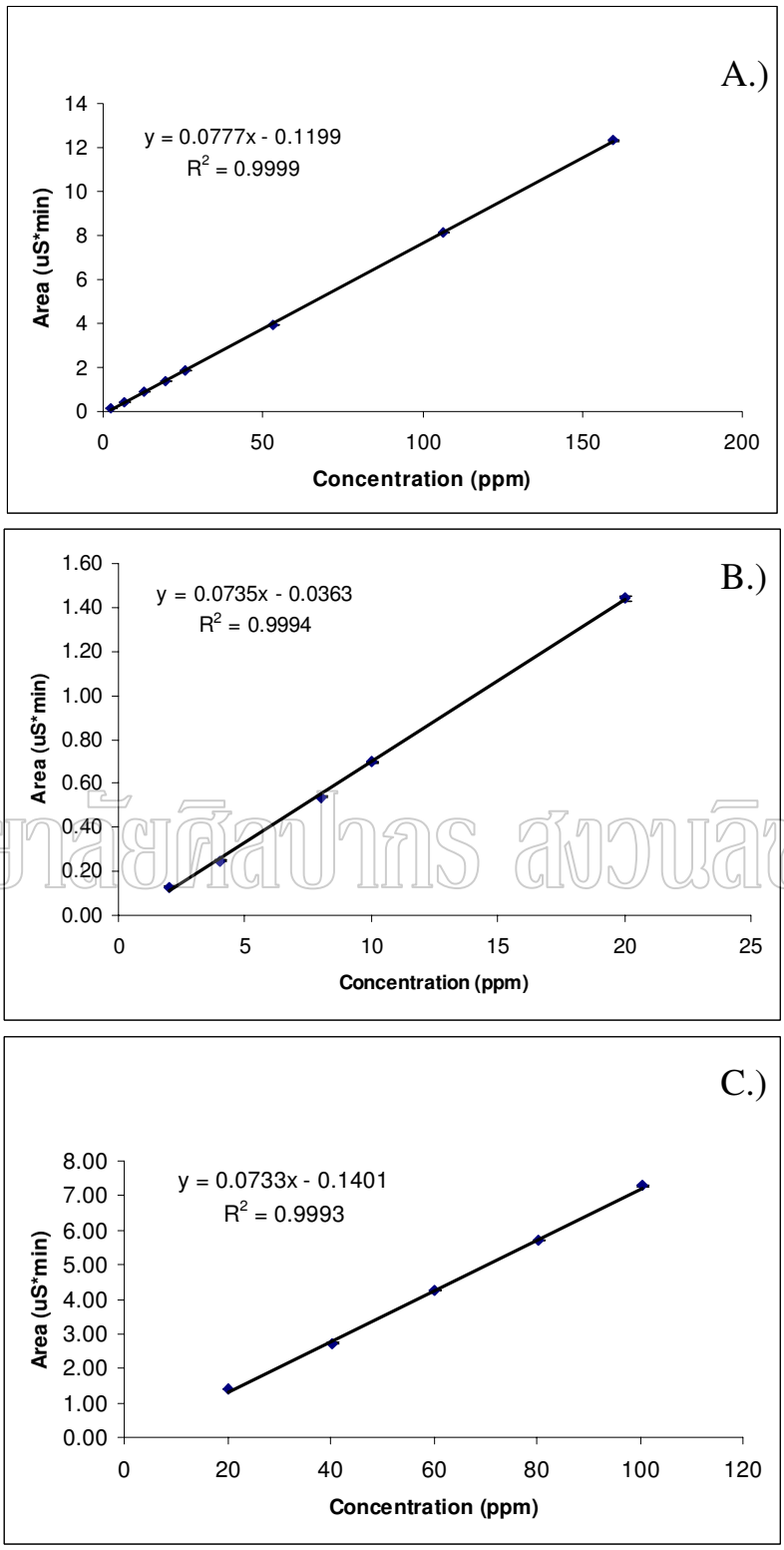
Sample	Retention time (min)	Amount (mg/L)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaA	19.54	130.40 ± 0.12	0.56	91.9 ± 13.5
TeaB	16.02	399.94 ± 0.02	0.20	98.6 ± 0.3
TeaC	16.82	81.51 ± 0.04	0.08	97.7 ± 2.4
TeaD	16.59	85.90 ± 0.07	0.08	101.1 ± 1.1
TeaE	16.78	64.47 ± 0.05	0.05	93.2 ± 5.9
TeaF	14.04	119.99 ± 0.03	0.17	99.0 ± 3.3
TeaG	12.40	152.06 ± 0.05	0.59	107.3 ± 3.7

จากตารางที่ 9 จะเห็นว่า พบปริมาณของ ascorbic acid มากที่สุดในตัวอย่าง TeaB มีปริมาณ 399.94 mg/L ซึ่งในตัวอย่างนี้ ได้ระบุไว้ที่ฉลากข้างขวดว่า มีการเติมวิตามินซี 0.1% ค่า retention time ของ ascorbic acid ในตัวอย่าง TeaA ใกล้เคียงกับที่ได้จากสารละลายมาตรฐานผสม เท่ากับ 19.9 นาที (ตารางที่3) ในตัวอย่าง TeaB-TeaG พบว่า peak ของ ascorbic acid จะออกมาเร็วกว่าที่ได้จากสารละลายมาตรฐานผสม (shift ไปทางซ้าย) จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน ascorbic acid เข้มข้น 19 ppm ในตัวอย่าง TeaA และ 14 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ phosphate ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม</u>

Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน phosphate ในช่วงความเข้มข้น 2-160 ppm (A.) 2-20 ppm (B.) และ 20-100 ppm (C.) แสดงดังรูปที่ 34



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 34 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน phosphate (A.) ในช่วงความเข้มข้น 2-160 ppm (B.) ในช่วงความเข้มข้น 2-20 ppm และ (C.) ในช่วงความเข้มข้น 20-100 ppm

จาก calibration curve รูปที่ 34 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0777x - 0.1199 มีค่า r^2 = 0.9999 นำไปใช้หาปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaA รูปที่ 34 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0735x - 0.0363 มีค่า r^2 = 0.9994 นำไปใช้หาปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaB ถึง TeaF และรูปที่ 34 (C.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0733x - 0.1401 มีค่า r^2 = 0.9993 นำไปใช้หาปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaG ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม (n = 5)

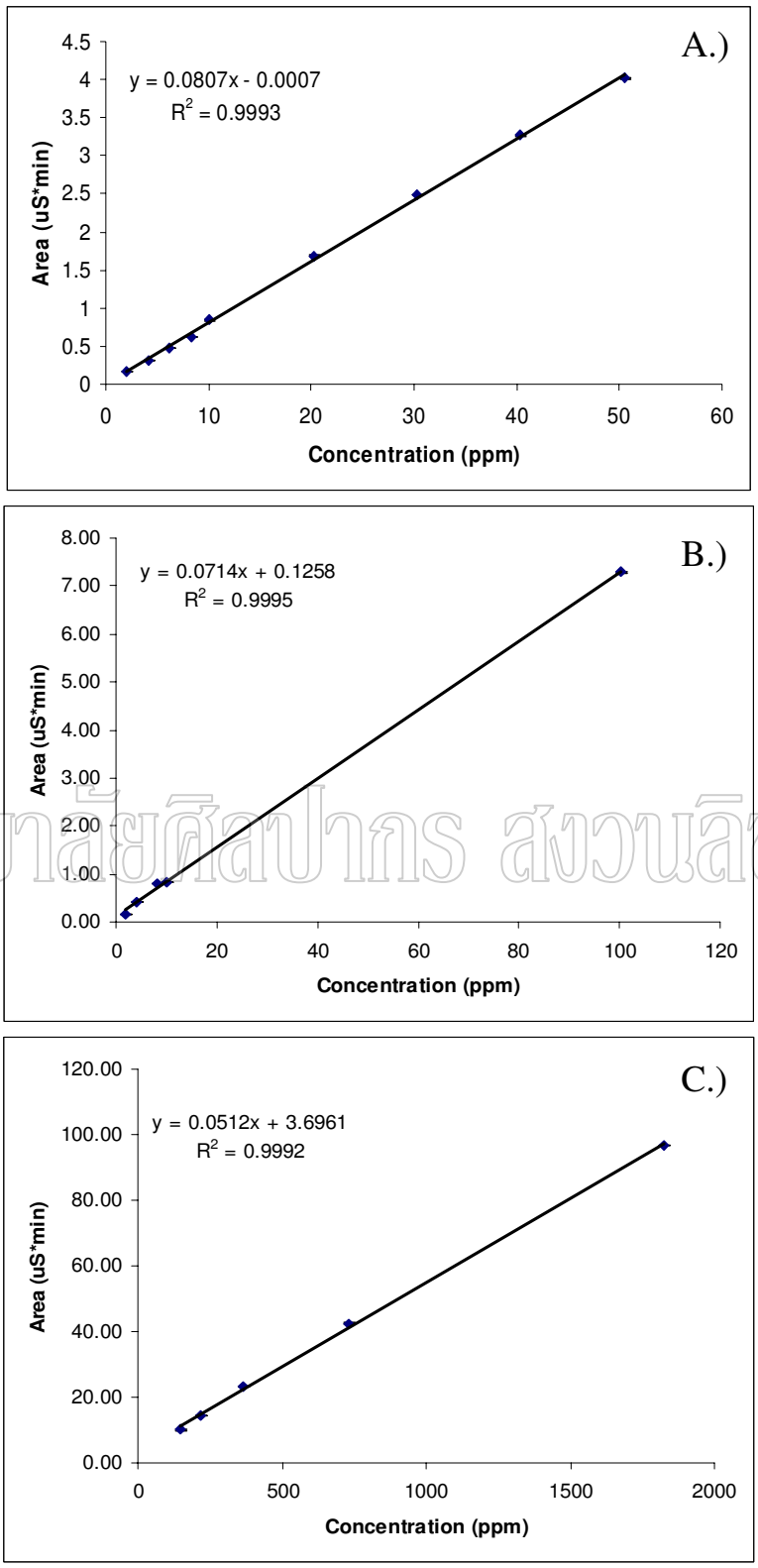
Sample	Retention time (min)	Amount (mg/L)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaA	23.56	92.67 ± 0.03	0.07	92.2 ± 11.2
TeaB	22.61	10.78 ± 0.004	0.02	97.6 ± 0.4
TeaC	22.66	11.65 ± 0.008	0.009	101.5 ± 2.3
TeaD	22.64	9.57 ± 0.008	0.006	103.6 ± 0.9
TeaE	22.62	14.67 ± 0.01	0.02	93.7 ± 2.3
TeaF	21.84	5.61 ± 0.004	0.005	97.7 ± 0.7
TeaG	21.06	53.55 ± 0.02	0.06	87.8 ± 18.4

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 10 จะเห็นว่า พบปริมาณของ phosphate มากที่สุดในตัวอย่าง TeaA มีปริมาณ 92.67 mg/L ค่า retention time ใกล้เคียงกับที่ได้จากสารละลายมาตรฐานผสม เท่ากับ 23.9 นาที (ตารางที่3) ในตัวอย่าง TeaB-TeaG พบว่า peak ของ phosphate จะออกมาเร็วกว่าที่ได้จากสารละลายมาตรฐานผสม (shift ไปทางซ้ายเล็กน้อย) จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน phosphate เข้มข้น 9 ppm ในตัวอย่าง TeaA และ 7 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

<u>การหาปริมาณ citric acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม</u>

Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน citric acid ในช่วงความเข้มข้น 2-50 ppm (A.) 2-100 ppm (B.) และ 146-1826 ppm (C.) แสดงดังรูปที่ 35



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 35 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน citric acid (A.) ในช่วงความเข้มข้น 2-50 ppm (B.) ในช่วงความเข้มข้น 2-100 ppm และ (C.) ในช่วงความเข้มข้น 146-1826 ppm

จาก calibration curve รูปที่ 35 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0807x - 0.0007 มีค่า r^2 = 0.9993 นำไปใช้หาปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaA รูปที่ 35 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0714x + 0.1258 มีค่า r^2 = 0.9995 นำไปใช้หาปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaB ถึง TeaE และรูปที่ 35 (C.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0512x + 3.6961 มีค่า r^2 = 0.9992 นำไปใช้หาปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม TeaF ถึง TeaG โดยในตัวอย่าง TeaF ได้ diluted ตัวอย่าง 1:2 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างชาพร้อมดื่ม (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (mg/L)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaA	29.63	6.97 ± 0.02	0.01	96.0 ± 3.2
TeaB	26.69	4.46 ± 0.006	0.008	99.9 ± 0.4
TeaC	26.89	7.92 ± 0.003	0.03	103.8 ± 3.4
TeaD	26.75	13.73 ± 0.007	0.002	99.3 ± 2.2
TeaE	26.79	6.81 ± 0.005	0.02	99.3 ± 1.4
TeaF	23.85	2477.35 ± 0.04	0.33	102.5 ± 6.5
TeaG	23.23	1422.72 ± 0.49	0.19	113.6 ± 19.3

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 11 จะเห็นว่า พบปริมาณของ citric acid มากที่สุดในตัวอย่าง TeaF มีปริมาณ 2477.35 mg/L และตัวอย่าง TeaG มีปริมาณ 1422.72 mg/L ซึ่งตัวผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้มีการเติมมะนาวผง 0.3% และน้ำมะนาว 0.01% ตามลำดับ ค่า retention time ของ citric acid ในตัวอย่าง TeaA ใกล้เคียงกับที่ได้จากสารละลายมาตรฐานผสม เท่ากับ 29.3 นาที (ตารางที่3) ในตัวอย่าง TeaB-TeaG พบว่า peak ของ citric acid จะออกมาเร็วกว่าที่ได้จากสารละลายมาตรฐานผสม (shift ไปทางซ้าย) จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน citric acid เข้มข้น 8 ppm ในตัวอย่าง TeaE และ 6 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

3.5.2 ใบชาแห้ง (tea leaves)

จากการศึกษาเวลาที่เหมาะสม ในการสกัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ใบชาแห้ง ได้ทดลองกับตัวอย่าง TeaH โดยเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้สกัด ดังนี้ 20, 25, 30, 35, 40 และ 50 นาที แสดงดังตารางที่ 12

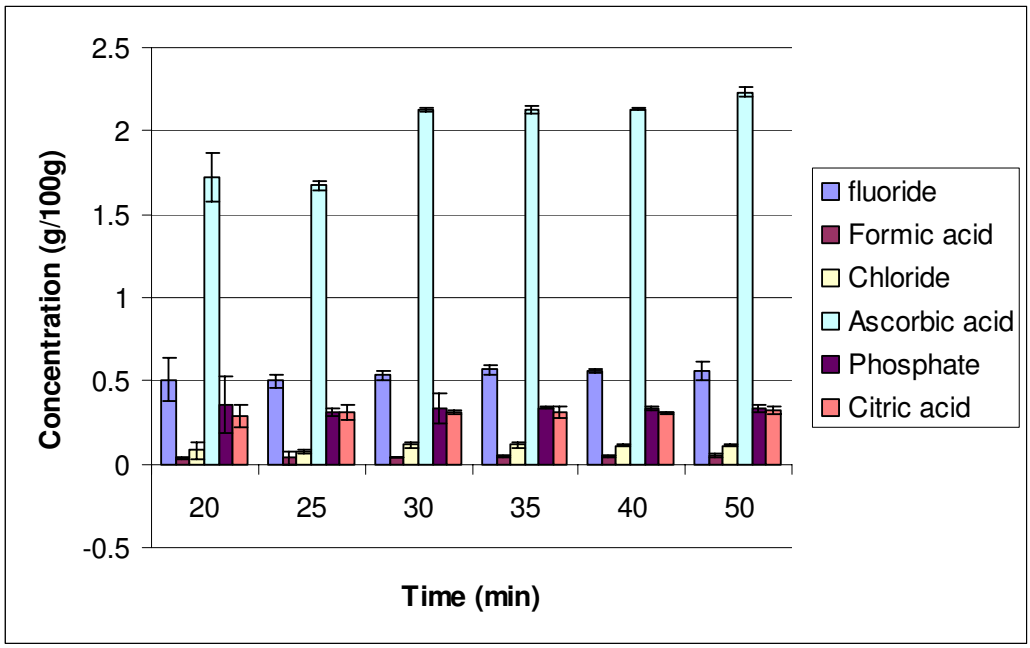
ตารางที่ 12 ปริมาณของสารที่สนใจที่เวลาในการสกัด 20, 25, 30, 35, 40 และ 50 นาที ที่อุณหภูมิ 90-100 ^{0}C

Time (min)	การสกัด/ ครั้งที่	Fluoride (g/100g)	Formic acid (g/100g)	Chloride (g/100g)	Ascorbic acid (g/100g)	Phosphate (g/100g)	Citric acid (g/100g)
20	1	0.5055	0.0379	0.0815	1.7226	0.3566	0.2893
	2	0.0126	0.0041	-	0.3172	0.0281	0.0090
25	1	0.4987	0.0377	0.0761	1.6713	0.3118	0.3075
	2	0.0171	0.0050	0.0007	0.3857	0.0295	0.0138
30	1	0.5337	0.0408	0.1148	2.1285	0.3372	0.3132
	2	0.0097	0.0039	-	0.2946	0.0239	0.0064
35	1	0.5658	0.0482	0.1148	2.1285	0.3372	0.3132
	2	0.0041	-	0.0039	0.2773	-	-
40	1	0.5605	0.0471	0.1123	2.1319	0.3322	0.3073
	2	-	0.0062	0.0024	0.3015	-	-
50	1	0.5585	0.0512	0.1132	2.2325	0.3349	0.3198
	2	0.0007	0.0056	0.0011	0.2876	-	-

- หมายถึง ตรวจไม่พบ

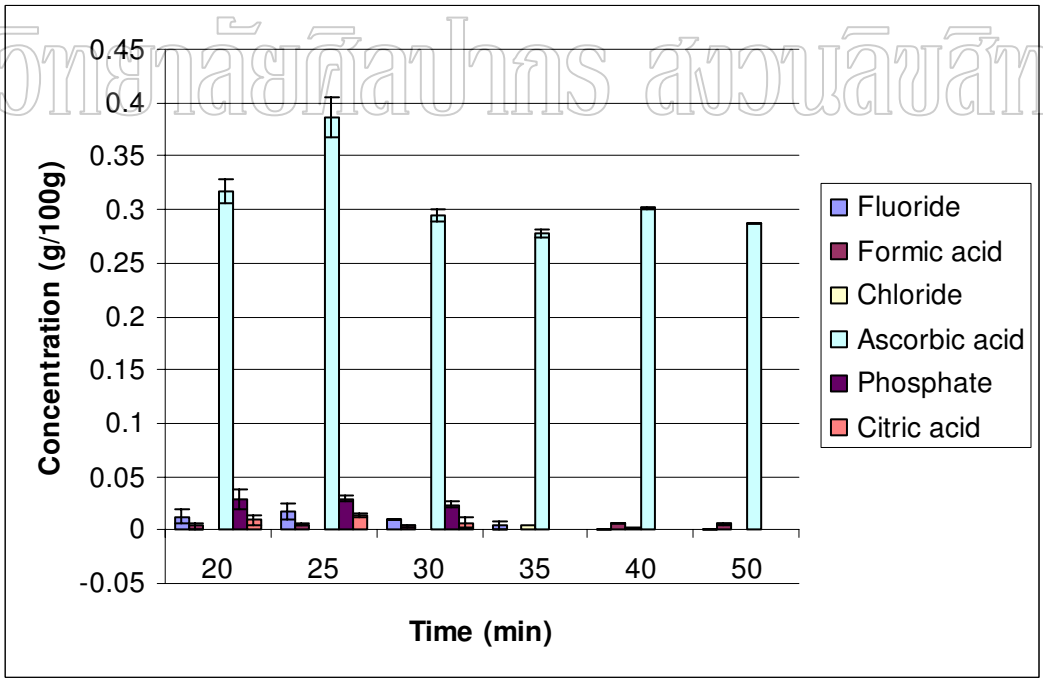
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด พบว่า การใช้เวลาในการสกัด 30-35 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 90 ถึง 100 ^{0}C สามารถสกัดสารที่สนใจได้มากที่สุด ดังรูปที่ 36 และในการสกัดครั้งที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารที่สนใจเหลืออยู่ในใบชาแห้งน้อยที่สุด ดังรูปที่ 37 ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เวลาในการสกัด 30 นาที เนื่องจากใช้เวลาไม่นานเกินไปและให้ปริมาณของสารที่สนใจในการสกัดแต่ละครั้ง มีค่าเบี่ยงเบนเล็กน้อย



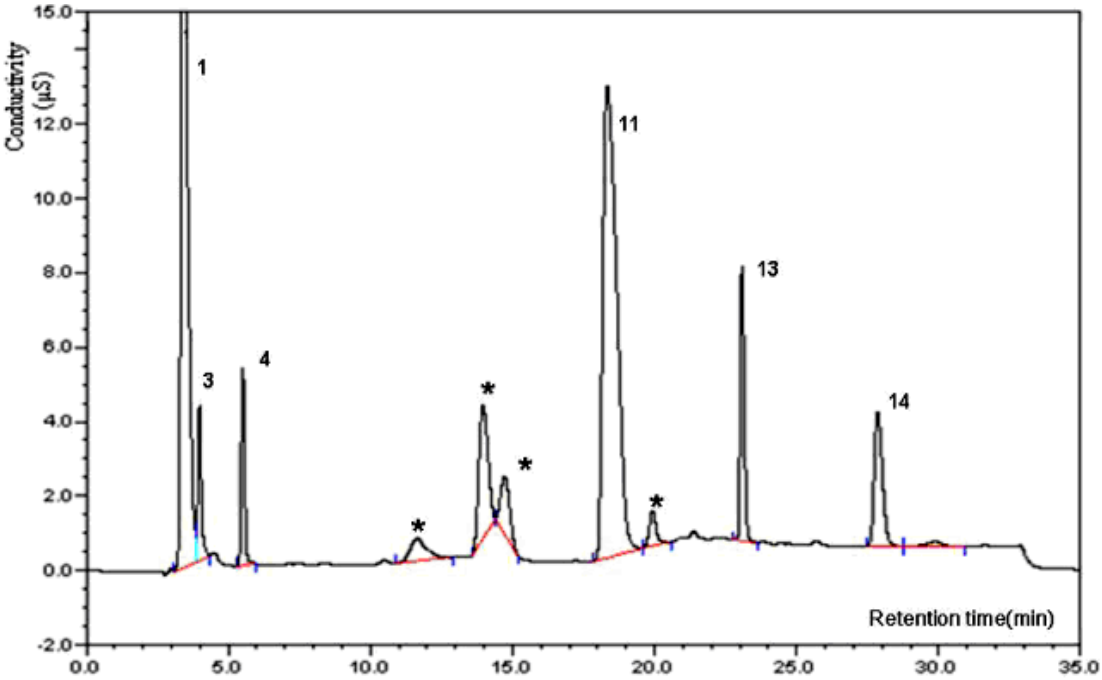
รูปที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารที่สนใจกับเวลาที่ใช้ในการสกัดครั้งที่ 1 ในตัวอย่างใบชาแห้ง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารที่สนใจกับเวลาที่ใช้ในการสกัดครั้งที่ 2 ที่เหลือในตัวอย่างใบชาแห้ง

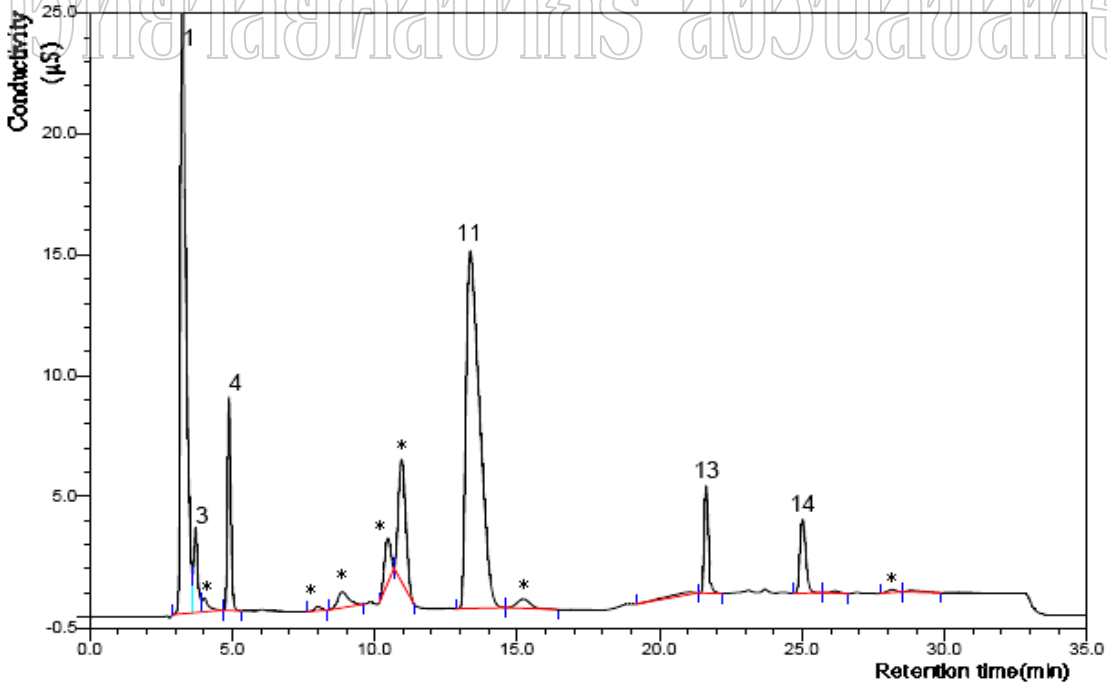
การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaH ถึง TeaL ได้ผลดัง chromatogram (รูปที่ 38 ถึง 42) ตามลำดับ



รูปที่ 38 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaH

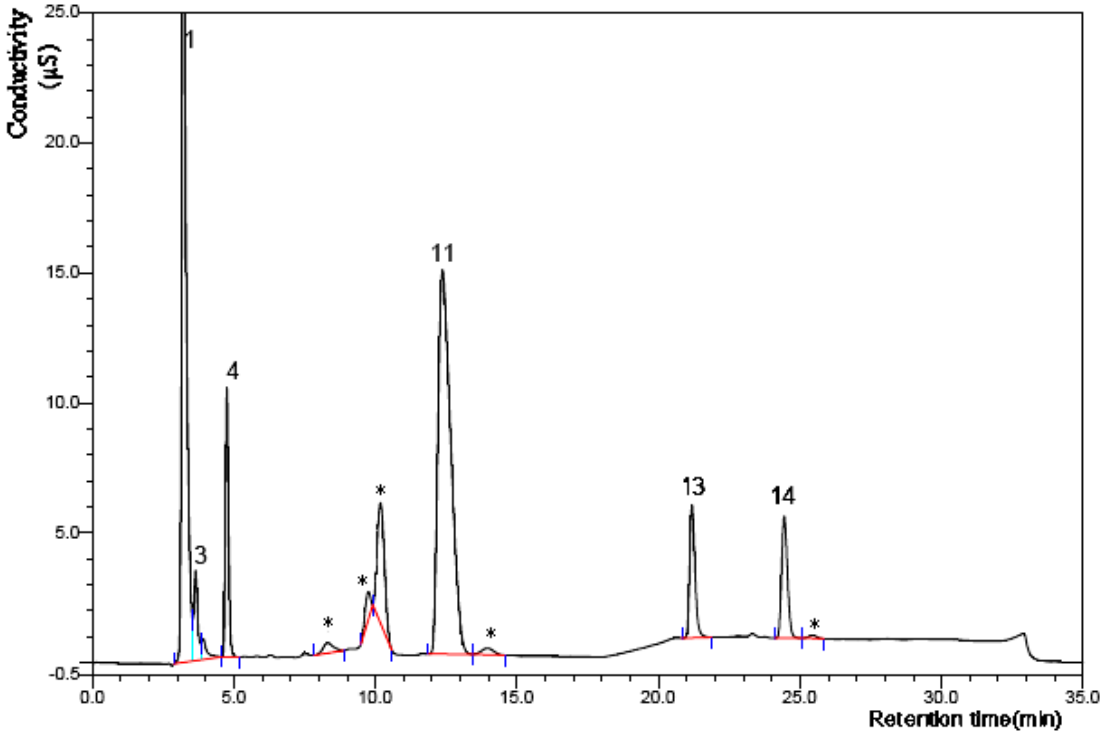
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 39 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaI

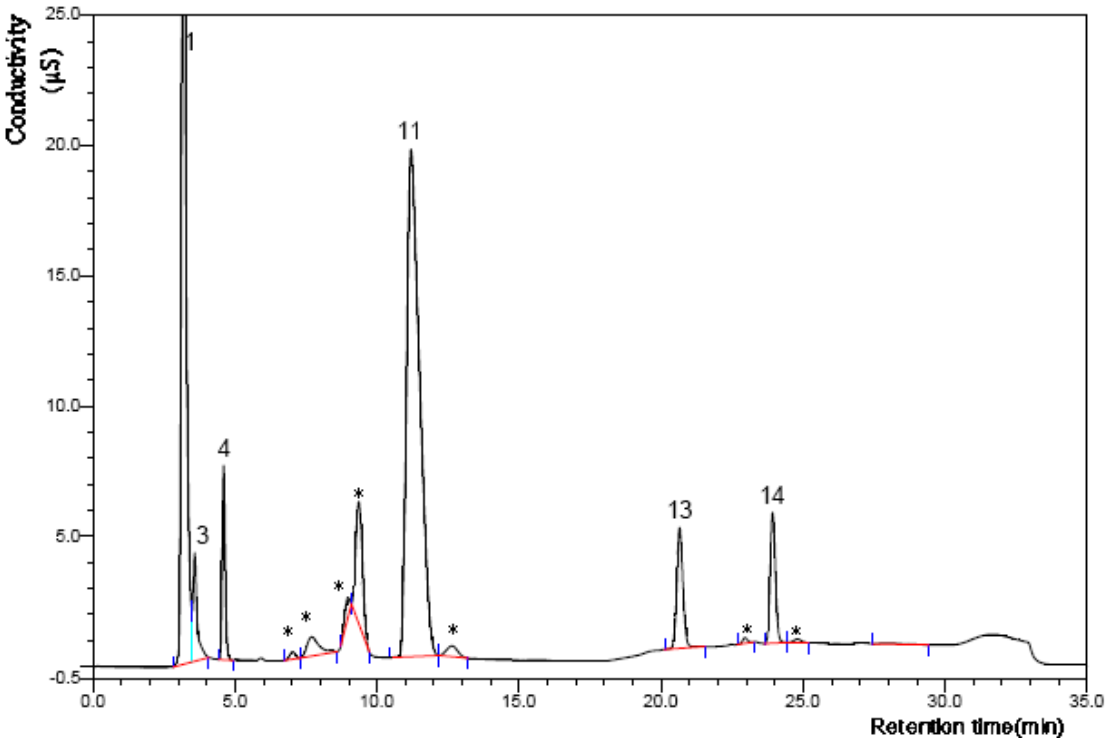
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 40 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaJ

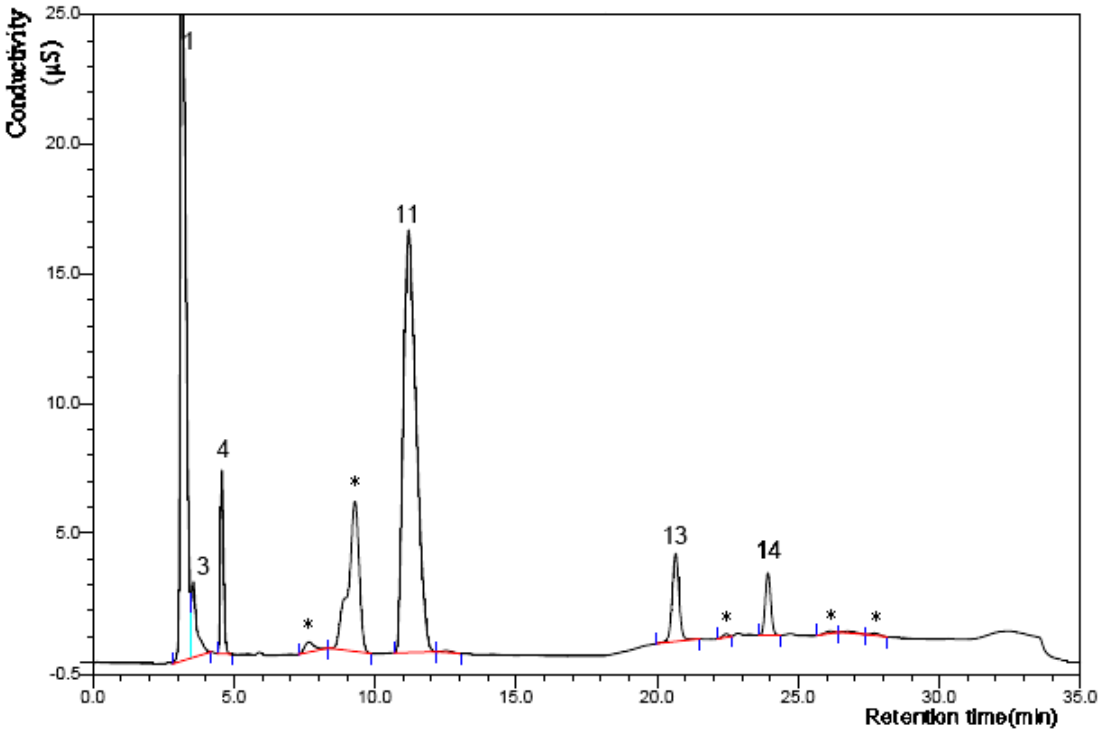
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 41 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaK

(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 42 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaL

(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากรูปที่ 38-42 พบว่า peak ของสารที่สนใจแยกออกจากกันได้ดี แต่จะสังเกตได้ว่าค่า retention time ของสารที่สนใจแต่ละชนิดออกมาเร็วขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์สารที่สนใจต่างๆในสารละลายมาตรฐานผสม รูปที่ 20 เกิดจากประสิทธิภาพของคอลัมน์ลดลงเมื่อใช้วิเคราะห์หลายๆครั้ง ซึ่งสามารถตรวจสอบว่า peak ใดเป็น peak ของสารที่สนใจชนิดใด จากการ spiked สารละลายมาตรฐานแต่ละชนิดลงในตัวอย่าง สังเกต peak area ที่เพิ่มขึ้นตรงตำแหน่งของ peak ใดและตรวจเช็ค calibration curve ของสารที่สนใจต่างๆด้วยว่า peak area และ concentration ในขณะนั้นยังมีความสัมพันธ์กันเช่นเดิมอยู่หรือไม่ โดยอาจเลือกที่จุดความเข้มข้นกลางของ calibration curve ดูว่าความเข้มข้นที่ได้จาก calibration ต่างจากความเข้มข้นที่เตรียมหรือไม่ ถ้าต่างกันให้ทำ calibration curve ใหม่

เนื่องจาก peak ของสารที่สนใจต่างๆ ที่ได้จาก chromatogram สามารถแยกออกจากกันได้ดี และค่า precision ในการวิเคราะห์แต่ละครั้ง ยังมีความเบี่ยงเบนไม่มากนัก จึงยังสามารถใช้คอลัมน์เดิมในการวิเคราะห์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในใบชาแห้งได้ ดังนี้

<u>การหาปริมาณ fluoride ในตัวอย่างใบชาแห้ง</u>

จาก calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน fluoride ในช่วงความเข้มข้น 4-40 ppm แสดงดังรูปที่ 30 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.1874x + 0.304 มีค่า r^2 = 0.9995 นำไปวิเคราะห์หาปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaH และในช่วงความเข้มข้น 12-80 ppm แสดงดังรูปที่ 30 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.1913x + 0.8802 มีค่า r^2 = 0.9991 นำไปใช้วิเคราะห์ปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaI ถึง TeaL ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างใบชาแห้ง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/100g)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaH	3.40	0.683 ± 0.016	0.005	103.6 ± 2.3
TeaI	3.38	0.510 ± 0.008	0.001	109.3 ± 6.6
TeaJ	3.40	0.497 ± 0.005	0.002	103.6 ± 7.3
TeaK	3.24	0.569 ± 0.010	0.009	103.4 ± 5.7
TeaL	3.16	0.581 ± 0.010	0.012	103.6 ± 7.9

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 13 จะเห็นว่า พบปริมาณของ fluoride มากที่สุดในตัวอย่าง TeaH มีปริมาณ 0.683 g/100g จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน fluoride เข้มข้น 4 ppm พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

<u>การหาปริมาณ formic acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง</u>

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน formic acid ในช่วงความเข้มข้น 1-48 ppm แสดงดังรูปที่ 31 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.1592x + 0.1587 มีค่า r^2 = 0.999 นำไปใช้หาปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaH และในช่วงความเข้มข้น 1-24 ppm แสดงดังรูปที่ 31 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.2003x - 0.0222 มีค่า r^2 = 0.9998 นำไปใช้หาปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaI ถึง TeaL ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/100g)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaH	3.99	0.026 ± 0.003	0.001	101.6 ± 0.3
TeaI	3.98	0.063 ± 0.005	0.002	102.8 ± 0.3
TeaJ	3.91	0.055 ± 0.005	0.0007	108.8 ± 2.8
TeaK	3.64	0.062 ± 0.004	0.0003	106.4 ± 6.9
TeaL	3.55	0.065 ± 0.004	0.002	97.9 ± 4.3

จากตารางที่ 14 จะเห็นว่า พบปริมาณของ formic acid มากที่สุดในตัวอย่าง TeaL มีปริมาณ 0.065 g/100g จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน formic acid เข้มข้น 5 ppm ในตัวอย่าง TeaH และ TeaI และ 2 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ chloride ในตัวอย่างใบชาแห้ง</u>

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน chloride ในช่วงความเข้มข้น 0.01-300 ppm แสดงดังรูปที่ 32 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.2113x - 0.0747 มีค่า r^2 = 1 นำไปใช้หาปริมาณของ chloride ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaH และในช่วงความเข้มข้น 0.1-20 ppm แสดงดังรูปที่ 32 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.2031x - 0.0195 มีค่า r^2 = 0.9997 นำไปใช้หาปริมาณของ chloride ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaI ถึง TeaL ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณของ chloride ในตัวอย่างใบชาแห้ง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/100g)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaH	5.51	0.069 ± 0.001	0.001	96.1 ± 2.3
TeaI	4.99	0.107 ± 0.003	0.0003	100.2 ± 4.0
TeaJ	4.95	0.129 ± 0.002	0.0001	96.7 ± 1.6
TeaK	4.85	0.082 ± 0.003	0.001	92.8 ± 9.1
TeaL	4.55	0.086 ± 0.002	0.002	97.1 ± 4.3

จากตารางที่ 15 จะเห็นว่า พบปริมาณของ chloride มากที่สุดในตัวอย่าง TeaJ มีปริมาณ 0.129 g/100g จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน chloride เข้มข้น 2 ppm ในตัวอย่าง TeaH และ 4 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ ascorbic acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง</u>

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid ในช่วงความเข้มข้น 10-150 ppm แสดงดังรูปที่ 33 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง $y = 0.0921x - 0.1203$ มีค่า $r^2 = 0.9998$ นำไปใช้หาปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaH และในช่วงความเข้มข้น 20-257 ppm แสดงดังรูปที่ 33 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง $y = 0.0841x + 0.1914$ มีค่า $r^2 = 0.9998$ นำไปใช้หาปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaI ถึง TeaL ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/100g)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaH	18.34	1.416 ± 0.067	0.016	86.6 ± 10.6
TeaI	13.40	1.854 ± 0.022	0.0099	93.0 ± 9.8
TeaJ	12.84	1.769 ± 0.018	0.0067	83.9 ± 27.1
TeaK	11.48	2.313 ± 0.028	0.039	89.2 ± 7.0
TeaL	10.94	1.982 ± 0.033	0.016	90.6 ± 18.4

จากตารางที่ 16 จะเห็นว่า พบปริมาณของ ascorbic acid มากที่สุดในตัวอย่าง TeaK มีปริมาณ 2.313 g/100g จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน ascorbic acid เข้มข้น 20 ppm ในตัวอย่าง TeaH และ 13 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ phosphate ในตัวอย่างใบชาแห้ง</u>

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน phosphate ในช่วงความเข้มข้น 2-160 ppm แสดงดังรูปที่ 34 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0777x - 0.1199 มีค่า r^2 = 0.9999 นำไปใช้หาปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaH และในช่วงความเข้มข้น 2-20 ppm แสดงดังรูปที่ 34 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0735x - 0.0363 มีค่า r^2 = 0.9994 นำไปใช้หาปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaI ถึง TeaL ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างใบชาแห้ง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/100g)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaH	23.08	0.330 ± 0.017	0.006	97.3 ± 0.9
TeaI	21.61	0.218 ±0.001	0.001	105.6 ± 1.9
TeaJ	21.34	0.308 ± 0.003	0.004	100.9 ± 2.4
TeaK	20.82	0.323 ± 0.007	0.008	101.0 ± 2.1
TeaL	20.47	0.266 ± 0.007	0.009	99.0 ± 2.6

จากตารางที่ 17 จะเห็นว่า พบปริมาณของ phosphate มากที่สุดในตัวอย่าง TeaH มีปริมาณ 0.330 g/100g จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน phosphate เข้มข้น 10 ppm ในตัวอย่าง TeaH และ 8 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ citric acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง</u>

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน citric acid ในช่วงความเข้มข้น 2-50 ppm แสดงดังรูปที่ 35 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0807x - 0.0007 มีค่า r^2 = 0.9993 นำไปใช้หาปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaH และในช่วงความเข้มข้น 2-100 ppm แสดงดังรูปที่ 35 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0714x + 0.1258 มีค่า r^2 = 0.9995 นำไปใช้หาปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaI ถึง TeaL ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างใบชาแห้ง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/100g)±SD	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
TeaH	27.85	0.022 ± 0.002	0.001	101.1 ± 9.4
TeaI	25.05	0.165 ± 0.004	0.003	108.3 ± 7.3
TeaJ	24.68	0.272 ± 0.003	0.017	92.1 ± 3.2
TeaK	23.99	0.256 ± 0.004	0.007	98.4 ± 1.7
TeaL	24.01	0.117 ± 0.005	0.006	99.5 ± 2.2

จากตารางที่ 18 จะเห็นว่า พบปริมาณของ citric acid มากที่สุดในตัวอย่าง TeaJ มีปริมาณ 0.272 g/100g จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน citric acid เข้มข้น 3 ppm ในตัวอย่าง TeaH และ 6 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

3.6 การหาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแฮม โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

จากการศึกษาเวลาที่เหมาะสม ในการสกัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแฮม โดยเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้สกัด ดังนี้ 15, 25, 30 และ 40 นาที แสดงดังตารางที่ 19

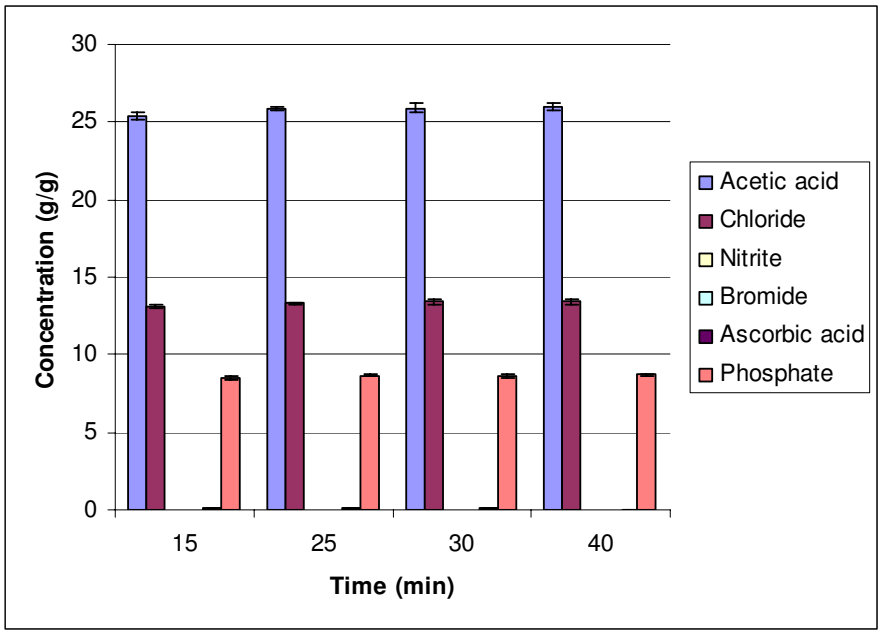
ตารางที่ 19 ปริมาณของสารที่สนใจที่เวลาในการสกัด 15, 25, 30 และ 40 นาที ที่อุณหภูมิ 75 ^{0}C

Time (min)	การสกัด/ ครั้งที่	Acetic acid (g/kg)	Chloride (g/kg)	Nitrite (g/kg)	Bromide (g/kg)	Ascorbic acid (g/kg)	Phosphate (g/kg)
15	1+2	25.391	13.111	0.010	0.007	0.098	8.497
	3	0.259	0.083	-	-	-	0.099
25	1+2	25.836	13.338	0.010	0.007	0.098	8.659
	3	0.250	0.078	-	-	-	0.094
30	1+2	25.918	13.421	0.010	0.007	0.086	8.660
	3	0.189	0.049	-	-	-	0.081
40	1+2	25.944	13.442	0.010	0.007	0.046	8.685
	3	0.327	0.114	-	-	-	0.113

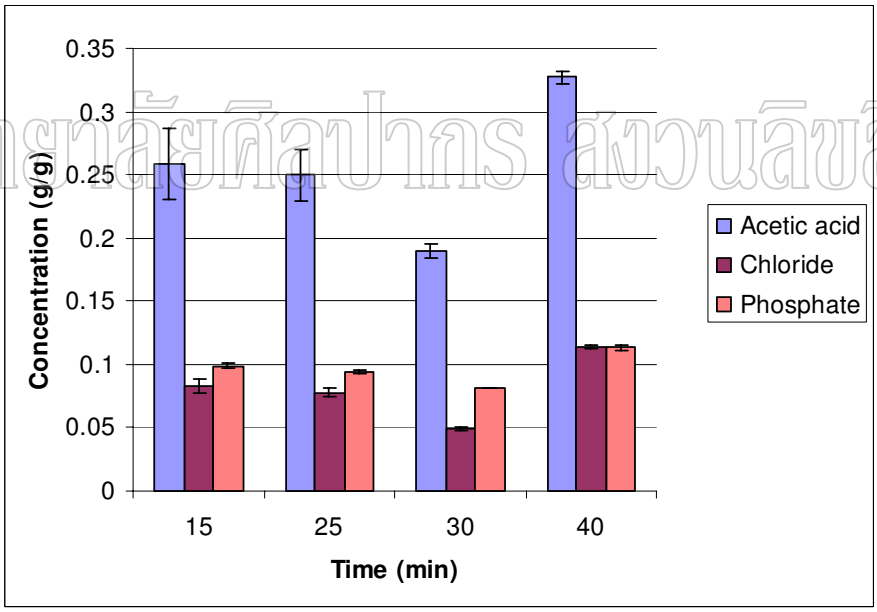
- หมายถึง ตรวจไม่พบ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด พบว่า ในการสกัดสารที่สนใจในตัวอย่างแฮม ไม่สามารถสกัดได้หมดในการสกัดครั้งที่ 1 จึงทำการสกัดครั้งที่ 2 แล้วนำมารวมกับการสกัดในครั้งแรก (1+2) โดยเวลาที่ใช้ในการสกัด 30 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 75 ^{0}C สามารถสกัดสารที่สนใจได้มากที่สุด ดังรูปที่ 43 และในการสกัดครั้งที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารที่สนใจเหลืออยู่ในแฮมน้อยที่สุด ดังรูปที่ 44 และมีค่าเบี่ยงเบนจากค่า S.D. น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เวลาในการสกัดที่เวลาอื่นๆ



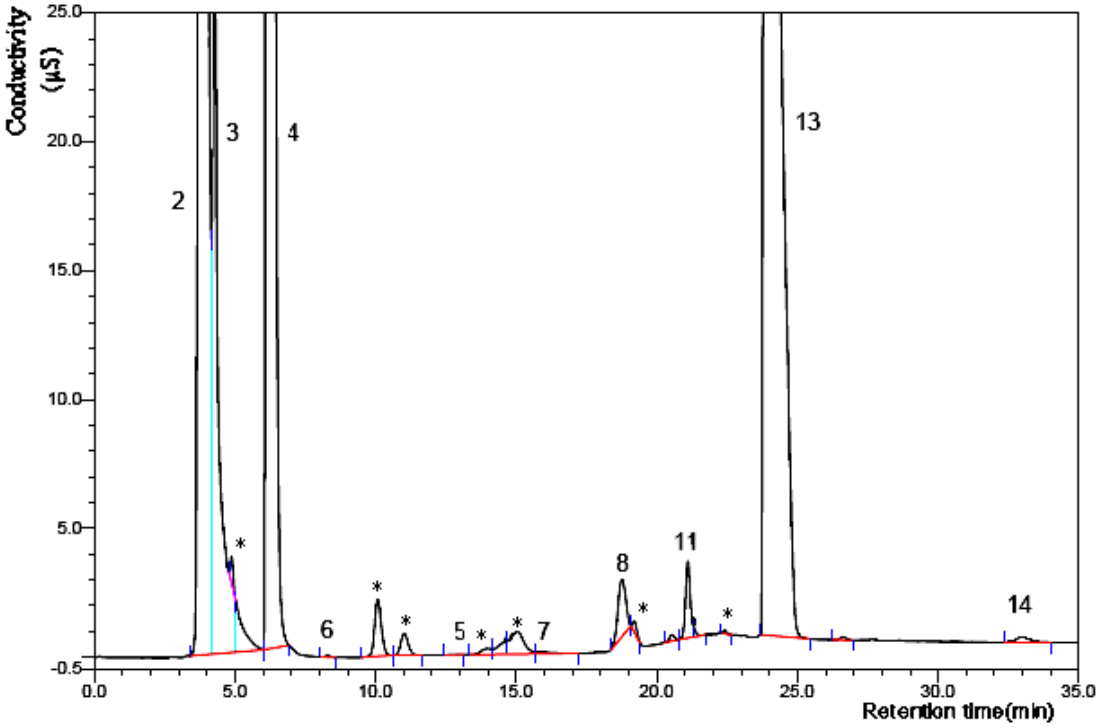
รูปที่ 43 ปริมาณของสารที่สนใจในแฮมในการสกัดครั้งที่ 1+2



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 44 ปริมาณของสารที่สนใจที่เหลือในแฮมในการสกัดครั้งที่ 3

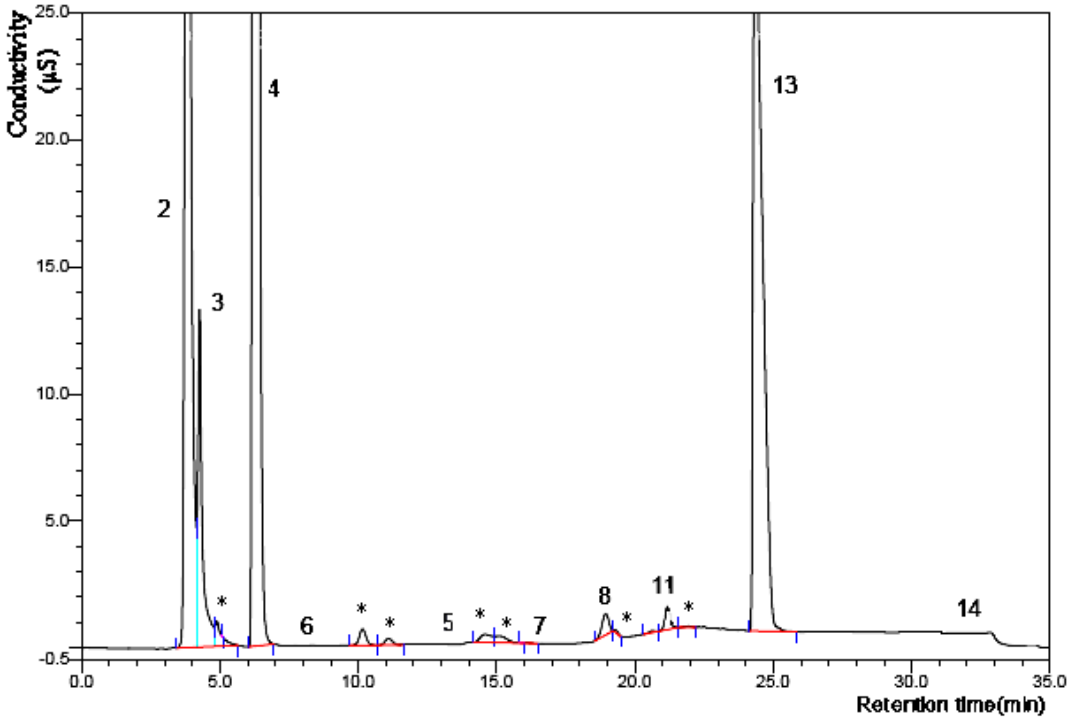
การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแฮม HamA ถึง HamE ได้ผลดัง chromatogram (รูปที่ 45 ถึง 54) ตามลำดับ



รูปที่ 45 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamA

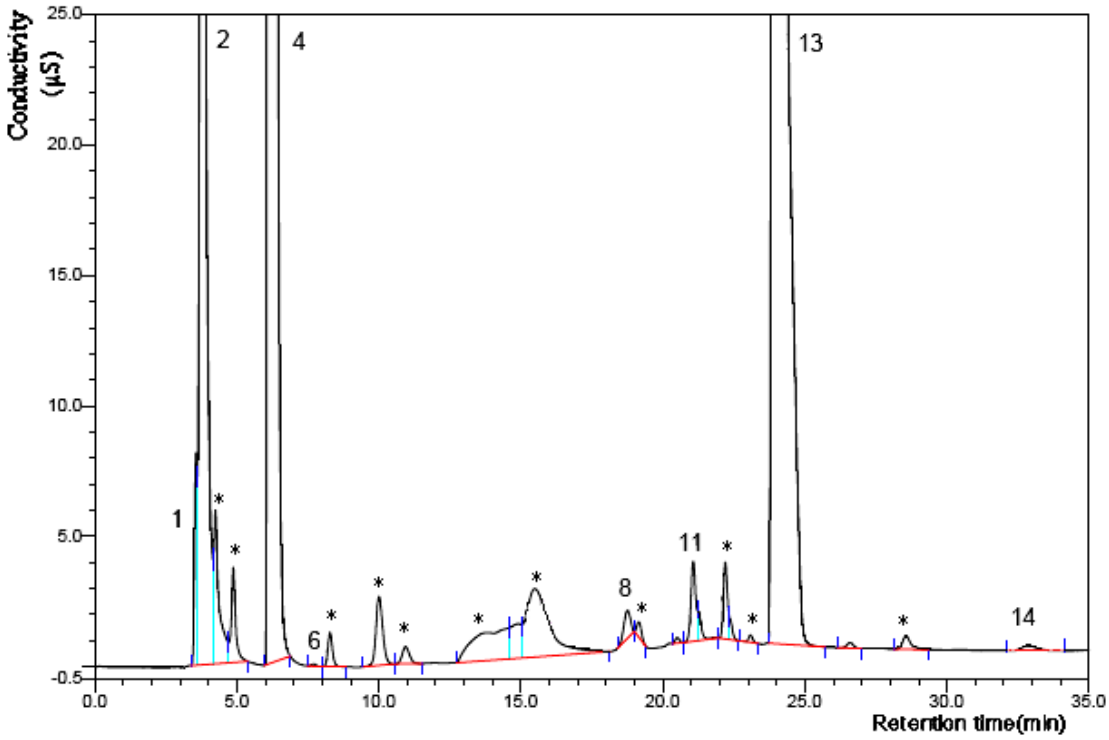
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 46 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamA (dil1:2)

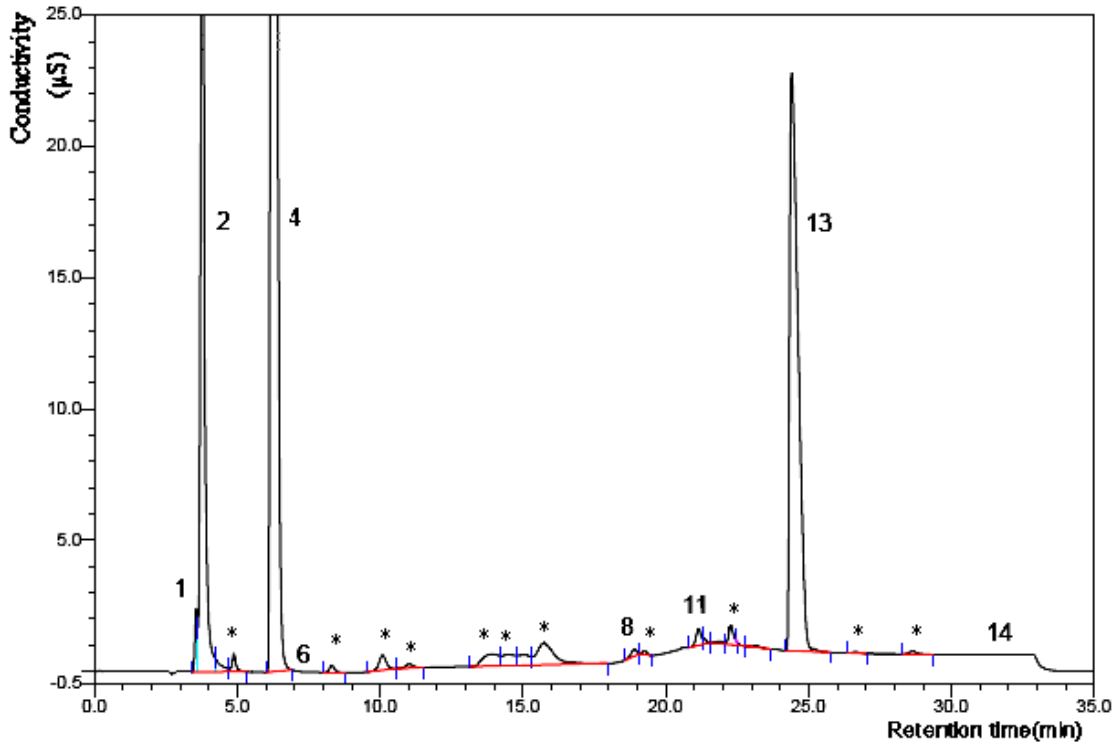
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 47 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamB

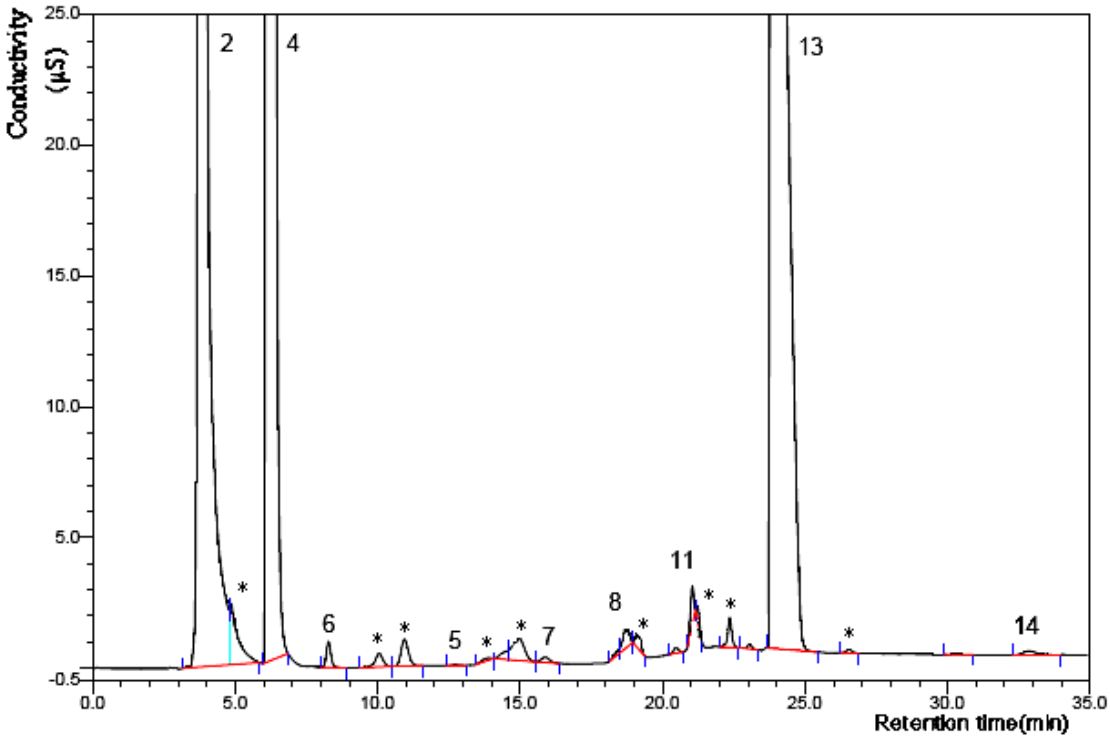
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 48 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamB (dil 1:3)

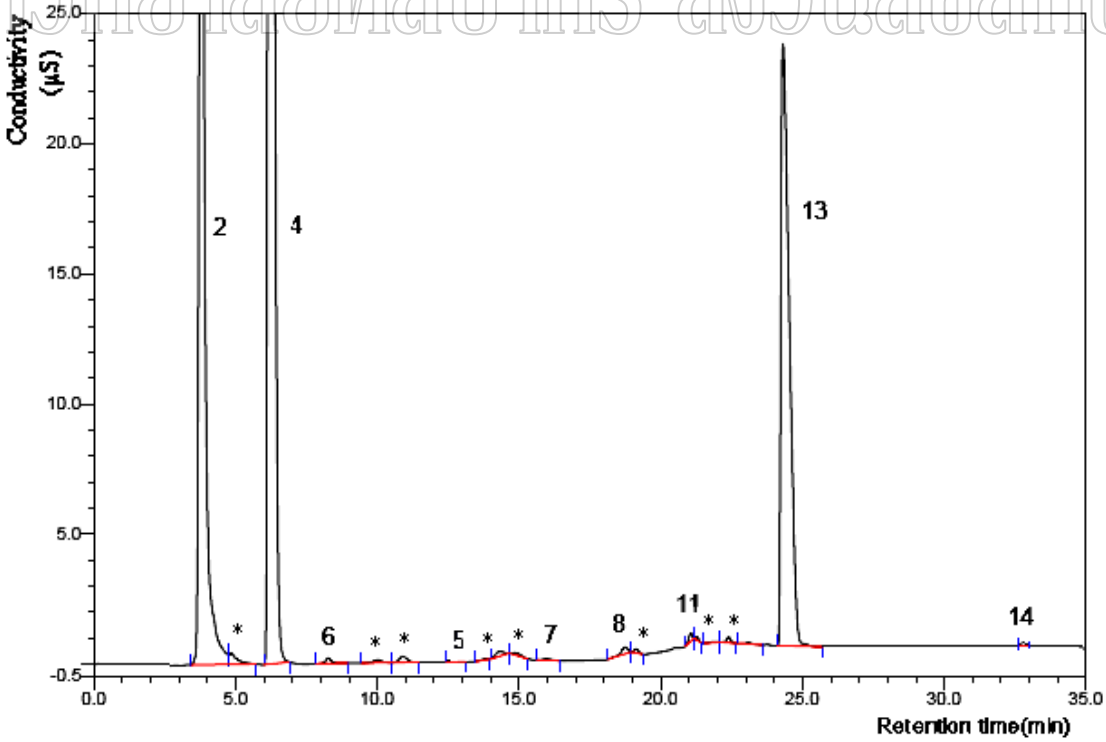
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 49 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamC

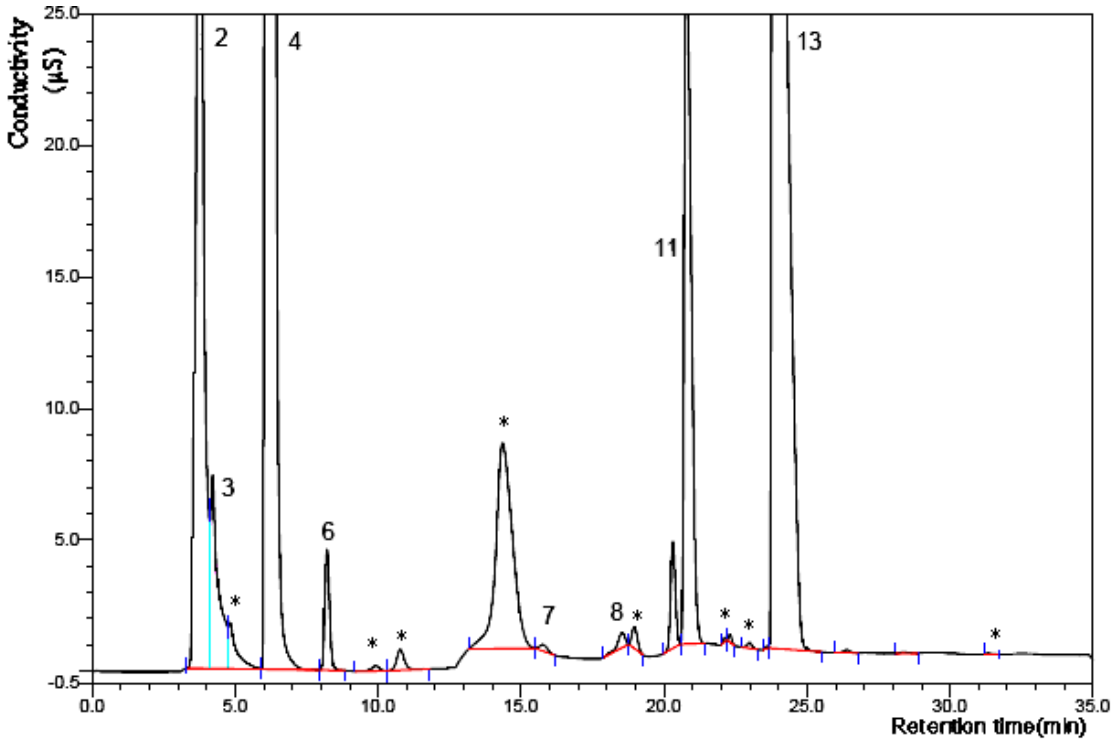
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 50 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamC (dil 1:3)

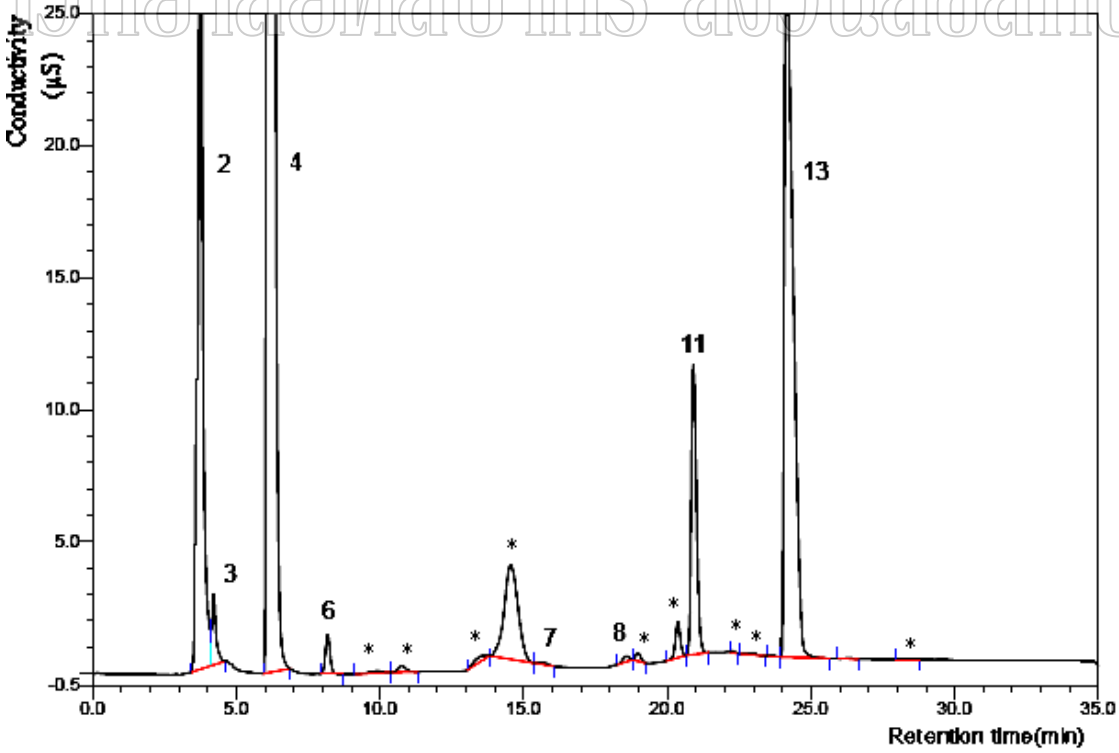
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 51 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamD

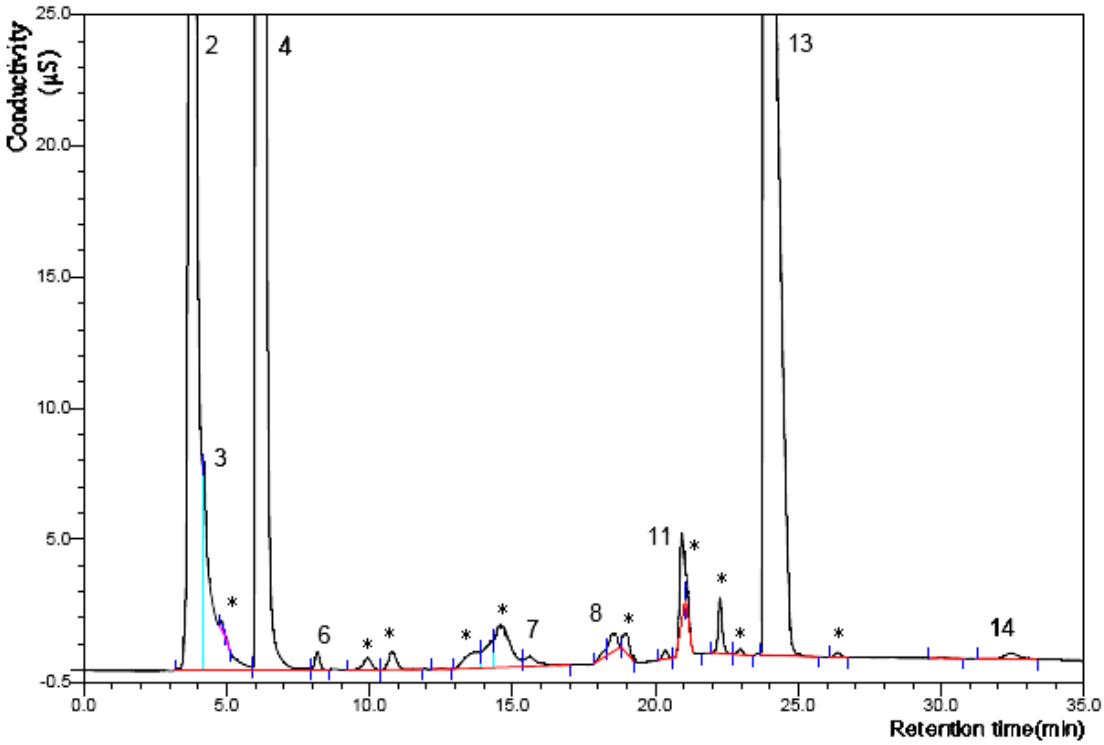
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 52 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamD (dil 1:2)

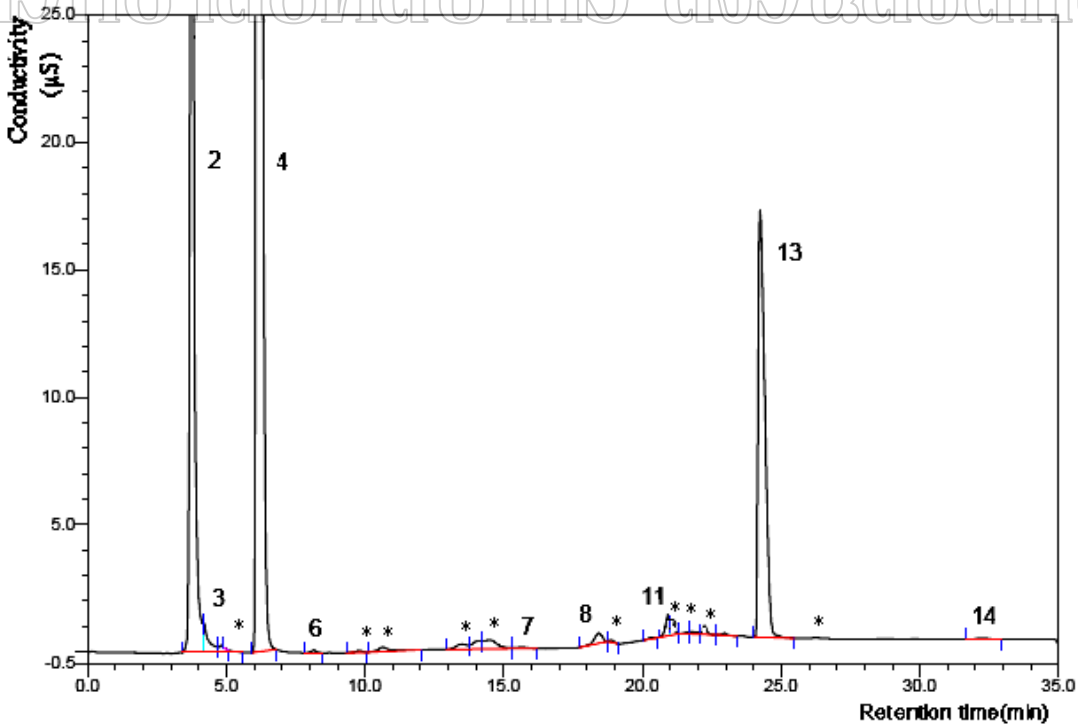
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 53 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamE

(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



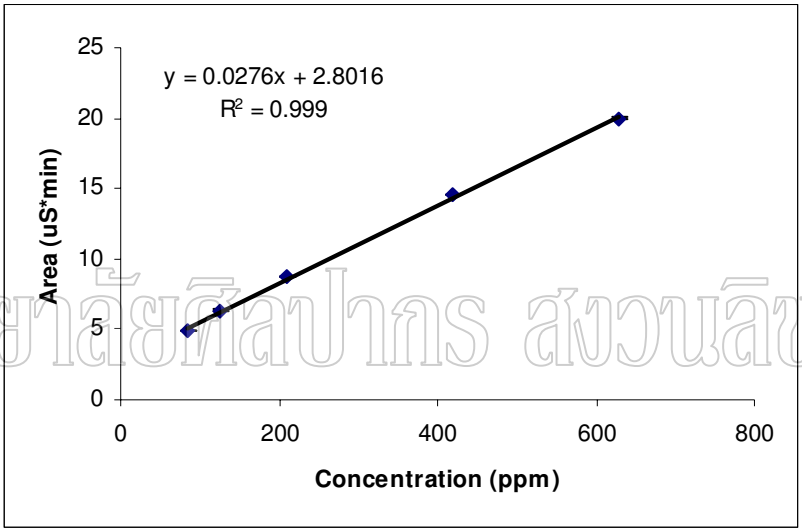
รูปที่ 54 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างแฮม HamE (dil 1:4)

(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

จากรูปที่ 45-54 พบว่า peak ของสารที่สนใจแยกออกจากกันได้ดี โดยในการศึกษาปริมาณของ acetic acid, formic acid, chloride และ phosphate ได้ทำการ dilution ตัวอย่าง HamA-HamE ดังรูปที่ 46, 48, 50, 52 และ 54 ตามลำดับ และพบว่า peak ที่ 14 ซึ่งเป็น peak ของ citric acid มีค่า retention time ต่างจากที่วิเคราะห์กับสารละลายมาตรฐานผสมในตารางที่ 3 คือมีค่า retention time เท่ากับ 32 นาที เนื่องจากในการวิเคราะห์สารที่สนใจในตัวอย่างแฮมได้เปลี่ยนคอลัมน์ใหม่

ศึกษาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแฮมโดยใช้วิธีเทียบปริมาณกับสารละลายมาตรฐานจาก Calibration curve ดังนี้

<u>การหาปริมาณ acetic acid ในตัวอย่างแฮม</u>



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 55 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน acetic acid ในช่วงความเข้มข้น 83-629 ppm

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน acetic acid ในช่วงความเข้มข้น 83-629 ppm แสดงดังรูปที่ 55 เป็นดังสมการเส้นตรง $y = 0.0276x + 2.8016$ มีค่า $r^2 = 0.999$ นำไปใช้หาปริมาณของ acetic acid ในตัวอย่างแฮม HamA-HamE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 20

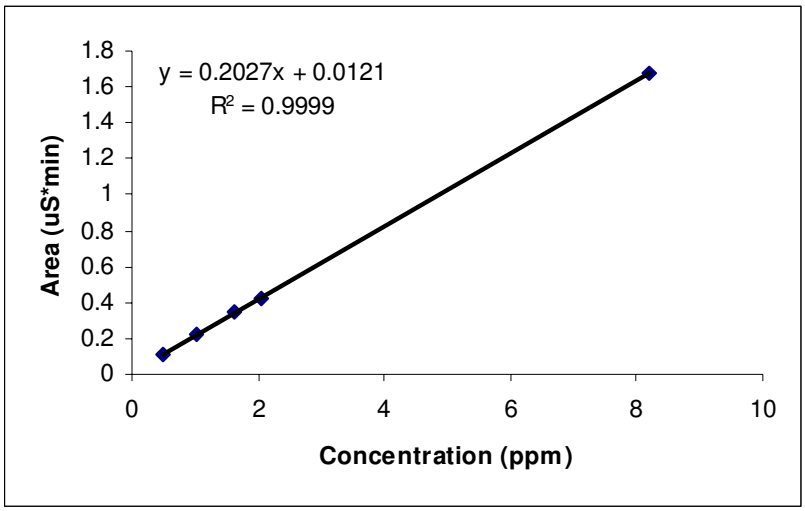
ตารางที่ 20 ปริมาณของ acetic acid ในตัวอย่างแฮม (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
HamA	3.90	25.986 ± 0.752	0.082	123.7 ± 31.2
HamB	3.80	9.582 ± 0.132	0.178	120.5 ± 12.5
HamC	3.87	23.580 ± 0.132	0.170	92.7 ± 1.9
HamD	3.76	10.453 ± 0.103	0.095	98.9 ± 11.8
HamE	3.81	16.123 ± 0.120	0.166	84.1 ± 13.8

จากตารางที่ 20 จะเห็นว่า พบปริมาณของ acetic acid มากที่สุดในตัวอย่าง HamA มีปริมาณ 25.986 g/kg จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน acetic acid เข้มข้น 20 ppm ในตัวอย่าง HamC และ HamE และ 30 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120% ยกเว้นในตัวอย่าง HamA และ HamB มีค่า %recovery สูงกว่าช่วงยอมรับเล็กน้อย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ fluoride ในตัวอย่างแฮม</u>



รูปที่ 56 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน fluoride ในช่วงความเข้มข้น 0.5-8 ppm

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน Fluoride ในช่วงความเข้มข้น 0.5-8 ppm แสดงดังรูปที่ 56 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.2027x + 0.0121 มีค่า r^2 = 0.9999 นำไปใช้หาปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างแฮม HamB ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างแฮม (n = 5)

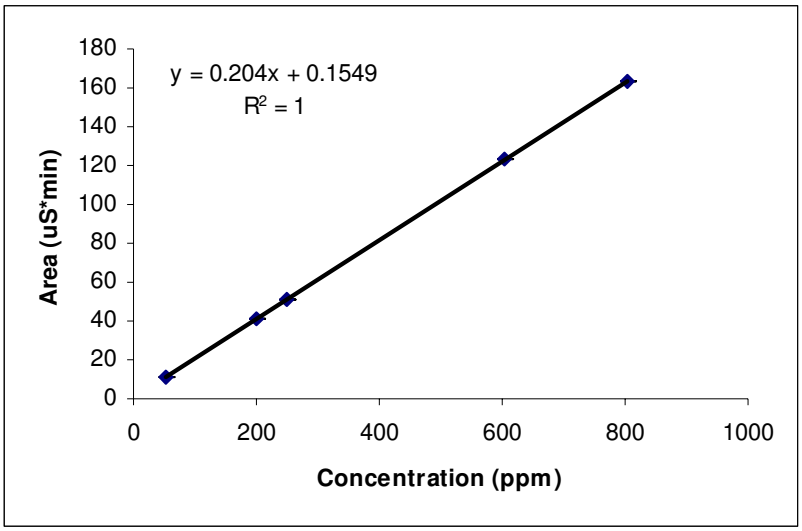
Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
hamA	-	-	-	ไม่ได้ทดลอง
hamB	3.56	0.023 ± 0.016	0.002	121.5 ± 0.9
hamC	-	-	-	ไม่ได้ทดลอง
hamD	-	-	-	ไม่ได้ทดลอง
hamE	-	-	-	ไม่ได้ทดลอง

- หมายถึง ตรวจไม่พบ

จากตารางที่ 21 พบว่า ในตัวอย่าง hamB เท่านั้น ที่มี fluoride เท่ากับ 0.023 g/kg จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน fluoride เข้มข้น 4 ppm พบว่า มีค่า %recovery สูงกว่าช่วงยอมรับเล็กน้อย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ chloride ในตัวอย่างแฮม</u>



รูปที่ 57 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน chloride ในช่วงความเข้มข้น 54-802 ppm

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน chloride ในช่วงความเข้มข้น 54-802 ppm แสดงดังรูปที่ 57 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.204x + 0.1549 มีค่า r^2 = 1 นำไปใช้หาปริมาณของ chloride ในตัวอย่างแฮม HamA-HamE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 22

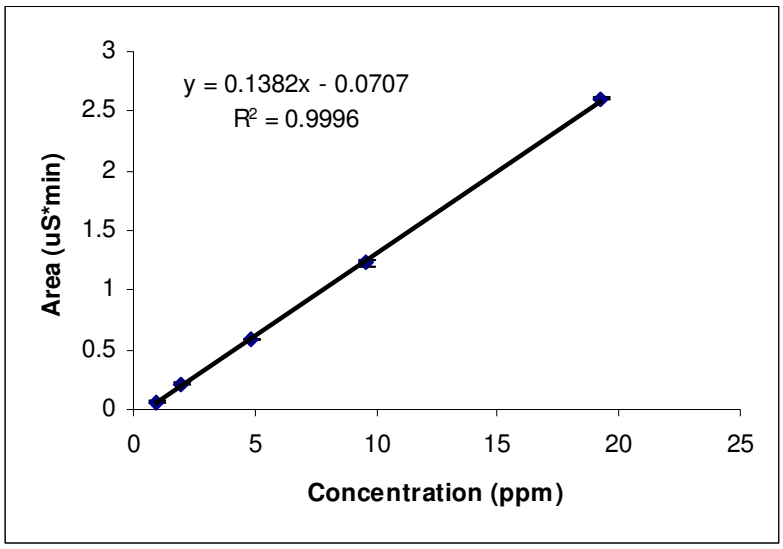
ตารางที่ 22 ปริมาณของ chloride ในตัวอย่างแฮม (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±SD	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
hamA	6.17	13.365 ± 0.447	0.117	90.7 ± 10.6
hamB	6.15	14.297 ± 0.217	0.109	102.0 ± 9.4
hamC	6.15	15.066 ± 0.106	0.116	92.8 ± 3.5
hamD	6.14	21.668 ± 0.174	0.198	83.7 ± 22.3
hamE	6.11	17.876 ± 0.172	0.131	74.6 ± 24.9

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 22 จะเห็นว่า พบปริมาณของ chloride มากที่สุดในตัวอย่าง HamD มีปริมาณ 21.668 g/kg จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน chloride เข้มข้น 7 ppm ในตัวอย่าง HamD และ 20 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120% ยกเว้นในตัวอย่าง HamE มีค่า %recovery ต่ำกว่าช่วงยอมรับเล็กน้อย

<u>การหาปริมาณ formic acid ในตัวอย่างแฮม</u>



รูปที่ 58 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน formic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.9-19 ppm

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน formic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.9-19 ppm แสดงดังรูปที่ 58 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.1382x - 0.0707 มีค่า r^2 = 0.9996 นำไปใช้หาปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างแฮม HamA-HamE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 23

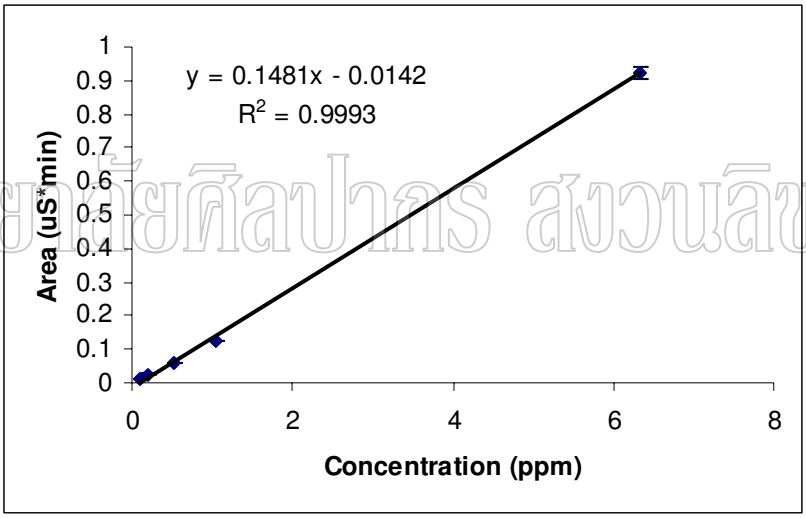
ตารางที่ 23 ปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างแฮม (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
hamA	4.26	0.728 ± 0.031	0.055	103.9 ± 11.1
hamB	-	-	-	ไม่ได้ทดลอง
hamC	-	-	-	ไม่ได้ทดลอง
hamD	4.21	0.062 ± 0.005	0.023	136.8 ± 3.7
hamE	4.13	0.387 ± 0.014	0.044	108.1 ± 7.1

- หมายถึง ตรวจไม่พบ

จากตารางที่ 23 พบว่า ในตัวอย่าง hamB และ hamC ไม่พบ formic acid ในตัวอย่างที่ตรวจพบ formic acid การแยก peak ของ formic acid ไม่ดีเนื่องจากมี peak อื่นที่ออกมาในเวลาใกล้กันและอยู่ติดกับ peak ของ acetic acid ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่า (peak areas มากกว่า) จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน formic acid เข้มข้น 3 ppm ในตัวอย่าง HamD, สารละลายมาตรฐาน formic acid เข้มข้น 15 ppm ในตัวอย่าง HamE และ 30 ppm ในตัวอย่าง HamA พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120% ยกเว้นในตัวอย่าง HamD มีค่า %recovery สูงกว่าช่วงยอมรับ

<u>การหาปริมาณ nitrite ในตัวอย่างแฮม</u>



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 59 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน nitrite ในช่วงความเข้มข้น 0.1-6.3 ppm

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน nitrite ในช่วงความเข้มข้น 0.1-6.3 ppm แสดงดังรูปที่ 59 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.1481x - 0.0142 มีค่า r^2 = 0.9993 นำไปใช้หาปริมาณของ nitrite ในตัวอย่างแฮม HamA-HamE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 24

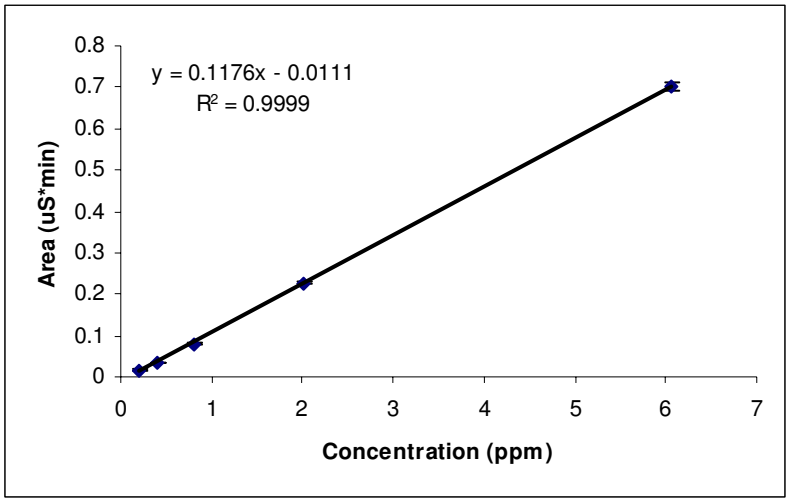
ตารางที่ 24 ปริมาณของ nitrite ในตัวอย่างแฮม (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
hamA	8.29	0.015 ± 0.001	0.0002	95.1 ± 1.7
hamB	7.68	0.058 ± 0.003	0.002	95.1 ± 2.4
hamC	8.25	0.027 ± 0.001	0.001	86.8 ± 11.3
hamD	8.21	0.121 ± 0.001	0.001	104.6 ± 5.2
hamE	8.16	0.018 ± 0.0004	0.001	92.3 ± 9.6

จากตารางที่ 24 จะเห็นว่า พบปริมาณของ nitrite มากที่สุดในตัวอย่าง HamD มีปริมาณ 0.121 g/kg และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสูงสุดที่กฎหมายกำหนดให้ใช้ พบว่าไม่เกินมาตรฐาน คือ 125 mg/kg (การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ดูที่ ภาคผนวก) จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน nitrite เข้มข้น 2 ppm พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ nitrate ในตัวอย่างแฮม</u>



รูปที่ 60 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน nitrate ในช่วงความเข้มข้น 0.2-6 ppm

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน nitrate ในช่วงความเข้มข้น 0.2-6 ppm แสดงดังรูปที่ 60 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.1176x - 0.0111 มีค่า r^2 = 0.9999 นำไปใช้หาปริมาณของ nitrate ในตัวอย่างแฮม HamA-HamE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ปริมาณของ nitrate ในตัวอย่างแฮม (n = 5)

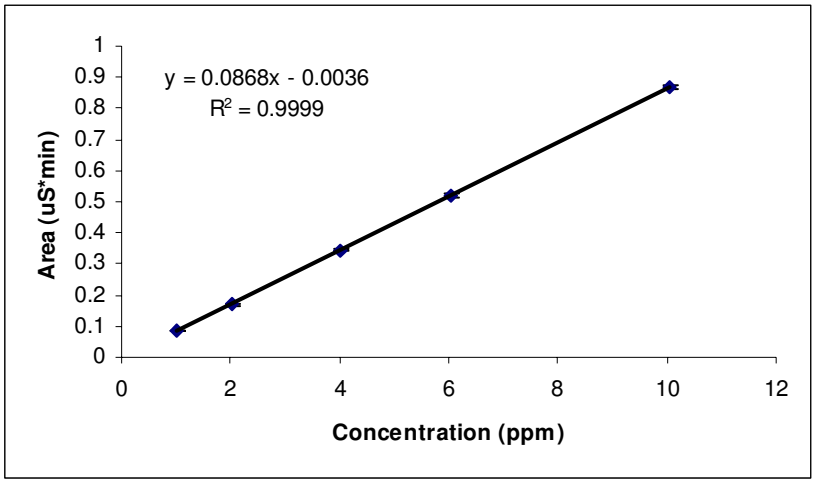
Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
hamA	15.90	0.012 ± 0.001	0.001	97.2 ± 7.2
hamB	-	-	-	ไม่ได้ทดลอง
hamC	15.87	0.015 ± 0.002	0.001	98.6 ± 1.6
hamD	15.75	0.016 ± 0.0005	0.0006	98.2 ± 0.2
hamE	15.58	0.029 ± 0.001	0.004	88.2 ± 5.4

- หมายถึง ตรวจไม่พบ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 25 จะเห็นว่า พบปริมาณของ nitrate มากที่สุดในตัวอย่าง HamE มีปริมาณ 0.029 g/kg และไม่พบ nitrate ในตัวอย่าง hamB เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสูงสุดที่กฎหมายกำหนดให้ใช้ พบว่าไม่เกินมาตรฐาน คือ 500 mg/kg (การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ดูที่ภาคผนวก) จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน nitrate เข้มข้น 2 ppm พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

<u>การหาปริมาณ succinic acid ในตัวอย่างแฮม</u>



รูปที่ 61 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน succinic acid ในช่วงความเข้มข้น 1-10 ppm

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน succinic acid ในช่วงความเข้มข้น 1-10 ppm แสดงดังรูปที่ 61 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0868x - 0.0036 มีค่า r^2 = 0.9999 นำไปใช้หาปริมาณของ succinic acid ในตัวอย่างแฮม HamA-HamE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 26

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

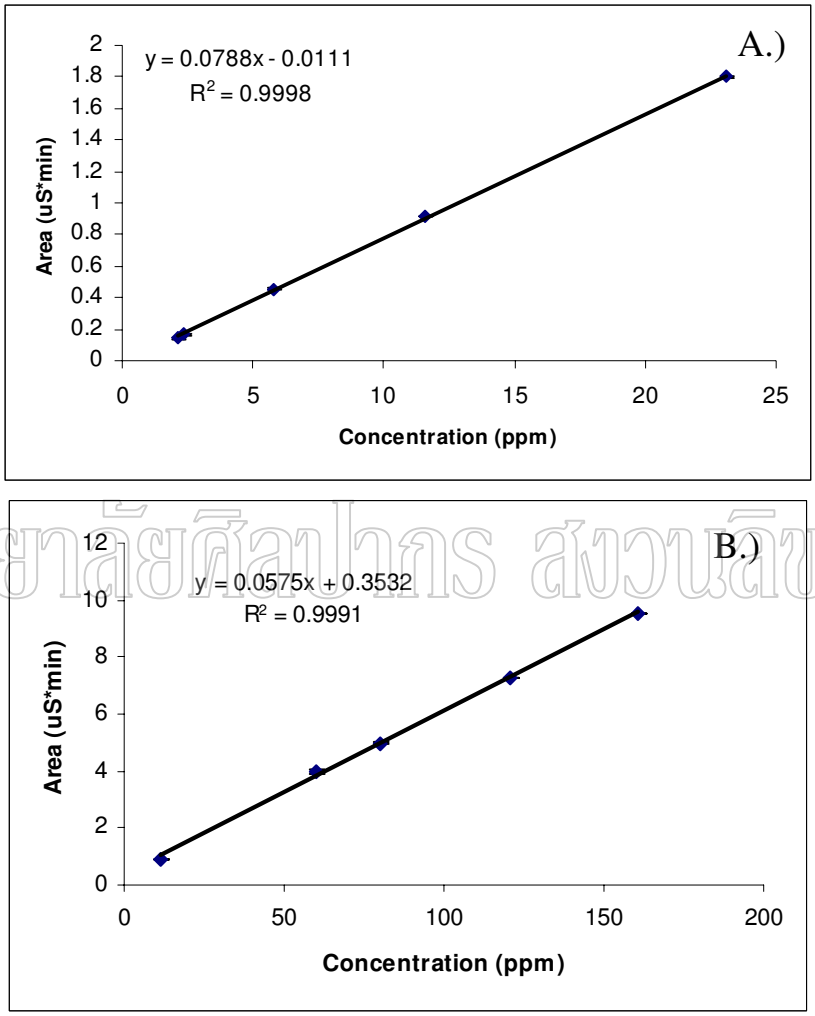
ตารางที่ 26 ปริมาณของ succinic acid ในตัวอย่างแฮม (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
hamA	18.76	0.066 ± 0.003	0.001	86.7 ± 20.1
hamB	18.72	0.066 ± 0.010	0.004	94.2 ± 7.6
hamC	18.76	0.055 ± 0.004	0.007	101.0 ± 12.7
hamD	18.53	0.046 ± 0.003	0.006	88.4 ± 2.8
hamE	18.52	0.055 ± 0.003	0.003	90.5 ± 20.0

จากตารางที่ 26 จะเห็นว่า พบปริมาณของ succinic acid มากที่สุดในตัวอย่าง HamA และ HamB มีปริมาณ 0.066 g/kg จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked

สารละลายมาตรฐาน succinic acid เข้มข้น 4 ppm พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

<u>การหาปริมาณ ascorbic acid ในตัวอย่างแฮม</u>



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 62 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid (A.) ช่วงความเข้มข้น 2-23 ppm และ (B.) ช่วงความเข้มข้น 11-160 ppm

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid ในช่วงความเข้มข้น 2-23 ppm แสดงดังรูปที่ 62 (A.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0788x - 0.0111 มีค่า r^2 = 0.9998 นำไปใช้หาปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างแฮม HamA, HamB, HamC และHamE และช่วงความเข้มข้น 11-160 ppm แสดงดังรูปที่ 62 (B.) เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0575x + 0.3532 มีค่า

r^2 = 0.9991 นำไปใช้หาปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างแฮม HamD ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 27

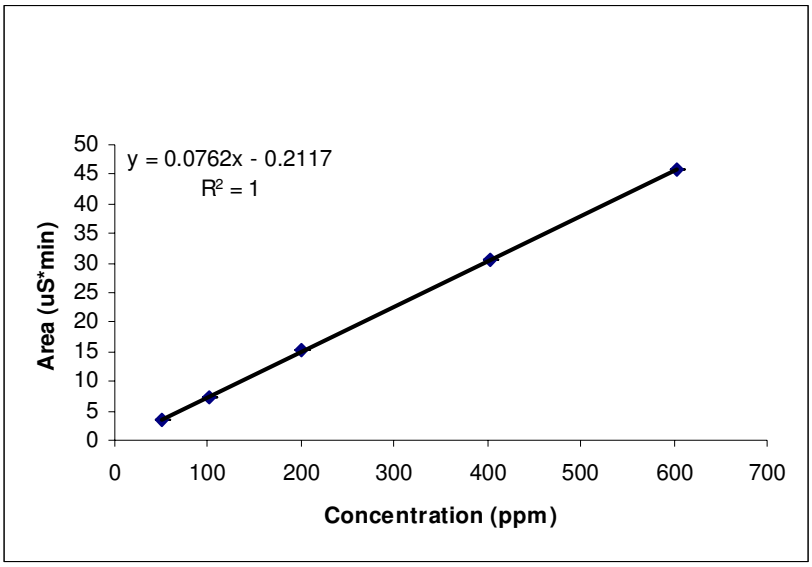
ตารางที่ 27 ปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างแฮม (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
hamA	21.09	0.047 ± 0.011	0.006	110.9 ± 16.2
hamB	21.05	0.078 ± 0.014	0.008	101.3 ± 6.2
hamC	21.02	0.066 ± 0.018	0.002	101.5 ± 1.8
hamD	20.78	2.214 ± 0.140	0.085	106.9 ± 1.0
hamE	20.93	0.162 ± 0.043	0.018	87.4 ± 1.2

จากตารางที่ 27 จะเห็นว่า พบปริมาณของ ascorbic acid มากที่สุดในตัวอย่าง HamD มีปริมาณ 2.214 g/kg จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน ascorbic acid เข้มข้น 42 ppm ในตัวอย่าง HamD และ 10 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ phosphate ในตัวอย่างแฮม</u>



รูปที่ 63 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน phosphate ในช่วงความเข้มข้น 50-603 ppm

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

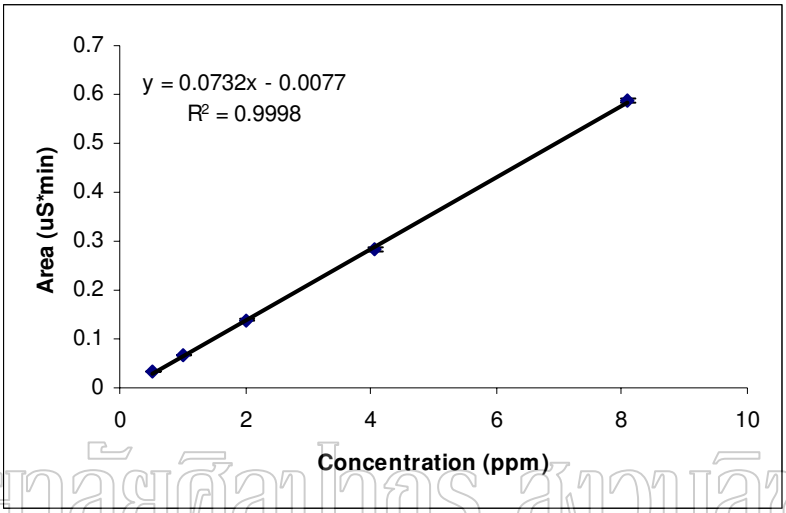
จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน phosphate ในช่วงความเข้มข้น 50-603 ppm แสดงดังรูปที่ 63 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0762x - 0.2117 มีค่า r^2 = 1 นำไปใช้หาปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างแฮม HamA-HamE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างแฮม (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)
hamA	23.87	8.709 ± 0.264	0.066	113.9 ± 13.3
hamB	23.90	8.208 ± 0.144	0.103	100.0 ± 8.2
hamC	23.90	8.521 ± 0.080	0.095	93.6 ± 25.8
hamD	23.86	7.423 ± 0.110	0.092	109.8 ± 1.1
hamE	23.86	6.439 ± 0.058	0.036	112.6 ± 11.1

จากตารางที่ 28 จะเห็นว่า พบปริมาณของ phosphate มากที่สุดในตัวอย่าง HamA มีปริมาณ 8.709 g/kg จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน phosphate เข้มข้น 25 ppm ในตัวอย่าง HamD และ 19 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

<u>การหาปริมาณ citric acid ในตัวอย่างแฮม</u>



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 64 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน citric acid ในช่วงความเข้มข้น 0.5-8 ppm

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน citric acid ในช่วงความเข้มข้น 0.5-8 ppm แสดงดังรูปที่ 64 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0732x - 0.0077 มีค่า r^2 = 0.9998 นำไปใช้หาปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างแฮม HamA-HamE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างแฮม (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. inter-day	% Recovery (n=2)
hamA	33.01	0.028 ± 0.002	0.002	97.7 ± 3.6
hamB	32.99	0.021 ± 0.002	0.001	116.6 ± 15.5
hamC	32.96	0.032 ± 0.001	0.002	91.5 ± 9.1
hamD	-	-	-	ไม่ได้ทดลอง
hamE	32.43	0.031 ± 0.003	0.007	86.2 ± 12.6

- หมายถึง ตรวจไม่พบ

จากตารางที่ 29 จะเห็นว่า พบปริมาณของ citric acid มากที่สุดในตัวอย่าง HamC มีปริมาณ 0.032 g/kg จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน citric acid เข้มข้น 2 ppm พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120%

3.7 การหาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปลาทูน่ากระป๋อง โดยเทคนิคไอออนโครมาโต-กราฟฟี

จากการศึกษาเวลาที่เหมาะสม ในการสกัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปลาทูน่ากระป๋อง ตัวอย่าง FishA โดยเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้สกัด ดังนี้ 10, 20, 30, 50 และ 60 นาที แสดงดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ปริมาณของสารที่สนใจที่เวลาในการสกัด 10, 20, 30, 50 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 75 ^{0}C

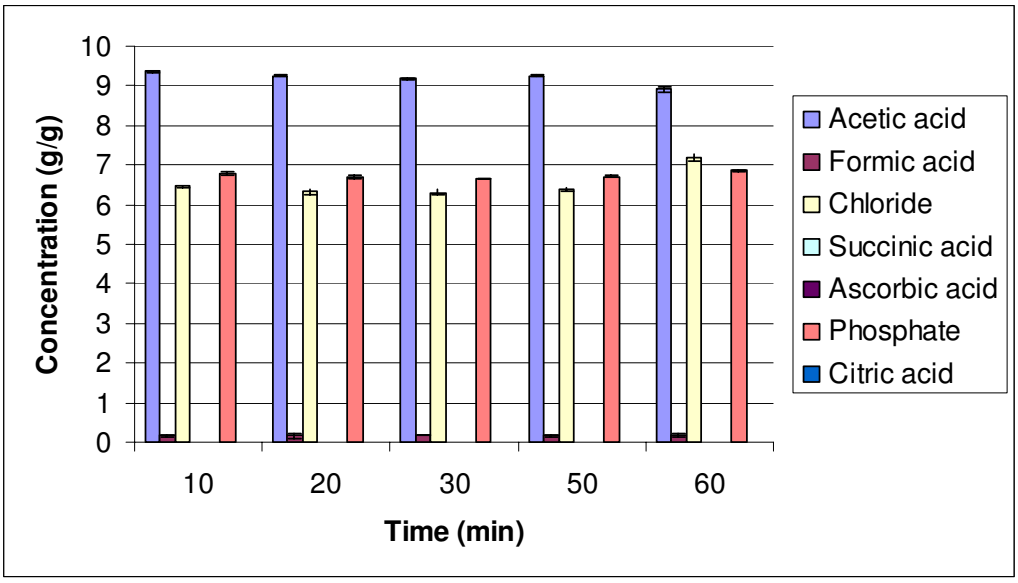
Time (min)	การสกัด/ครั้งที่	Acetic acid (g/kg)	Formic acid (g/kg)	Chloride (g/kg)	Succinic acid (g/kg)	Ascorbic acid (g/kg)	Phosphate (g/kg)	Citric acid (g/kg)
10	1+2	9.358	0.160	6.463	0.017	0.017	6.783	0.014
	3	0.185	-	0.068	-	-	0.123	-
20	1+2	9.262	0.168	6.321	0.017	0.018	6.703	0.013
	3	0.176	0.005	0.062	-	-	0.115	-
30	1+2	9.182	0.164	6.313	0.017	0.017	6.655	0.013
	3	0.188	-	0.070	-	-	0.123	-
50	1+2	9.254	0.160	6.380	0.016	0.017	6.710	0.013
	3	0.169	-	0.061	-	-	0.120	-
60	1+2	8.907	0.184	7.181	0.017	0.019	6.860	0.007
	3	0.152	0.005	0.054	-	-	0.105	-

- หมายถึง ตรวจไม่พบ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

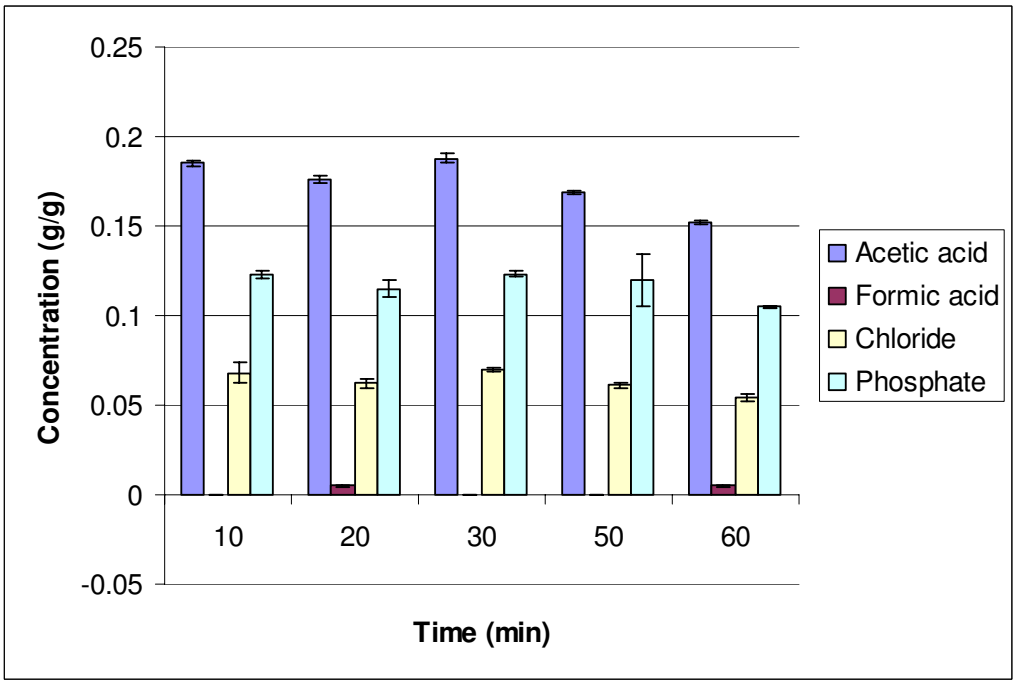
จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด พบว่า ในการสกัดสารที่สนใจในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง ไม่สามารถสกัดได้หมดในการสกัดครั้งที่ 1 จึงทำการสกัดครั้งที่ 2 แล้วนำมารวมกับการสกัดในครั้งแรก โดยเวลาที่ใช้ในการสกัด 20 ถึง 30 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 75 ^{0}C สามารถสกัดสารที่สนใจได้มากที่สุด ดังรูปที่ 65 และในการสกัดครั้งที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารที่สนใจ

เหลืออยู่ในปลาทูน่ากระป๋องน้อยที่สุด ดังรูปที่ 66 แม้ว่าในการสกัดที่เวลา 20 ถึง 30 จะพบปริมาณของสารที่สนใจต่างๆ ใกล้เคียงกัน แต่จากค่าเบี่ยงเบน (S.D.) พบว่า ในการสกัดที่เวลา 30 นาทีมีค่าเบี่ยงเบนเล็กน้อยและใช้เวลาในการสกัดไม่นานเกินไป



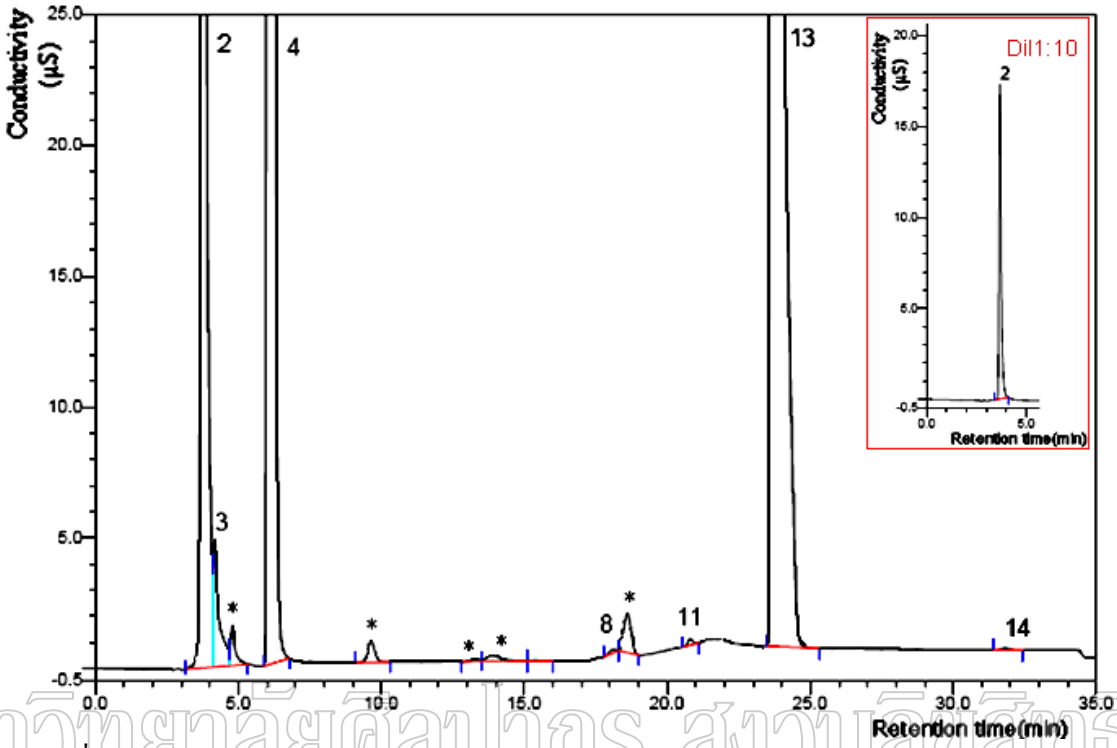
รูปที่ 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารที่สนใจกับเวลาที่ใช้ในการสกัดครั้งที่ 1และ 2 ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารที่สนใจที่เหลือกับเวลาที่ใช้ในการสกัดครั้งที่ 3 ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง

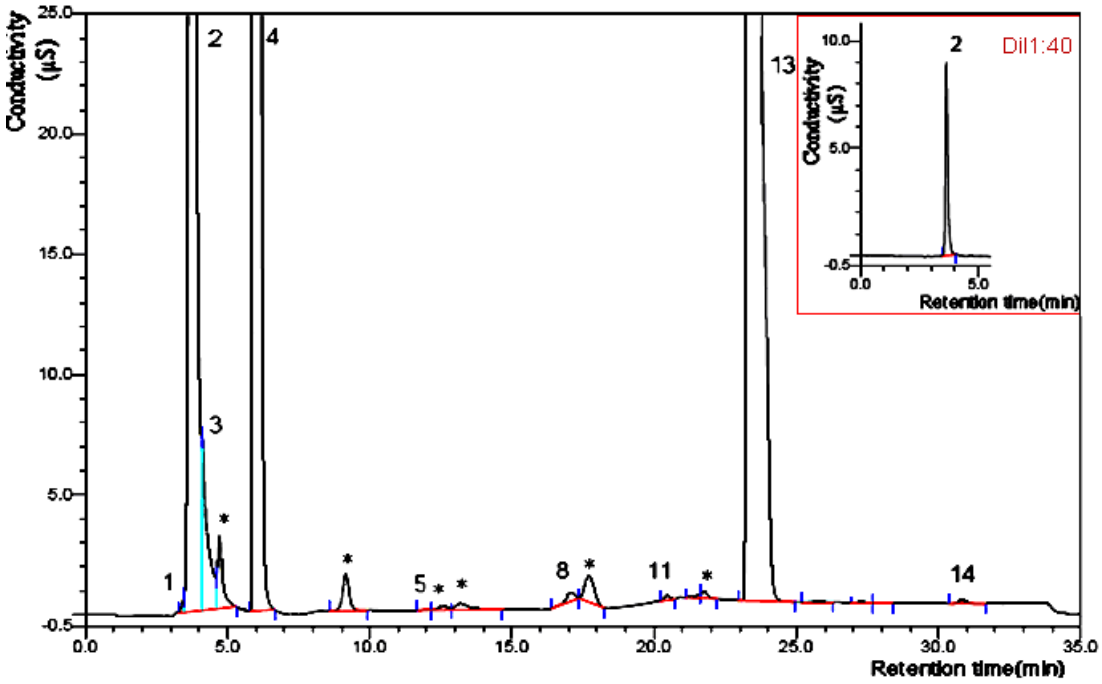
การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishA ถึง FishE ได้ผลดัง chromatogram (รูปที่ 67 ถึง 71) ตามลำดับ



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

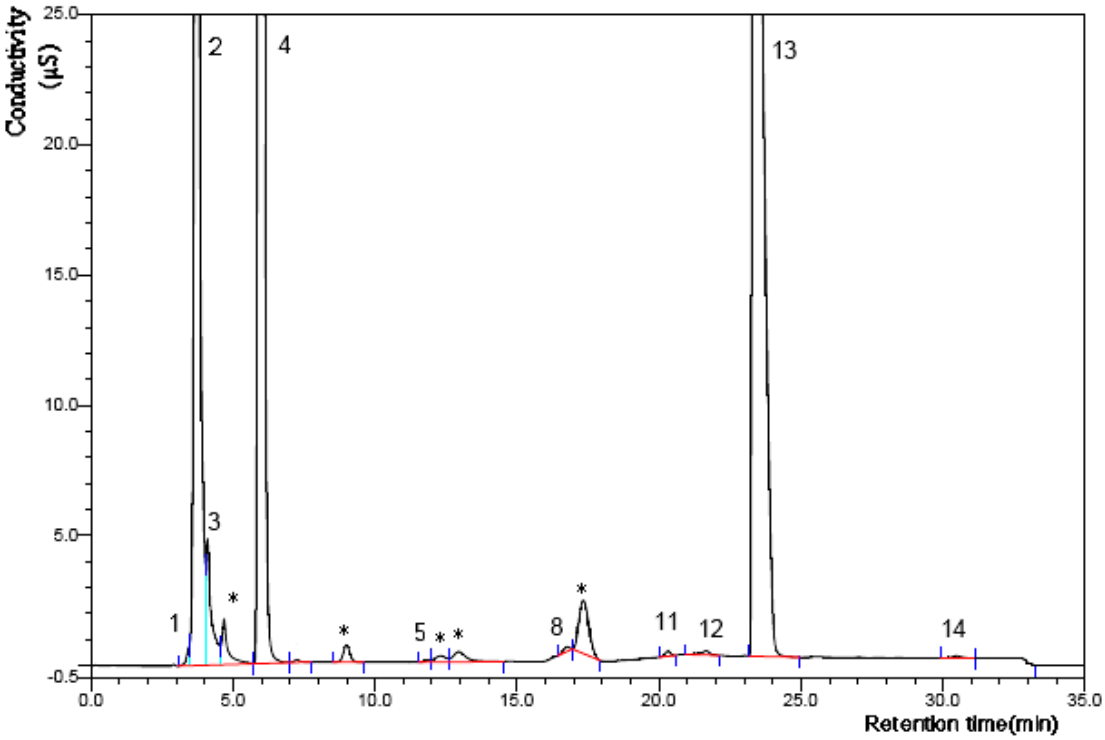
รูปที่ 67 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishA

(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 68 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishB

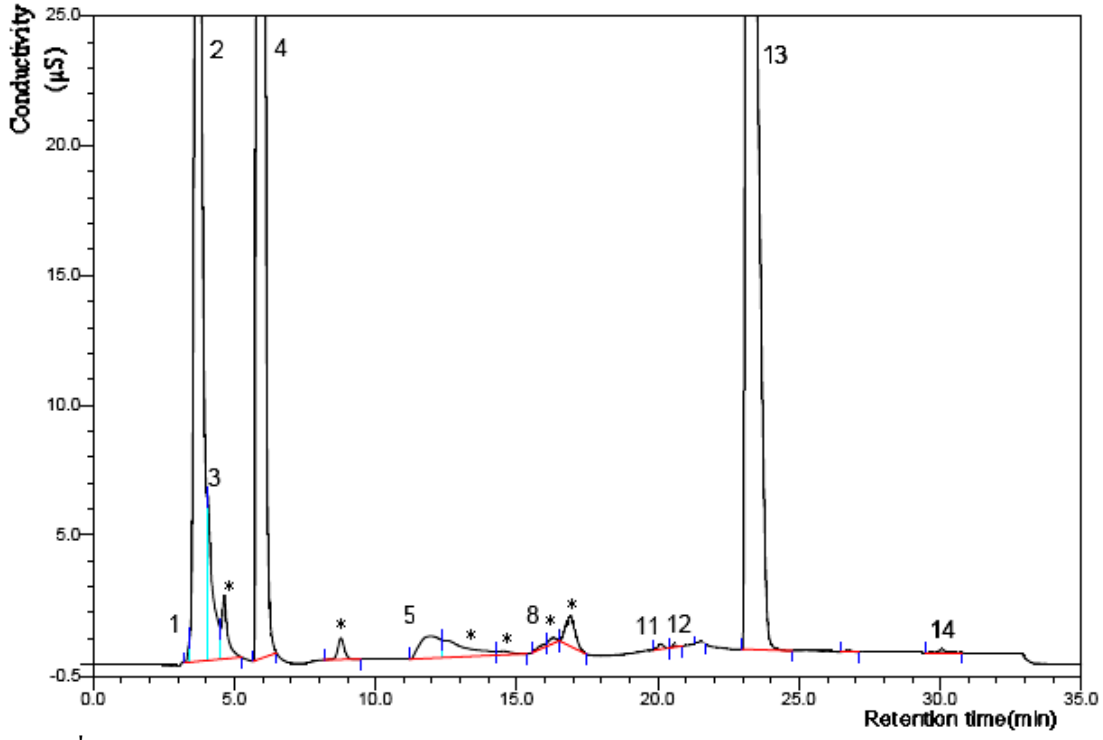
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 69 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishC

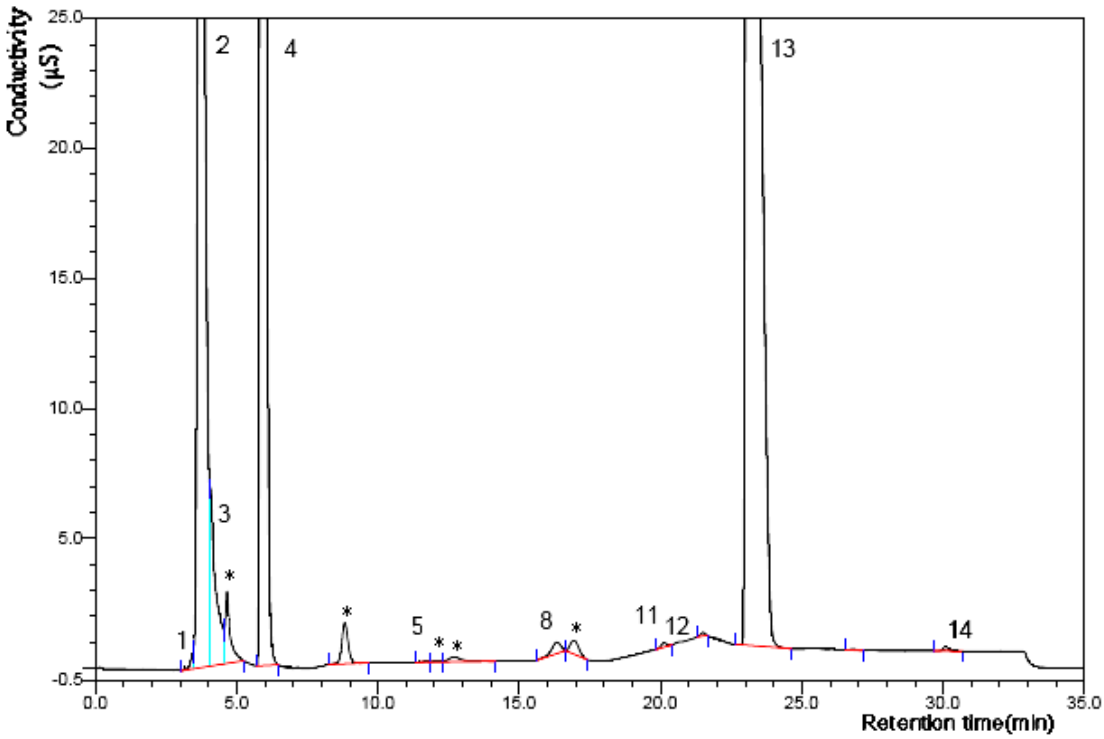
(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 70 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishD

(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)



รูปที่ 71 Chromatogram ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishE

(ดูหมายเลขกำกับจากรูปที่ 20; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ศึกษาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปลาทูน่ากระป๋อง โดยใช้วิธีเทียบปริมาณกับสารละลายมาตรฐานจาก Calibration curve ดังนี้

<u>การหาปริมาณ acetic acid ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง</u>

ในการศึกษาปริมาณของ acetic acid ในตัวอย่าง FishA และ FishB ได้ทำการ dilution ตัวอย่าง FishA 1:10 และ FishB 1:40 ดังรูปที่ 67 และ 68 ภาพแทรก ตามลำดับ

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน acetic acid ในช่วงความเข้มข้น 83-629 ppm แสดงดังรูปที่ 55 เป็นดังสมการเส้นตรง $y = 0.0276x + 2.8016$ มีค่า $r^2 = 0.999$ นำไปใช้หาปริมาณของ acetic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง FishA-FishE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 31

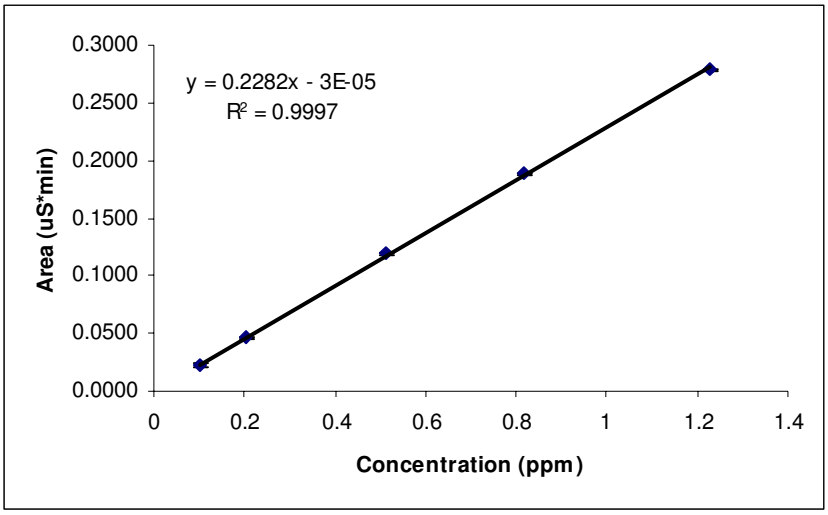
ตารางที่ 31 ปริมาณของ acetic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)	
				Low conc.	High conc.
FishA	3.80	8.519 ± 0.198	0.023	88.8 ± 13.3	92.5 ± 12.2
FishB	3.79	13.784 ± 0.151	0.041	105.6 ± 1.1	112.9 ± 8.8
FishC	3.73	7.673 ± 0.069	0.060	107.8 ± 6.9	88.0 ± 20.7
FishD	3.72	12.752 ± 0.146	0.209	82.8 ± 9.5	104.7 ± 18.0
FishE	3.75	13.033 ± 0.345	0.047	106.3 ± 14.1	94.5 ± 15.9

จากตารางที่ 31 จะเห็นว่า พบปริมาณของ acetic acid มากที่สุดในตัวอย่าง FishB มีปริมาณ 13.784 g/kg และจากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ที่ความเข้มข้นต่ำ (Low conc.) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน acetic acid เข้มข้น 31 ppm ในตัวอย่าง FishB, 20 ppm ในตัวอย่าง FishA และ FishE และ spiked สารละลายมาตรฐาน acetic acid เข้มข้น 10 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ ส่วนกรณีการศึกษา %recovery ที่ความเข้มข้นสูง (High conc.) จะทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน acetic acid เข้มข้นสูงกว่าที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 2 เท่า พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120% ทั้งที่ความเข้มข้นต่ำและที่ความเข้มข้นสูง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ fluoride ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง</u>



รูปที่ 72 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน fluoride ในช่วงความเข้มข้น 0.1-1.2 ppm

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน fluoride ในช่วงความเข้มข้น 0.1-1.2 ppm แสดงดังรูปที่ 72 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.2282x – 0.00003 มีค่า r^2 = 0.9997 นำไปใช้หาปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างปลากระป๋อง FishA-FishE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ปริมาณของ fluoride ในตัวอย่างปลากระป๋อง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)	
				Low conc.	High conc.
FishA	-	-	-	ไม่ได้ทดลอง	ไม่ได้ทดลอง
FishB	3.47	0.005 ± 0.0006	0.0002	93.8±18.6	99.9±3.4
FishC	3.47	0.007 ± 0.0004	0.001	106.4±2.6	119.0±3.0
FishD	3.42	0.005 ± 0.0001	0.0004	112.9±3.7	82.6±1.9
FishE	3.45	0.005 ± 0.0005	0.0003	105.9±1.5	119.0±3.5

- หมายถึง ตรวจไม่พบ

จากตารางที่ 32 จะเห็นว่า พบปริมาณของ fluoride ใกล้เคียงกันและไม่พบ fluoride ในตัวอย่าง FishA จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ที่ความเข้มข้นต่ำ (Low conc.) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน fluoride เข้มข้น 0.5 ppm ส่วนกรณีการศึกษา %recovery ที่ความเข้มข้นสูง (High conc.) จะทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน fluoride เข้มข้น 1 ppm พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120% ทั้งที่ความเข้มข้นต่ำและที่ความเข้มข้นสูง

<u>การหาปริมาณ formic acid ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง</u>

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน formic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.9-19 ppm แสดงดังรูปที่ 58 เป็นดังสมการเส้นตรง $y = 0.1382x - 0.0707$ มีค่า $r^2 = 0.9996$ นำไปใช้หาปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง FishA-FishE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ปริมาณของ formic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง (n = 5)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)	
				Low conc.	High conc.
FishA	4.18	0.173 ± 0.018	0.001	98.1 ± 2.7	103.3 ± 5.0
FishB	4.08	0.251 ± 0.008	0.008	117.0 ± 1.6	114.3 ± 5.3
FishC	4.10	0.179 ± 0.008	0.004	115.7 ± 4.0	92.7 ± 1.5
FishD	4.06	0.236 ± 0.014	0.014	92.9 ± 19.9	103.4 ± 1.1
FishE	4.07	0.239 ± 0.015	0.011	99.8 ± 8.8	105.5 ± 3.5

จากตารางที่ 33 จะเห็นว่า พบปริมาณของ formic acid มากที่สุดในตัวอย่าง FishB มีปริมาณ 0.251 g/kg และจากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ที่ความเข้มข้นต่ำ (Low conc.) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน formic acid เข้มข้น 4 ppm ในตัวอย่าง FishA, FishB และ FishE และ spiked สารละลายมาตรฐาน formic acid เข้มข้น 2 ppm ในตัวอย่างที่เหลือ ส่วนกรณีการศึกษา %recovery ที่ความเข้มข้นสูง (High conc.) จะทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน

formic acid เข้มข้นสูงกว่าที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 2 เท่า พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120% ทั้งที่ความเข้มข้นต่ำและที่ความเข้มข้นสูง

<u>การหาปริมาณ chloride ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง</u>

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน chloride ในช่วงความเข้มข้น 54-802 ppm แสดงดังรูปที่ 57 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.204x + 0.1549 มีค่า r^2 = 1 นำไปใช้หาปริมาณของ chloride ในตัวอย่างปลากระป๋อง FishA-FishE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 34

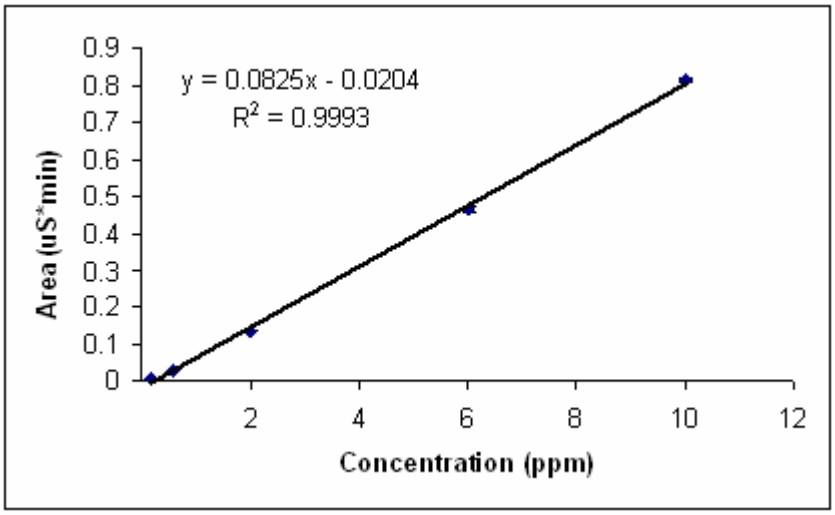
ตารางที่ 34 ปริมาณของ chloride ในตัวอย่างปลากระป๋อง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)	
				Low conc.	High conc.
FishA	6.08	7.039 ± 0.175	0.023	98.4 ± 7.8	41.9 ± 24.6
FishB	5.98	6.166 ± 0.193	0.030	108.6 ± 0.7	95.4 ± 18.7
FishC	5.94	3.724 ± 0.086	0.022	100.2 ± 7.8	97.5 ± 6.8
FishD	5.87	10.947 ± 0.386	0.224	86.6 ± 14.6	81.1 ± 16.8
FishE	5.88	4.812 ± 0.186	0.015	135.1 ± 5.7	108.1 ± 15.0

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 34 จะเห็นว่า พบปริมาณของ chloride มากที่สุดในตัวอย่าง FishD มีปริมาณ 10.947 g/kg และจากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ที่ความเข้มข้นต่ำ (Low conc.) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน chloride เข้มข้น 25 ppm ส่วนกรณีการศึกษา %recovery ที่ความเข้มข้นสูง (High conc.) จะทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน chloride เข้มข้นสูงกว่าที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 2 เท่า พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120% ทั้งที่ความเข้มข้นต่ำและที่ความเข้มข้นสูง ยกเว้น ในตัวอย่าง FishA ที่ความเข้มข้นสูง และ FishE ที่ความเข้มข้นต่ำ

<u>การหาปริมาณ succinic acid ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง</u>



รูปที่ 73 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน succinic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.2-10 ppm

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน succinic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.2-10 ppm แสดงดังรูปที่ 73 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0825x – 0.0204 มีค่า r^2 = 0.9993 นำไปใช้หาปริมาณของ succinic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง FishA-FishE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 35

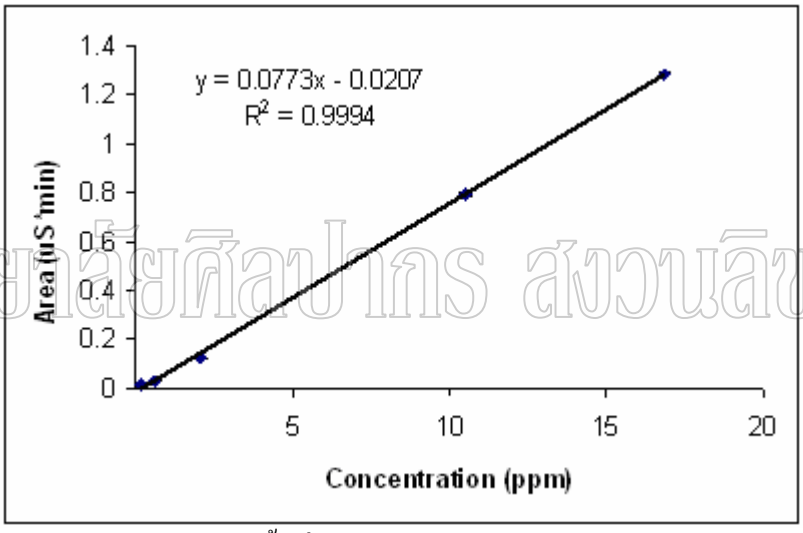
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 35 ปริมาณของ succinic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)	
				Low conc.	High conc.
FishA	18.15	0.014 ± 0.0006	0.003	78.9 ± 2.6	79.2 ± 1.9
FishB	17.10	0.036 ± 0.003	0.003	84.0 ± 4.3	87.1 ± 0.7
FishC	16.77	0.017 ± 0.0008	0.0007	87.1 ± 0.9	94.7 ± 0.8
FishD	16.29	0.024 ± 0.002	0.001	95.8 ± 4.3	97.2 ± 2.8
FishE	16.30	0.042 ± 0.005	0.002	84.4 ± 1.8	84.3 ± 3.3

จากตารางที่ 35 จะเห็นว่า พบปริมาณของ succinic acid มากที่สุดในตัวอย่าง FishE มีปริมาณ 0.042 g/kg และจากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ที่ความเข้มข้นต่ำ (Low conc.) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน succinic acid เข้มข้น 3 ppm ส่วนกรณีการศึกษา %recovery ที่ความเข้มข้นสูง (High conc.) จะทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน succinic acid เข้มข้นสูงกว่าที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 2 เท่า พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120% ทั้งที่ความเข้มข้นต่ำและที่ความเข้มข้นสูง

<u>การหาปริมาณ ascorbic acid ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง</u>



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 74 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.2-16.8 ppm

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.2-16.8 ppm แสดงดังรูปที่ 74 เป็นดังสมการเส้นตรง $y = 0.0773x – 0.0207$ มีค่า $r^2 = 0.9994$ นำไปใช้หาปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง FishA-FishE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 36

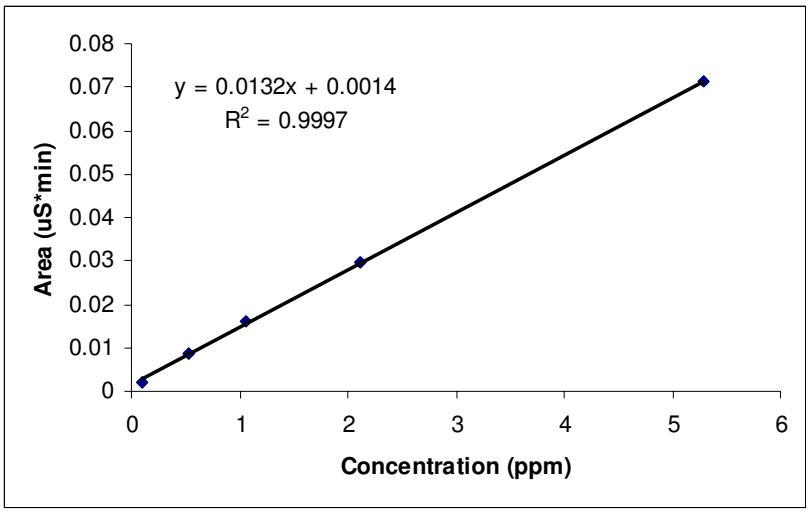
ตารางที่ 36 ปริมาณของ ascorbic acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)	
				Low conc.	High conc.
FishA	20.81	0.018 ± 0.0009	0.0002	44.5 ± 17.8	14.1 ± 0.2
FishB	20.46	0.017 ± 0.0005	0.0008	85.7 ± 9.4	81.3 ± 6.2
FishC	20.32	0.016 ± 0.0004	0.0004	106.8 ± 16.7	67.6 ± 2.7
FishD	20.10	0.017 ± 0.0004	0.001	62.2 ± 9.9	44.3 ± 12.1
FishE	20.11	0.015 ± 0.0001	0.0004	78.6 ± 9.0	55.8 ± 5.2

จากตารางที่ 36 จะเห็นว่า พบปริมาณของ ascorbic acid ใกล้เคียงกัน และจากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ที่ความเข้มข้นต่ำ (Low conc.) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน ascorbic acid เข้มข้น 0.5 ppm ส่วนกรณีการศึกษา %recovery ที่ความเข้มข้นสูง (High conc.) จะทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน ascorbic acid เข้มข้นสูงกว่าที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 2 เท่า พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120% ทั้งที่ความเข้มข้นต่ำและที่ความเข้มข้นสูง ยกเว้น ในตัวอย่าง FishA และ FishD มีค่า %recovery ต่ำกว่าช่วงยอมรับทั้งที่ความเข้มข้นต่ำและที่ความเข้มข้นสูง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>การหาปริมาณ benzoate ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง</u>



รูปที่ 75 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน benzoate ในช่วงความเข้มข้น 0.1-5 ppm

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน benzoate ในช่วงความเข้มข้น 0.1-5 ppm แสดงดังรูปที่ 75 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0132x + 0.0014 มีค่า r^2 = 0.9997 นำไปใช้หาปริมาณของ benzoate ในตัวอย่างปลากระป๋อง FishA-FishE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 37

ตารางที่ 37 ปริมาณของ benzoate ในตัวอย่างปลากระป๋อง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)	
				Low conc.	High conc.
FishA	-	-	-	ไม่ได้ทดลอง	ไม่ได้ทดลอง
FishB	-	-	-	ไม่ได้ทดลอง	ไม่ได้ทดลอง
FishC	21.64	0.020 ± 0.004	0.004	ไม่ได้ทดลอง	ไม่ได้ทดลอง
FishD	21.50	0.021 ± 0.0004	0.0002	ไม่ได้ทดลอง	ไม่ได้ทดลอง
FishE	21.49	0.033 ± 0.001	0.003	ไม่ได้ทดลอง	ไม่ได้ทดลอง

- หมายถึง ตรวจไม่พบ

จากตารางที่ 37 จะเห็นว่า พบปริมาณของ benzoate มากที่สุดในตัวอย่าง FishE มีปริมาณ 0.033 g/kg และไม่พบ benzoate ในตัวอย่าง FishA และ FishB ในตัวอย่าง FishC, FishD และ FishE พบปริมาณของ benzoate มากกว่า LOD แต่น้อยกว่า LOQ จึงไม่ได้ทดลองหาค่า % recovery จากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย

<u>การหาปริมาณ phosphate ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง</u>

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน phosphate ในช่วงความเข้มข้น 50-603 ppm แสดงดังรูปที่ 63 เป็นดังสมการเส้นตรง $y = 0.0762x - 0.2117$ มีค่า $r^2 = 1$ นำไปใช้หาปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างปลากระป๋อง FishA-FishE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 38

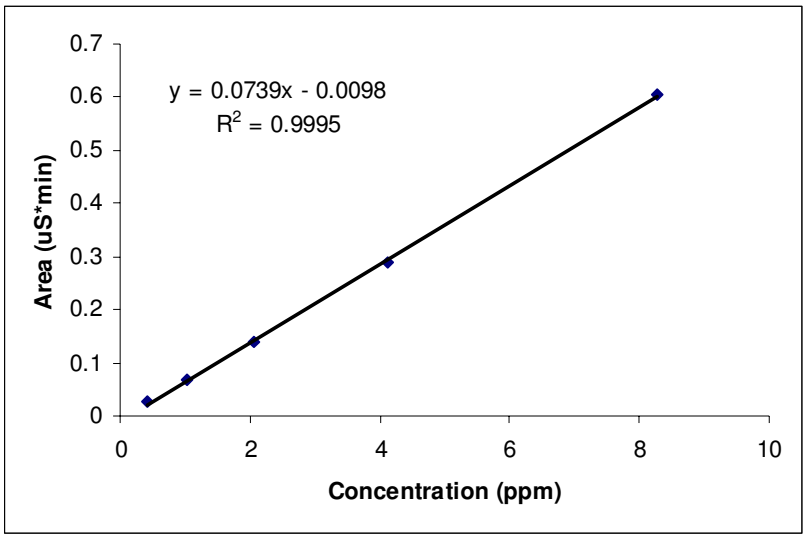
ตารางที่ 38 ปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างปลากระป๋อง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)	
				Low conc.	High conc.
FishA	23.68	6.705 ± 0.169	0.025	101.2 ± 3.5	59.7 ± 5.4
FishB	23.33	7.676 ± 0.096	0.058	97.8 ± 14.6	118.1 ± 1.0
FishC	23.37	4.885 ± 0.049	0.028	109.0 ± 1.1	97.5 ± 10.9
FishD	23.17	6.216 ± 0.076	0.070	100.4 ± 19.3	100.5 ± 0.2
FishE	23.09	8.270 ± 0.229	0.023	116.7 ± 9.3	112.8 ± 18.8

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 38 จะเห็นว่า พบปริมาณของ phosphate มากที่สุดในตัวอย่าง FishE มีปริมาณ 8.270 g/kg และจากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ที่ความเข้มข้นต่ำ (Low conc.) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน phosphate เข้มข้น 25 ppm ส่วนกรณีการศึกษา %recovery ที่ความเข้มข้นสูง (High conc.) จะทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน phosphate เข้มข้นสูงกว่าที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 2 เท่า พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120% ทั้งที่ความเข้มข้นต่ำและที่ความเข้มข้นสูง ยกเว้น ในตัวอย่าง FishA มีค่า %recovery ต่ำกว่าช่วงยอมรับที่ความความเข้มข้นสูง

<u>การหาปริมาณ citric acid ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง</u>



รูปที่ 76 Calibration curve ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน citric acid ในช่วงความเข้มข้น 0.4-8 ppm

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จาก Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน citric acid ในช่วงความเข้มข้น 0.4-8 ppm แสดงดังรูปที่ 76 เป็นดังสมการเส้นตรง y = 0.0739x – 0.0098 มีค่า r^2 = 0.9995 นำไปใช้หาปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง FishA-FishE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 39

ตารางที่ 39 ปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างปลากระป๋อง (n = 5)

Sample	Retention time (min)	Amount (g/kg)±S.D.	S.D. (inter-day)	% Recovery (n=2)	
				Low conc.	High conc.
FishA	31.83	0.009 ± 0.002	0.0001	89.1 ± 2.3	85.4 ± 1.7
FishB	30.87	0.010 ± 0.001	0.0006	84.2 ± 2.4	86.6 ± 0.9
FishC	30.51	0.010 ± 0.0006	0.0005	90.1 ± 1.6	119.5 ± 0.3
FishD	30.05	0.011 ± 0.0003	0.001	102.6 ± 0.4	106.7 ± 5.2
FishE	30.13	0.009 ± 0.0006	0.0005	109.5 ± 3.0	114.3 ± 1.0

จากตารางที่ 39 จะเห็นว่า พบปริมาณของ citric acid ใกล้เคียงกัน และจากการศึกษา precision ทั้ง intra-day และ inter-day (n=5) มีค่า S.D. เบี่ยงเบนเล็กน้อย ค่า accuracy ของข้อมูลจากการศึกษา %recovery (n=2) ที่ความเข้มข้นต่ำ (Low conc.) ได้ทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน citric acid เข้มข้น 2 ppm ส่วนกรณีการศึกษา %recovery ที่ความเข้มข้นสูง (High conc.) จะทำการ spiked สารละลายมาตรฐาน citric acid เข้มข้นสูงกว่าที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 2 เท่า พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ อยู่ในช่วง 80-120% ทั้งที่ความเข้มข้นต่ำและที่ความเข้มข้นสูง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 4
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมตัวอย่าง

ในการศึกษาขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง พบว่า ชาพร้อมดื่มสามารถฉีดตัวอย่างได้โดยตรง หลังจากทำการกรองตัวอย่างด้วย nylon membrane filter ขนาด 0.45 μm หรือ ขนาด 0.2 μm ส่วนใบชาแห้งมีวิธีการเตรียมตัวอย่าง โดยดัดแปลงจากวิธีของ Ding และคณะ [24] ส่วนวิธีการเตรียมตัวอย่างแฮมได้ดัดแปลงจากวิธีของ Siu และ Henshall [30] ในการสกัดสารที่สนใจในตัวอย่างแฮมและปลาทูน่ากระป๋อง พบว่า การใช้อุณหภูมิประมาณ 75 ^{0}C และการ homogenize เป็นเวลา 30 นาที จะให้สารที่สนใจออกมาได้มากที่สุด สำหรับตัวอย่างแฮมและปลาทูน่ากระป๋องนั้นจะใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างคล้ายกัน ต่างกันที่ความเร็วรอบในการ centrifuge โดยตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง จะใช้ความเร็วรอบมากกว่าตัวอย่างแฮม คือ 7,000 รอบต่อนาที เนื่องจากตัวอย่างปลาทูน่าส่วนที่สกัดได้จะค่อนข้างขุ่น และในตัวอย่างที่มีการแช่เนื้อปลาในน้ำมัน (Fish A และ Fish D) ต้องทำให้เกิดการแยกชั้นของน้ำกับน้ำมันก่อนทำการกรอง การเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีนี้ ส่วนที่สกัดออกมาแล้วไม่ต้องทำการ protein precipitation หรือใช้ SPE cartridge เพื่อกำจัด protein หรือ matrix อื่นๆออกก่อน ทำให้ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีนี้ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อนและให้ผลวิเคราะห์ที่ดี นอกจากนี้ตัวอย่างแฮมและปลาทูน่ากระป๋องเมื่อทำการสกัดเสร็จแล้วต้องทำการวิเคราะห์ทันทีเนื่องจากความไม่เสถียรของสารทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของสัญญาณที่ได้ [30] ดังนั้นต้องทำการวิเคราะห์ทันทีหรือทำการวิเคราะห์ให้เสร็จภายใน 12 ชั่วโมงหลังจากการสกัดเสร็จแล้ว โดยเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 4 ^{0}C

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

การใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟีศึกษาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างอาหาร โดยใช้ analytical column เป็น Dionex IonPac AS18 ที่มีขนาด particle size 4 μm มี functional group เป็น Alkanol quaternary ammonium และใช้ตัวชะเป็น potassium hydroxide ที่ได้จากเครื่องผลิตตัวชะชนิดไฮดรอกไซด์แบบอัตโนมัติ EG50 ควบคุมด้วยเครื่อง Dionex reagent-free controller RFC-30 โดยเตรียมจาก deionized water พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารที่

สนใจต่างๆ คือ การทำ gradient ของ KOH เข้มข้น 15 mM ที่เวลา 1 ถึง 15 นาทีและเพิ่มความเข้มข้นเป็น 40 mM ที่เวลา 15 ถึง 35 นาที ถึงแม้ว่า peak ของ fluoride, acetic acid และ formic acid แยกออกจากกันได้ไม่ดี (ดังรูปที่ 20) อาจแก้ไขได้โดยการทำ dilution ตามความเหมาะสมในกรณีที่มีความเข้มข้นของสารที่สนใจเหล่านี้อยู่สูง แม้จะมีข้อด้อยอยู่บ้างแต่ประหยัดกว่าการซื้อเครื่องที่รุ่นสูงกว่าและเหมาะกับงานวิเคราะห์ที่เป็น routine

ตัวอย่างของงานวิจัยที่มีการใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟีที่คล้ายกัน กล่าวคือ ใช้คอลัมน์และใช้เครื่องผลิตตัวชะชนิดไฮดรอกไซด์แบบอัตโนมัติคล้ายกัน เสนอโดย Sekiguchi และคณะ [36] และ Zhu และคณะ [37] พบว่าการใช้เครื่องผลิตตัวชะชนิดไฮดรอกไซด์แบบอัตโนมัติให้ความแม่นยำและความเที่ยงในการวิเคราะห์สารที่สนใจได้ดีกว่าการเตรียม KOH แบบ off-line อีกทั้งยังลดปัญหาที่เกิดจากการปนเปื้อนขณะเตรียมสาร หรือลดการเกิด carbonate ในระบบได้

4.3 การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตโดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี

4.3.1 การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในชา

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในใบชาแห้งและชาพร้อมดื่ม พบว่าตัวอย่างชาพร้อมดื่ม tea B และ tea F มี peak ที่มีค่า retention time ใกล้เคียงกับ retention time ของ fluoride (t_R = 3.1 นาที) ซึ่งแก้ไขโดยการ dilution ตัวอย่างที่มีการซ้อนใกล้กันมากๆ โดยที่ peak ของสารที่สนใจอื่นๆ ที่มีความเข้มข้นต่ำ ยังสามารถวิเคราะห์ได้ โดยผลจากการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในชาพร้อมดื่มและใบชาแห้ง แสดงดังตารางที่ 40 และ 41 ตามลำดับ

ตารางที่ 40 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆที่พบในตัวอย่างชาพร้อมดื่มจำนวน 7 ตัวอย่าง (tea A ถึง tea G)

Compound	Conc. (mg/L)	Precision (S.D.)		Accuracy
		Intra-day	Inter-day	(%recovery)
Fluoride	14.16-106.22	0.03-0.25	0.03-0.27	89.8-109.2
Formic acid	1.59-14.50	0.01-0.06	0.01-0.39	94.6-111.6
Chloride	6.13-12.41	0.002-0.06	0.006-0.11	87.6-105.8
Ascorbic acid	64.47-399.94	0.02-0.12	0.05-0.59	91.9-107.3
Phosphate	5.61-92.67	0.004-0.03	0.005-0.07	87.8-103.6
Citric acid	4.46-2477.35	0.003-0.49	0.002-0.33	96.0-113.6

จากการทดลอง พบว่าในตัวอย่าง tea A มีความเข้มข้นของ phosphate มากที่สุด (เรียงลำดับได้ดังนี้ tea A > tea G > tea E > tea C > tea B > tea D > tea F) ในตัวอย่าง tea B มีความเข้มข้นของ fluoride และ ascorbic acid มากที่สุด (เรียงลำดับได้ดังนี้ tea B > tea D > tea C > tea E > tea A > tea G > tea F และ tea B > tea G > tea A > tea F > tea D > tea C > tea E ตามลำดับ) ซึ่งเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลากข้างขวด คือ ตัวอย่างที่มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำชาเป็นองค์ประกอบอยู่มากจะมีแร่ธาตุมากตามด้วย และในกระบวนการผลิตอาจมีการสูญเสีย vitamin อย่างเช่น vitamin C ทำให้ในบางผู้ผลิตมีการเติม ascorbic acid ลงไปด้วย เช่น ตัวอย่าง tea B มีการเติม vitamin C 0.1% เป็นต้น ในตัวอย่าง tea D มีความเข้มข้นของ chloride มากที่สุด (เรียงลำดับได้ดังนี้ tea D > tea G > tea E > tea F > tea A > tea B > tea C) ในตัวอย่าง tea F มีความเข้มข้นของ citric acid มากที่สุด (เรียงลำดับได้ดังนี้ tea F > tea G > tea D > tea C > tea A > tea E > tea B) โดยพบว่า ในตัวอย่าง tea F และ tea G จะมีการเติมมะนาวในรูปต่างๆลงไป เช่น tea F มีการเติมมะนาวผง 0.3 % และ tea G มีการเติมน้ำมะนาว 0.01 % เป็นการเพิ่มรสเปรี้ยวให้กับเครื่องดื่มชา โดยตรวจพบความเข้มข้นของ citric acid ถึง 2477.35 และ 1422.72 ppm ตามลำดับ ในตัวอย่าง tea G มีความเข้มข้นของ formic acid มากที่สุด (เรียงลำดับได้ดังนี้ tea G > tea B > tea F > tea D > tea C > tea E > tea A) จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ดี ให้ความเที่ยง ความแม่นยำที่ดี สามารถหาความเข้มข้นได้ช่วงที่กว้าง อีกทั้งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างที่ไม่ซับซ้อน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 41 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆที่พบในตัวอย่างใบชาแห้งจำนวน 5 ตัวอย่าง (tea H ถึง tea L)

Compound	Conc. (g/100g)	Precision (S.D.)		Accuracy
		Intra-day	Inter-day	(%recovery)
Fluoride	0.497-0.683	0.005-0.016	0.001-0.012	103.4-109.3
Formic acid	0.026-0.065	0.003-0.005	0.001-0.002	97.9-108.8
Chloride	0.069-0.129	0.001-0.003	0.001-0.002	92.8-100.2
Ascorbic acid	1.416-2.313	0.018-0.067	0.007-0.039	83.9-93.0
Phosphate	0.218-0.330	0.001-0.017	0.001-0.009	97.3-105.6
Citric acid	0.022-0.272	0.002-0.005	0.001-0.017	92.1-108.3

จากการศึกษาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆ ที่พบในตัวอย่างแต่ละชนิดของใบชาแห้งทั้งหมด คือ green tea, Oolong tea, Black tea และ Chinese tea green tea พบว่า ในตัวอย่าง

green tea จะมีความเข้มข้นของ fluoride และ phosphate มากที่สุด (เรียงลำดับได้ดังนี้ Green tea > Chinese tea > Oolong tea > Black tea และ Green tea > Black tea > Chinese tea > Oolong tea ตามลำดับ) ในตัวอย่าง Black tea จะมีความเข้มข้นของ chloride และ citric acid มากที่สุด (เรียงลำดับได้ดังนี้ Black tea > Oolong tea > Chinese tea > Green tea) ในตัวอย่าง Chinese tea จะมีความเข้มข้นของ formic acid และ ascorbic acid มากที่สุด (เรียงลำดับได้ดังนี้ Chinese tea > Oolong tea > Black tea > Green tea) (กรณีของ ascorbic acid ไม่นับตัวอย่าง tea K ซึ่งจัดเป็น mixed tea)

การศึกษาด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟีในตัวอย่างใบชาชนิดต่างๆได้มีผู้ทำการศึกษา คือ Ding และคณะ [24] ได้ศึกษาสารอินทรีย์ต่างๆ คือ acetic acid, ascorbic acid, succinic acid, malic acid, citric acid และ tartaric acid และสารอนินทรีย์ต่างๆ คือ phosphate, chloride และ sulphate ในชา ใช้ตัวชะผสมระหว่าง 0.75 mmol/L potassium hydrogenphthalate และ 0.25 mmol/L phthalic acid ที่ pH 3.5 พบว่า มีขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0.04 ถึง 0.19 mg/L สำหรับสารอนินทรีย์และ 0.48 ถึง 1.34 mg/L สำหรับสารอินทรีย์ โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 45 นาที Alcazar และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาสารอินทรีย์ต่างๆ คือ acetic acid, malic acid, ascorbic acid, citric acid และ succinic acid และสารอนินทรีย์ต่างๆ คือ chloride และ phosphate ในกาแฟและชา ใช้ตัวชะเป็น 0.6 mM aqueous potassium hydrogenphthalate (pH 4.0) แบบ isocratic elution ที่มี 4%(v/v) acetonitrile อยู่ด้วย พบว่า มีขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ อยู่ในช่วง 0.6 ถึง 12.6 mg/L โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ 25 นาที และ Kumar และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาแอนไอออนต่างๆ คือ fluoride, chloride, bromide, iodide, nitrate, phosphate และ sulphate ในชาชง (ชาดำและ kombucha tea) โดยใช้ Metrosep anion dual 2 เป็น analytical column ตัวชะเป็น 1.3 mM Na_2CO_3 และ 2 mM $NaHCO_3$ โดยมีขั้นตอน sample clean-up เพื่อขจัดสารอินทรีย์อื่นๆ ออกก่อนโดยใช้ On Guard-P กับ On Guard-RP cartridges พบว่า มีขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ อยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.05 μg/mL ใช้เวลาในการวิเคราะห์ 35 นาที ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่พบในตัวอย่างใบชา แสดงในตารางที่ 42

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 42 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่พบในตัวอย่างใบชาชนิดต่างๆ ของงานวิจัยอื่นๆ

	Type of Tea sample	Amount of Compound (mg/g) ± S.D.					
		Fluoride	Formic acid	Chloride	Ascorbic acid	Phosphate	Citric acid
present	GT	6.83 ± 0.016	0.26 ± 0.003	0.69 ± 0.001	14.16 ± 0.067	3.30 ± 0.017	0.22 ± 0.002
	OT	5.10 ± 0.008	0.63 ± 0.005	1.07 ± 0.003	18.54 ± 0.022	2.18 ± 0.001	1.65 ± 0.004
	BT	4.97 ± 0.005	0.55 ± 0.005	1.29 ± 0.002	17.69 ± 0.018	3.08 ± 0.003	2.72 ± 0.003
	CT	5.81 ± 0.010	0.65 ± 0.004	0.86 ± 0.002	19.82 ± 0.033	2.66 ± 0.007	1.17 ± 0.005
Ding et al. (1997)	JasT	-	-	1.04	10.54	8.00	8.54
	GT	-	-	1.78	9.52	7.88	7.64
	JT	-	-	1.94	22.34	11.84	7.42
Alcazar et al. (2003)	GT	-	-	0.50	5.87	1.91	2.42
	OT	-	-	0.55	5.67	2.34	2.13
	BT	-	-	0.60	4.64	2.93	2.34
Kumar et al. (2008)	KomT	3.20	-	0.96	-	0.04	-
	BT	1.20	-	3.12	-	0.08	-

GT = Green tea, OT = Oolong tea, BT = Black tea, CT = Chinese tea, JasT = Jasmine tea, JT = Japanese tea and KomT = Kombucha tea - หมายถึง ไม่ได้รายงาน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 42 พบว่า การวิเคราะห์หาปริมาณของ phosphate ในตัวอย่างชาชนิด Oolong tea และ Black tea และปริมาณของ citric acid ในตัวอย่างชาชนิด Black tea มีปริมาณใกล้เคียงกับที่รายงานโดย Alcazar และคณะ

4.3.2 การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแฮม

ในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแฮม พบว่า peak ของ bromide จะออกมาทีหลัง peak ของ nitrite (bromide มีค่า t_R = 12.8 นาทีและ nitrite มีค่า t_R = 8.2 นาที) ต่างจากลำดับที่ได้ในการวิเคราะห์กับสารมาตรฐานผสม จากโครมาโตแกรม (รูปที่ 45 ถึง 54) จะเห็นว่ามี peak ที่ค่อนข้างซับซ้อน และจะแยกออกจากกันได้ยากถ้าทำการเตรียมตัวอย่างไม่ดี เช่น การใช้เวลาในการ homogenize ความเร็วรอบในการ homogenize และการให้ความร้อนที่น้อยเกินไป เป็นต้น หลังจากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละครั้งต้องทำการ clean คอลัมน์และ equilibrate ก่อนเพื่อกำจัด bound proteins และองค์ประกอบใน matrix ต่างๆออกก่อน โดยใช้ 80 mM KOH เป็นเวลา 10 นาที โดยผลจากการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแฮม แสดงดังตารางที่ 43

ตารางที่ 43 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆที่พบในตัวอย่างแฮม จำนวน 5 ตัวอย่าง (ham A ถึง ham E)

Compound	Conc. (g/kg)	Precision (S.D.)		Accuracy (%recovery)
		Intra-day	Inter-day	
Acetic acid	9.582-25.986	0.103-0.752	0.082-0.178	84.1-123.7
Fluoride	N/D-0.023	0.016	0.002	121.5
Chloride	13.365-21.668	0.106-0.447	0.109-0.198	74.6-102.0
Formic acid	0.062-0.728	0.005-0.031	0.023-0.044	103.9-136.8
Nitrite	0.015-0.121	0.001-0.003	0.001-0.002	86.8-104.6
Nitrate	0.012-0.029	0.0005-0.002	0.0006-0.004	88.2-98.6
Succinic acid	0.046-0.066	0.003-0.010	0.001-0.007	86.7-101.0
Ascorbic acid	0.047-2.214	0.011-0.140	0.002-0.085	87.4-110.9
Phosphate	6.439-8.709	0.058-0.264	0.036-0.103	93.6-113.9
Citric acid	0.021-0.032	0.001-0.003	0.001-0.007	86.2-116.6

N/D = not detect

จากตารางที่ 43 พบว่า การวิเคราะห์หาความเข้มข้นใน peak แรกๆ อย่างเช่น acetic acid, fluoride, formic acid และ chloride ทำได้ยาก เนื่องจาก peak เหล่านี้แยกออกจากกันได้ไม่ดี และในบางตัวอย่างมี matrix ออกมาใกล้กัน ทำให้การ integrate ข้อมูลค่อนข้างยาก และผลของ %recovery ที่ได้ไม่ดีนัก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆ ในตัวอย่างแฮม จะมีปริมาณของ acetic acid, chloride และ phosphate เป็นองค์ประกอบหลัก และในตัวอย่าง Ham B เท่านั้นที่พบ fluoride

การศึกษา nitrate และ nitrite ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ได้แก่ แฮม และ salami เสนอโดย Siu และ Henshall [30] โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟีที่มี UV absorbance เป็นตัวตรวจวัด พบว่า การใช้ตัวตรวจวัดเป็น UV absorbance สามารถจำเพาะกับ nitrate และ nitrite ขจัดตัวรบกวนจากไอออนอื่นๆที่มีอยู่สูงกว่าได้ ขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้สำหรับ nitrate และ nitrite เท่ากับ 50 μg/L และ 30 μg/L ตามลำดับ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ 10 นาที เปรียบเทียบ %recovery ที่ได้แสดงดังตารางที่ 44 เมื่อเปรียบเทียบ %recovery ของ nitrite และ nitrate ในตัวอย่างแฮมกับงานวิจัยของ Siu และ Henshall พบว่า มี %recovery ของ nitrite และ nitrate ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นของ nitrite และ nitrate ที่ได้จากตัวอย่างแฮมในท้องตลาด ประเทศไทย มีค่าไม่เกินปริมาณสูงสุดที่กฎหมายกำหนดให้ใช้ (การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ดูที่ ภาคผนวก)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 44 เปรียบเทียบ %recovery ของ nitrite และ nitrate ในตัวอย่างแฮมกับงานวิจัยอื่นๆ

	Nitrite	Nitrate
	% Recovery	% Recovery
present	86.8-104.6 %	88.2-98.6 %
Siu and Henshall	90 – 105 %	90 – 100%

4.3.3 การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปลาทูน่ากระป๋อง

ในการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปลาทูน่ากระป๋อง พบว่า มี peak ที่ค่อนข้างซับซ้อนเช่นเดียวกับในตัวอย่างแฮม โดยในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋องจะมีปริมาณของ acetic acid, chloride และ phosphate เป็นองค์ประกอบหลัก ผลจากการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปลาทูน่ากระป๋อง แสดงดังตารางที่ 45 จะเห็นว่าแม้จะมี matrix ที่ซับซ้อนแต่สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่ดี มีความเที่ยงและความแม่นยำที่ดี โดยได้ศึกษา %recovery ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋องที่ความเข้มข้นต่ำและสูง ซึ่งการ spiked ที่ความเข้มข้นต่ำๆ จะให้ผลที่ดีกว่า และสามารถวิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋องได้ทั้งปลาทูน่าที่แช่ในน้ำเกลือ น้ำมัน น้ำผัก และน้ำแร่ ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเป็นการศึกษาโลหะ

หนัก หรือโลหะปนเปื้อนต่างๆ เช่น mercury, cadmium, arsenic และ lead เป็นต้น ในปลาทูน่ากระป๋องเป็นส่วนใหญ่ [32], [33]

ตารางที่ 45 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆที่พบในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง จำนวน 5 ตัวอย่าง (fish A ถึง fish E)

Compound	Conc. (g/kg)	Precision (S.D.)		Accuracy (%recovery)	
		Intra-day	Inter-day	Low conc.	High conc.
Acetic acid	7.673-13.784	0.069-0.345	0.023-0.209	82.8-107.8	88.0-112.9
Fluoride	0.005-0.007	0.0001-0.0006	0.0002-0.001	93.8-112.9	82.6-119.0
Formic acid	0.173-0.251	0.008-0.018	0.001-0.014	92.9-117.0	92.7-114.3
Chloride	3.724-10.947	0.086-0.386	0.015-0.224	86.6-135.1	41.9-108.1
Succinic acid	0.014-0.042	0.0006-0.005	0.0007-0.003	78.9-95.8	79.2-97.2
Ascorbic acid	0.015-0.018	0.0001-0.0009	0.0002-0.001	44.5-106.8	14.1-81.3
Benzoate	0.020-0.033	0.0004-0.001	0.0002-0.004	ไม่ได้ทดลอง	ไม่ได้ทดลอง
Phosphate	4.885-8.270	0.049-0.229	0.023-0.070	97.8-116.7	59.7-118.1
Citric acid	0.009-0.011	0.0003-0.001	0.0001-0.001	84.2-109.5	85.1-119.5

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากผลการศึกษาทั้งหมด สรุปได้ว่า เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟีเป็นอีกเทคนิคทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ ดังที่มีการยกตัวอย่างอาหารบางประเภทมาศึกษา ให้ผลที่มีความน่าเชื่อถือ มีความเที่ยง ความแม่นยำที่ดี มี sensitivity ที่สูง มีวิธีการเตรียมตัวอย่างที่ไม่ซับซ้อน และนอกจากจะใช้ในการควบคุมคุณภาพปริมาณของวัตถุเจือปนที่มีอยู่ในตัวอย่างอาหารแล้ว ยังสามารถนำมาศึกษา รวบรวมข้อมูลจาก profile ของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ นำมาทำ characterization ของตัวอย่างอาหารชนิดนั้นๆในแต่ละแห่งต่อไปได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. รองศาสตราจารย์เภสัชกรหญิง เทวี โพธิผละ (2539) เอกสารการสอนชุดวิชา เทคโนโลยีอาหารและเครื่องดื่ม มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พิมพ์ครั้งที่ 1.
2. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 58 พ.ศ. 2524.
3. รองศาสตราจารย์ รัชนี ตัณฑะพานิชกุล (2544) เคมีอาหาร มหาวิทยาลัยรามคำแหง พิมพ์ครั้งที่ 1.
4. ดร.สุเมธ ตันตระเธียร (2538) เอกสารการสอนชุดวิชา เคมีและจุลชีววิทยาของอาหาร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พิมพ์ครั้งที่ 1.
5. สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) [Online], accessed 26 January 2008. Available from http://cms.sme.go.th/cms/c/portal/layout?p_l_id=25.668
6. รองศาสตราจารย์ ศิวาพร ศิวเวชช และคณะ (2538) เอกสารการสอนชุดวิชาเคมีและจุลชีววิทยาของอาหาร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พิมพ์ครั้งที่ 1.
7. สุกิจ นววงศ์ (2548) วัตถุเจือปนอาหาร หจก.เอมี่ เทรดดิ้ง กรุงเทพฯ พิมพ์ครั้งที่ 1.
8. รองศาสตราจารย์ ศิวาพร ศิวเวชช (2546) วัตถุเจือปนอาหาร (เล่ม 1) โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม พิมพ์ครั้งที่ 1.
9. Codex Alimentarius Commission FAO/WHO, “Guide to the safe use of food additives”, 2nd ed Series, Food Standard Program CAC FAL5, 1979.
10. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 281 เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร พ.ศ. 2547.
11. Joseph, A.M. and Anthony, T.T., “Food additive toxicology” Marcel Dekker, New York 1995,15, 97.
12. Gardner, W.H. in “Handbook of food additives” Furia, T.E.(ed.). 2nd ed., Vol.1, CRC press, Cleveland. 1999, 225-270.
13. Fiddler, W., Pensaben, J.W.I. and Piotrowaski, E.G., *J.Food Sci.,* **38** (1973) 1804-1806.
14. Mottram, D.S. Pattersow, R.L.S., Rhodes, D.N. and Gough, T.A., *J. Food Sci*., **38** (1975) 1084-1086.
15. Branen, A.L., David, P.M. son and Salminen, S.(eds.), “Food Additives” Marcel Dekker, New York 1990, 139-193.
16. Dulton, H.T., Schwab, A.W., Moser, H.A. and Cowan, I.C., *J. Am .Oil Chem. Soc.*, **25** (1978) 385-389.
17. Saccani, G., Gherardi, S., Trifiro, A., Soresi, B.C., Calza, M. and Freddi, C., *J. Chromatogr. A*., **706** (1995) 395-403.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

18. Lodi, S. and Rossin, G., *J. Chromatogr. A*., **706** (1995) 375-383.

19. Chen, Q-C. and Wang, J., *J. Chromatogr. A*., **937** (2001) 57-64.

20. Masson, P., *J. Chromatogr.A.,* **881** (2000) 387-394.

21. Buldini, P.L., Cavalli, S. and Sharma, J.L., *Microchem. J.*, **72** (2002) 277-284.

22. Yoshikawa, K., Okamura, M., Inokuchi, M. and Sakuragawa, A., *Talanta*., **72** (2007) 305-309.

23. Wu, C.H., Lo, Y.S., Lee, Y-H. and Lin, T-I., *J. Chromatogr. A.,* **716** (1995) 291-301.

24. Ding, M-Y., Chen, P-R. and Luo, G-A., *J. Chromatogr. A*., **764** (1997) 341-345.

25. Horie, H., Yamauchi, Y. and Kohata, K., *J. Chromatogr. A*., **817** (1998) 139-144.

26. Alcazar, A., Fernandez-Caceres, P.L., Martin, M.J., Pablos, F. and Gonzalez, A.G., *Talanta.*, **61** (2003) 95-101.

27. Michalski, R., *J. Food Quality*., **29** (2006) 607-616.

28. Kumar, S.D., Narayan, G. and Hassarajani, S., *Food Chem*., **111** (2008) 784-788.

29. Marshall, P.A. and Trenerry V.C., *Food Chem.,* **57** (1996) 339-345.

30. Siu, D.C. and Henshall, A., *J. Chromatogr. A.,* **804** (1998) 157-160.

31. Ferreira, I.M.P.L.V.O. and Silva, S., *Talanta.,* **74** (2008) 1598-1602.

32. Voegborlo, R.B., El-Methnani, A.M. and Abedin, M.Z., *Food Chem.,* **67** (1999) 341-345.

33. Khansari, F.E., Khansari, G-M. and Abdollahi, M., *Food Chem.,* **93** (2005) 293-296.

34. Dionex Corporation [Online], accessed 5 December 2007. Available from www. Dionex.com

35. ทิพวรรณ นิ่งน้อย (2549) แนวปฏิบัติการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางเคมี โดยห้องปฏิบัติการเดียว กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข พิมพ์ครั้งที่ 1.

36. Sekiguchi, Y., Matsunaga, A., Yamanoto, A. and Inoue, Y., *J. Chromatogr. A.,* **881** (2000) 639-644.

37. Zhu, Y., Guo, Y., Ye, M. and James, F.S., *J. Chromatogr. A*., **1085** (2005) 143-146.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
benzoic acid	ขนมหวานที่ทำจากนม เช่น ไอศกรีม พุดดิ้ง โยเกิร์ตปรุงแต่ง หรือผสมผลไม้ เป็นต้น	300 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	เนยเทียม	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลิตภัณฑ์น้ำผสมน้ำมัน (อิมัลชั่น) ที่มีปริมาณน้ำมันต่ำกว่าร้อยละ 80 เช่น มินารีน	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลิตภัณฑ์อิมัลชั่นอื่น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อิมัลชั่นที่ใช้แต่งหน้าขนม เป็นต้น	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ขนมหวานที่ทำจากไขมันอื่นที่มิใช่ไขมันนม เช่น ไอศกรีมดัดแปลง เป็นต้น	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลไม้ในน้ำส้มสายชู น้ำมัน หรือน้ำเกลือ	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลิตภัณฑ์ป้ายขนมที่ทำจากผลไม้ ยกเว้นแยม เยลลี่ และมาร์มาเลด	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลไม้กวน	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลิตภัณฑ์ผลไม้บด ผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ใช้ราดหน้า และรวมทั้งกะทิ	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
benzoic acid	ขนมหวานที่ทำจากผลไม้ เช่น ขนมเยล-ลี่ เป็นต้น และรวมทั้งขนมหวานชนิดน้ำที่มีผลไม้เป็นส่วนประกอบ เช่น ผลไม้ลอยแก้ว เป็นต้น	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลไม้ดอง	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ใช้ทำไส้ขนม	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลไม้ปรุงสุกหรือผลไม้ทอด	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลิตภัณฑ์ผักหรือสาหร่ายในน้ำส้มสายชู น้ำเกลือ หรือซีอิ๊ว	2,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลิตภัณฑ์ป้ายขนมที่ทำจากผัก หรือถั่ว หรือเมล็ดพืชอื่น ๆ เช่น เนยถั่ว	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผักบด ถั่วบด หรือเมล็ดพืชบด เช่น ซอสผัก ผักกวนหรือแช่อิ่ม เป็นต้น แต่ไม่รวมผลิตภัณฑ์ที่ใช้ป้ายขนม เช่น เนยถั่ว เป็นต้น	3,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผักดอง	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ผักหรือสาหร่ายปรุงสุกและผักหรือสาหร่ายทอด	1,000 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	ซุปและซุปใส	500 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก
	เครื่องดื่ม	200 คำนวณเป็นกรดเบน-โซอิก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
propionic acid	น้ำตาลปีบ	2,000
	โพรเซสชีส	3,000
	ผลิตภัณฑ์นม ยกเว้น นมจืดชนิดเหลว นมเปรี้ยวไม่ปรุงแต่ง ครีมพาสเจอร์ไรส์ ครีมสเตอริไลส์ ครีมยูเอชที วิปปิ้งครีม และครีมไขมันต่ำ ยกเว้นโพรเซสชีส	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำผสมน้ำมัน (อิมัลชั่น) เช่น เนยเทียม มินารีน รวมทั้งขนมหวานทำนองนี้	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ไอศกรีม	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น ผลไม้แห้ง ผลไม้ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง ขนมหวานจากผลไม้ เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	พืชผัก สาหร่าย ถั่วเปลือกแข็งและเมล็ดพืชต่าง ๆ ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น พืชผักแห้ง พืชผักที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง เป็นต้น ยกเว้นกรรมวิธีเยือกแข็ง และหมักดอง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ลูกกวาด ลูกอม ช็อกโกแลต หมากฝรั่ง เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ธัญพืชอาหารเช้า ขนมหวานจากธัญพืช แป้งสำหรับชุบอาหารทอด และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง ขนมเค้ก คุกกี้ ขนมพาย เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
propionic acid	ผลิตภัณฑ์เนื้อ ยกเว้นเนื้อสด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ยกเว้นสัตว์น้ำสดและสัตว์น้ำเยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ไข่ ยกเว้นไข่สด ไข่เหลว และไข่เยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทซอส ซุป สลัด และผลิตภัณฑ์โปรตีนสกัด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	- ปริมาณที่เหมาะสม
	เครื่องดื่ม ยกเว้นน้ำผักผลไม้ น้ำแร่ธรรมชาติ ชา กาแฟ เครื่องดื่ม สมุนไพรชนิดชงและเครื่องดื่มจากธัญพืช	- ปริมาณที่เหมาะสม
sorbic acid	โพรเซสชีส	2,000 คำนวณเป็นซอร์บิก
	เวย์ชีส	1,000 คำนวณเป็นซอร์บิก
	เนยเทียม	1,000 คำนวณเป็นซอร์บิก
	ผลไม้ดอง	500 คำนวณเป็นซอร์บิก
	แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด	1,000 คำนวณเป็นซอร์บิก
	ผลไม้แห้ง	500 คำนวณเป็นซอร์บิก
	เครื่องดื่ม	200 คำนวณเป็นซอร์บิก
acetic acid	เห็ดดอง	20,000

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
acetic acid	ผลิตภัณฑ์นม ยกเว้น นมจืดชนิดเหลว นมเปรี้ยวไม่ปรุงแต่ง ครีมพาสเจอร์ไรส์ ครีมสเตอริไลส์ ครีมยูเอชที วิปปิ้งครีม และครีมไขมันต่ำ ยกเว้นโพรเซสชีส ครีมไขมันต่ำ	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำผสมน้ำมัน (อิมัลชั่น) เช่น เนยเทียม มินารีน รวมทั้งขนมหวานทำนองนี้	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ไอศกรีม	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น ผลไม้แห้ง ผลไม้ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง ขนมหวานจากผลไม้ เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	พืชผัก สาหร่าย ถั่วเปลือกแข็งและเมล็ดพืชต่าง ๆ ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น พืชผักแห้ง พืชผักที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง เป็นต้น ยกเว้นกรรมวิธีเยือกแข็ง และหมักดอง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ลูกกวาด ลูกอม ช็อกโกแลต หมากฝรั่ง เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ธัญพืชอาหารเช้า ขนมหวานจาก ธัญพืช แป้งสำหรับชุบอาหารทอด และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง ขนมเค้ก คุกกี้ ขนมพาย เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์เนื้อ ยกเว้นเนื้อสด	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
acetic acid	สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ยกเว้นสัตว์น้ำสดและสัตว์น้ำเยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ไข่ ยกเว้นไข่สด ไข่เหลว และไข่เยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทซอส ซุป สลัด และผลิตภัณฑ์โปรตีนสกัด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	- ปริมาณที่เหมาะสม
lactic acid	เครื่องดื่ม ยกเว้นน้ำผักผลไม้ น้ำแร่ธรรมชาติ ชา กาแฟ เครื่องดื่ม สมุนไพร ชนิดชงและเครื่องดื่มจากธัญพืช	- ปริมาณที่เหมาะสม
	มะกอกดอง	15,000
	เห็ดสเตอริไลส์	5,000 ใช้อย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับกรดซิตริก แต่เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกินปริมาณดังกล่าว
	อาหารเสริมสำหรับเด็กชนิดแป้ง	15,000 ในอาหารที่ปราศจากน้ำ
	ผลิตภัณฑ์นม ยกเว้น นมจืดชนิดเหลว นมเปรี้ยวไม่ปรุงแต่ง ครีมพาสเจอร์ไรส์ ครีมสเตอริไลส์ ครีมยูเอชที วิปปิ้งครีม และครีมไขมันต่ำ	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำผสมน้ำมัน (อิมัลชั่น) เช่น เนยเทียม มินารีน รวมทั้งขนมหวานทำนองนี้	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ไอศกรีม	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
lactic acid	ผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น ผลไม้แห้ง ผลไม้ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง ขนมหวานจากผลไม้ เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	พืชผัก สาหร่าย ถั่วเปลือกแข็งและเมล็ดพืชต่าง ๆ ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น พืชผักแห้ง พืชผักที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง เป็นต้น ยกเว้นกรรมวิธีเยือกแข็ง มะกอกดอง และเห็ดสเตอริไลส์	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ลูกกวาด ลูกอม ช็อกโกแลต หมากฝรั่ง เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ธัญพืชอาหารเช้า ขนมหวานจากธัญพืช แป้งสำหรับชุบอาหารทอด และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง ขนมเค้ก คุกกี้ ขนมพาย เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์เนื้อ ยกเว้นเนื้อสด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ยกเว้นสัตว์น้ำสดและสัตว์น้ำเยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ไข่ ยกเว้นไข่สด ไข่เหลว และไข่เยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทซอส ซุป สลัด และผลิตภัณฑ์โปรตีนสกัด	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
lactic acid	อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	- ปริมาณที่เหมาะสม
	เครื่องดื่ม ยกเว้นน้ำผักผลไม้ น้ำแร่ธรรมชาติ ชา กาแฟ เครื่องดื่มสมุนไพรชนิดชงและเครื่องดื่มจากธัญพืช	- ปริมาณที่เหมาะสม
	อาหารทารก	- ปริมาณที่เหมาะสม
malic acid	ผลิตภัณฑ์นม ยกเว้น นมจืดชนิดเหลว นมเปรี้ยวไม่ปรุงแต่ง ครีมพาสเจอร์ไรส์ ครีมสเตอริไลส์ครีม ครีมยูเอชที วิปปิ้งครีม และครีมไขมันต่ำ	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำผสมน้ำมัน (อิมัลชั่น) เช่น เนยเทียม มินารีน รวมทั้งขนมหวานทำนองนี้	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ไอศกรีม	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น ผลไม้แห้ง ผลไม้ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง ขนมหวานจากผลไม้ เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	พืชผัก สาหร่าย ถั่วเปลือกแข็งและเมล็ดพืชต่าง ๆ ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น พืชผักแห้ง พืชผักที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง พืชผักเยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ลูกกวาด ลูกอม ช็อกโกแลต หมากฝรั่ง เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
malic acid	ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ธัญพืชอาหารเช้า ขนมหวานจากธัญพืช แป้งสำหรับชุบอาหารทอด และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง ขนมเค้ก คุกกี้ ขนมพาย เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์เนื้อ ยกเว้นเนื้อสด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ยกเว้นสัตว์น้ำสดและสัตว์น้ำเยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ไข่ ยกเว้นไข่สด ไข่เหลว และไข่เยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทซอส ซุป สลัด และผลิตภัณฑ์โปรตีนสกัด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	- ปริมาณที่เหมาะสม
	เครื่องดื่ม ยกเว้นน้ำแร่ธรรมชาติ ชา กาแฟ เครื่องดื่มสมุนไพรชนิดชงและเครื่องดื่มจากธัญพืช	- ปริมาณที่เหมาะสม
formic acid	ผลิตภัณฑ์ประเภทซอส	200
	เครื่องดื่มที่ไม่ได้ทำจากผักหรือผลไม้	100
	เครื่องดื่มเกลือแร่	100
sodium fumarate	ผลิตภัณฑ์นม ยกเว้น นมจืดชนิดเหลว นมเปรี้ยวไม่ปรุงแต่ง ครีมพาสเจอร์ไรส์ ครีมสเตอริไลส์ ครีมยูเอชที วิปปิ้งครีม และครีมไขมันต่ำ	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
sodium fumarate	ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำผสมน้ำมัน (อิมัลชั่น) เช่น เนยเทียม มินารีน รวมทั้งขนมหวานทำนองนี้	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ไอศกรีม	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น ผลไม้แห้ง ผลไม้ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่งขนมหวานจากผลไม้ เป็นต้น ยกเว้นที่มีข้อกำหนดไว้เป็นการเฉพาะ	- ปริมาณที่เหมาะสม
	พืชผัก สาหร่าย ถั่วเปลือกแข็งและเมล็ดพืชต่าง ๆ ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น พืชผักแห้ง พืชผักที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง เป็นต้น ยกเว้นกรรมวิธีเยือกแข็ง และหมักดอง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ลูกกวาด ลูกอม ช็อกโกแลต หมากฝรั่ง เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ธัญพืชอาหารเช้า ขนมหวานจากธัญพืช แป้งสำหรับชุบอาหารทอด และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง ขนมเค้ก คุกกี้ ขนมพาย เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์เนื้อ ยกเว้นเนื้อสด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ยกเว้นสัตว์น้ำสดและสัตว์น้ำเยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
sodium fumarate	ผลิตภัณฑ์ไข่ ยกเว้นไข่สด ไข่เหลว และไข่เยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทซอส ซุป สลัด และผลิตภัณฑ์โปรตีนสกัด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	- ปริมาณที่เหมาะสม
	เครื่องดื่ม ยกเว้นน้ำผักผลไม้ น้ำแร่ธรรมชาติ ชา กาแฟ เครื่องดื่ม สมุนไพรชนิดชงและเครื่องดื่มจากธัญพืช	- ปริมาณที่เหมาะสม
citric acid	มะกอกดอง	15,000
	อาหารเสริมสำหรับเด็กชนิดแป้ง	25,000 คำนวณในสภาพที่ปราศจากน้ำ
	โพรเซสชีส	40,000 ใช้อย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับสารกลุ่มฟอสเฟต และปริมาณฟอสเฟตต้องไม่เกิน 9,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คำนวณเป็นฟอสฟอรัส
	ผลิตภัณฑ์นม ยกเว้น นมจืดชนิดเหลว นมเปรี้ยวไม่ปรุงแต่ง ครีมพาสเจอร์ไรส์ ครีมสเตอริไลส์ ครีมยูเอชที วิปปิ้งครีม ครีมไขมันต่ำ และโพรเซสชีส	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำผสมน้ำมัน (อิมัลชั่น) เช่น เนยเทียม มินารีน	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ไอศกรีม	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
citric acid	ผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น ผลไม้แห้ง ผลไม้ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง ขนมหวานจากผลไม้ เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	พืชผัก สาหร่าย ถั่วเปลือกแข็งและเมล็ดพืชต่าง ๆ ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น พืชผักแห้ง พืชผักที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง พืชผักเยือกแข็ง เป็นต้น ยกเว้น มะกอกดอง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ลูกกวาด ลูกอม ช็อกโกแลต หมากฝรั่ง เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ธัญพืชอาหารเช้า ขนมหวานจาก ธัญพืช แป้งสำหรับชุบอาหารทอด และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง ขนมเค้ก คุกกี้ ขนมพาย เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์เนื้อ ยกเว้นเนื้อสด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ยกเว้นสัตว์น้ำสดและสัตว์น้ำเยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ไข่ ยกเว้นไข่สด ไข่เหลว และไข่เยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทซอส ซุป สลัด และผลิตภัณฑ์โปรตีนสกัด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
citric acid	เครื่องดื่ม ยกเว้นน้ำแร่ธรรมชาติ ชา กาแฟ เครื่องดื่มสมุนไพรชนิดชง และเครื่องดื่มจากธัญพืช	- ปริมาณที่เหมาะสม
	อาหารทารก	- ปริมาณที่เหมาะสม
L-tartaric acid	ซุป	250
	มะเขือเทศเข้มข้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	โกโก้ผงและโกโก้ผงผสมน้ำตาลชนิดแห้ง	5,000 ของส่วนที่เป็นโกโก้ ใช้อย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับกรดซิตริก
	เนยเทียม	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผักผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ไอศกรีม	1,000
L-ascorbic acid	มันฝรั่งเยือกแข็ง	100 ใช้อย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับแคลเซียมไดโซเดียมเอทิลีน, ไดอะมีนเตตระอะซิ-เตต
	มะกอกดอง	2,000
	ผลิตภัณฑ์นม ยกเว้น นมจืดชนิดเหลว นมเปรี้ยวไม่ปรุงแต่ง ครีมพาสเจอร์ไรส์ ครีมสเตอริไลส์ ครีมยูเอชที วิปปิ้งครีม และครีมไขมันต่ำ	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำผสมน้ำมัน (อิมัลชั่น) เช่น เนยเทียม มินารีน รวมทั้งขนมหวานทำนองนี้	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ไอศกรีม	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
L-ascorbic acid	ผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น ผลไม้แห้ง ผลไม้ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง ขนมหวานจากผลไม้ เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	พืชผัก สาหร่าย ถั่วเปลือกแข็งและเมล็ดพืชต่าง ๆ ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น พืชผักแห้ง พืชผักที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง เป็นต้น ยกเว้นกรรมวิธีเยือกแข็ง และหมักดอง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ลูกกวาด ลูกอม ช็อกโกแลต หมากฝรั่ง เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ธัญพืชอาหารเช้า ขนมหวานจากธัญพืช แป้งสำหรับชุบอาหารทอด และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง ขนมเค้ก คุกกี้ ขนมพาย เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์เนื้อ ยกเว้นเนื้อสด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ยกเว้นสัตว์น้ำสด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ไข่ ยกเว้นไข่สด ไข่เหลว และไข่เยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทซอส ซุป สลัด และผลิตภัณฑ์โปรตีนสกัด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
L-ascorbic acid	เครื่องดื่ม ยกเว้นน้ำผักผลไม้ น้ำแร่ธรรมชาติ ชา กาแฟ เครื่องดื่ม สมุนไพรชนิดชงและเครื่องดื่มจากธัญพืช	- ปริมาณที่เหมาะสม
sulfur dioxide	เครื่องดื่ม	70
	กลูโคสซีรัป	40
	กลูโคสซีรัป สำหรับการผลิตลูกกวาด	400
	กลูโคสซีรัปชนิดแห้ง	40
	กลูโคสซีรัปชนิดแห้ง สำหรับการผลิตลูกกวาด	150
	น้ำตาลทรายละเอียด	40
	เดกซ์โตรสอันไฮดรัส	20
	เดกซ์โตรสโมโนไฮเดรต	20
	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	20
	น้ำตาลทรายขาวชั้นหนึ่ง	70
	วุ้นเส้น เส้นหมี่ และเส้นก๋วยเตี๋ยว	500
	อปริคอตแห้ง	2,000
	ลูกเกด	1,500
	พืชผักผลไม้ที่รับประทานโดยไม่ผ่านความร้อน เช่น ขิง หน่อไม้ ถั่วงอก เป็นต้น	- ห้ามใช้
sulfur dioxide	พืชผักผลไม้ชนิดแห้งและแช่อิ่ม	1,500
sodium bisulfite	กุ้งมังกรแช่เยือกแข็ง	50
sodium metabisulfite	กุ้งแช่เยือกแข็ง	30 ของเนื้อกุ้งที่ผ่านความร้อน หรือ 100 ของเนื้อกุ้งดิบ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
potassium sulfite	พืชผักผลไม้ที่รับประทานโดยไม่ผ่านความร้อน เช่น ขิง หน่อไม้ ถั่วงอก เป็นต้น	- ห้ามใช้
	พืชผักผลไม้ชนิดแห้งและแช่อิ่ม	1,500
potassium bisulfite	มันฝรั่งแช่เยือกแข็ง	50
	กุ้งมังกรเยือกแข็ง	30 ของเนื้อกุ้งซึ่งผ่านความร้อน หรือ 100 ของเนื้อกุ้งดิบ
	แตงกวาดอง	1,000
	มะกอกดอง	1,000
	พืชผักผลไม้ที่รับประทานโดยไม่ผ่านความร้อน เช่น ขิง หน่อไม้ ถั่วงอก เป็นต้น	- ห้ามใช้
	พืชผักผลไม้ชนิดแห้งและแช่อิ่ม	1,500
potassium metabisulfite	มันฝรั่งแช่แข็ง	50
	กุ้งแช่เยือกแข็ง	30 ของเนื้อกุ้งซึ่งผ่านความร้อน หรือ 100 ของเนื้อกุ้งดิบ
	พืชผักผลไม้ที่รับประทานโดยไม่ผ่านความร้อน เช่น ขิง หน่อไม้ ถั่วงอก เป็นต้น	- ห้ามใช้
	พืชผักผลไม้ชนิดแห้งและแช่อิ่ม	1,500
calcium bisulphite	แยมและเยลลี่ที่มีผลไม้เป็นส่วนผสม	200
	พืชผักผลไม้ที่รับประทานโดยไม่ผ่านความร้อน เช่น ขิง หน่อไม้ ถั่วงอก เป็นต้น	- ห้ามใช้
	พืชผักผลไม้ชนิดแห้งและแช่อิ่ม	1,500

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
sodium nitrite	ผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก เช่น แฮม ไส้กรอก เป็นต้น	125 ไนไตรต์ทั้งหมด คำนวณเป็นโซเดียมไนไตรต์
	ผลิตภัณฑ์เนื้อสับหมักที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง	50 ไนไตรต์ทั้งหมด คำนวณเป็นโซเดียมไนไตรต์
potassium nitrite	ผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก เช่น แฮม ขาหมูเค็ม ไส้กรอก กุนเชียง เป็นต้น	125 คำนวณไนไตรต์ทั้งหมดเป็นโซเดียมไนไตรต์
	เนื้อสับปรุงรสที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง (คอร์นบีฟ)	50 คำนวณไนไตรต์ทั้งหมดเป็นโซเดียมไนไตรต์
sodium nitrate	ผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก เช่น แฮม ไส้กรอก เป็นต้น	500 คำนวณเป็นไนเตรตทั้งหมด
potassium nitrate	ผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก เช่น แฮม ขาหมูเค็ม ไส้กรอก กุนเชียง เป็นต้น	500 คำนวณเป็นโซเดียมไน-เตรต
phosphoric acid	เนื้อปูที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง	10 คำนวณเป็นฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์
	โกโก้ผงและโกโก้ผงผสมน้ำตาลชนิดแห้ง	2,500 คำนวณเป็นฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ในส่วนที่เป็นโกโก้
	โพรเซสชีส	9,000 คำนวณเป็นฟอสฟอรัส
	น้ำมันและไขมันทุกชนิด	100
calcium phosphate, monobasic	นมข้น นมข้นคืนรูป และนมข้นแปลงไขมัน	2,000 ใช้อย่างเดียว หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารปรับความเป็นกรดด่างอื่น คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
calcium phosphate, monobasic	นมข้นหวาน นมข้นคืนรูปหวาน และนมข้นแปลงไขมันหวาน	2,000 ใช้อย่างเดียว หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารปรับความเป็นกรดด่างอื่น คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ
	มะเขือเทศที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง	450 สำหรับมะเขือเทศที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่งแบบ “ทั้งผล” “ชิ้น” และ “ทั้งผลและชิ้น” คำนวณเป็นแคลเซียมทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ หรือ 800 สำหรับมะเขือเทศที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่งแบบ “สี่เหลี่ยมลูกเต๋า” “แว่น” และ “ลิ่ม” คำนวณเป็นแคลเซียมทั้งหมดในผลิตภัณฑ์
calcium phosphate, dibasic	นมข้น นมข้นคืนรูป และนมข้นแปลงไขมัน	2,000 ใช้อย่างเดียว หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารปรับความเป็นกรดด่างอื่น คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ
	นมข้นหวาน นมข้นคืนรูปหวาน และนมข้นแปลงไขมันหวาน	2,000 ใช้อย่างเดียว หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารปรับความเป็นกรดด่างอื่น คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ
calcium phosphate, tribasic	ซุปชนิดแห้ง	15,000 ใช้อย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนชนิดอื่น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
calcium phosphate, tribasic	น้ำตาลทรายป่นที่ไม่มีแป้งเป็นส่วนผสมและกลูโคสผงที่ไม่มีแป้งเป็นส่วนผสม	15,000 ใช้อย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนชนิดอื่น
	เกลือ	20,000
	ผงฟู	50,000
	ครีมผง	5,000 ใช้อย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนชนิดอื่น
	นมข้น นมข้นคืนรูป และนมข้นแปลงไขมัน	2,000 ใช้อย่างเดียว หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารปรับความเป็นกรดด่างอื่น คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ
	นมข้นหวาน นมข้นคืนรูปหวาน และนมข้นแปลงไขมันหวาน	2,000 ใช้อย่างเดียว หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารปรับความเป็นกรดด่างอื่น คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ
	นมผงและนมผงแปลงไขมัน	5,000
sodium polyphosphate	ผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก เช่น แฮม ขาหมูเค็ม ไส้กรอก กุนเชียง เป็นต้น	3,000
sodium phosphate monobasic	ชิ้นปลาเยือกแข็ง	5,000
	ไอศกรีม	2,000
	ซุป	1,000 คำนวณเป็นฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์
sodium polyphosphate	ครีมผง	5,000

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
sodium phosphate monobasic	นมข้น นมข้นคืนรูป และนมข้นแปลงไขมัน	2,000 ใช้อย่างเดียว หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารปรับความเป็นกรดด่างอื่น คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ
	นมข้นหวาน นมข้นคืนรูปหวาน และนมข้นแปลงไขมันหวาน	2,000 ใช้อย่างเดียว หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารปรับความเป็นกรดด่างอื่น คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ
	นมผงและนมผงแปลงไขมัน	5,000
sodium tripolyphosphate	อาหารทะเลแช่เยือกแข็ง	5,000 คำนวณเป็นฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์
	ผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก เช่น ไส้กรอก แฮม เป็นต้น	3,000
potassium phosphate, monobasic	ครีมผง	5,000
potassium phosphate, dibasic	นมข้น นมข้นคืนรูป และนมข้นแปลงไขมัน	2,000 ใช้อย่างเดียว หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารปรับความเป็นกรดด่างอื่น คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ
potassium phosphate, tribasic	นมข้นหวาน นมข้นคืนรูปหวาน และนมข้นแปลงไขมันหวาน	2,000 ใช้อย่างเดียว หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารปรับความเป็นกรดด่างอื่น คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
potassium phosphate, tribasic	นมผงและนมผงแปลงไขมัน	5,000
	ผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก เช่น ไส้กรอก กุนเชียง แฮม ขาหมูรมควัน	3,000
	ชิ้นปลาแช่เยือกแข็ง	5,000
	ไอศกรีม	2,000
hydrochloric acid	ผลิตภัณฑ์นม ยกเว้นนมจืดชนิดเหลว นมเปรี้ยวไม่ปรุงแต่ง ครีมพาสเจอร์ไรส์ ครีมสเตอริไลส์ ครีมยูเอชที วิปปิ้งครีม และครีมไขมันต่ำ	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำผสมน้ำมัน (อิมัลชั่น) เช่น เนยเทียม มินารีน รวมทั้งขนมหวานทำนองนี้	- ปริมาณที่เหมาะสม
potassium chloride	ไอศกรีมและหวานเย็น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น ผลไม้แห้ง ผลไม้ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง ขนมหวานจากผลไม้ เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	พืชผัก สาหร่าย ถั่วเปลือกแข็งและเมล็ดพืชต่าง ๆ ที่ผ่านกรรมวิธี เช่น พืชผักแห้ง พืชผักที่ผ่านกรรมวิธีแคนนิ่ง เป็นต้น ยกเว้นกรรมวิธีเยือกแข็ง และหมักดอง	- ปริมาณที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
potassium chloride	ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ลูกกวาด ลูกอม ช็อกโกแลต หมากฝรั่ง เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ธัญพืชอาหารเช้า ขนมหวานจากธัญพืช แป้งสำหรับชุบอาหารทอด และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง ขนมเค้ก คุกกี้ ขนมพาย เป็นต้น	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์เนื้อ ยกเว้นเนื้อสด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ยกเว้นสัตว์น้ำสดและสัตว์น้ำเยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ไข่ ยกเว้นไข่สด ไข่เหลว และไข่เยือกแข็ง	- ปริมาณที่เหมาะสม
	ผลิตภัณฑ์ประเภทซอส ซุป สลัด และผลิตภัณฑ์โปรตีนสกัด	- ปริมาณที่เหมาะสม
	อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	- ปริมาณที่เหมาะสม
	เครื่องดื่ม ยกเว้นน้ำผักผลไม้ น้ำแร่ธรรมชาติ ชา กาแฟ เครื่องดื่ม สมุนไพรชนิดชงและเครื่องดื่มจากธัญพืช	- ปริมาณที่เหมาะสม

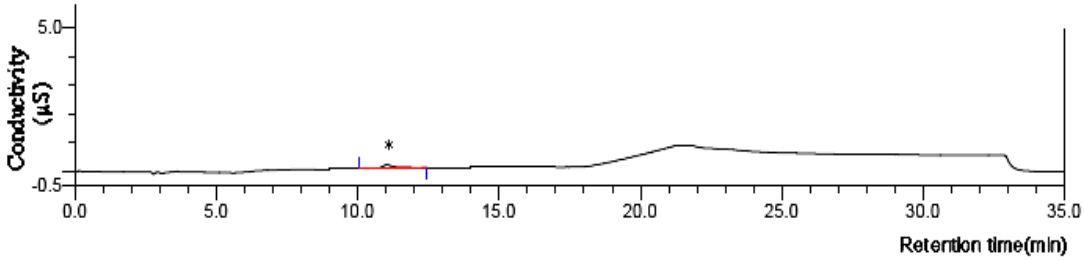
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 46 การใช้วัตถุเจือปนอาหารแนบท้ายประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 (ต่อ)

ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)
calcium chloride	นมข้น นมข้นคืนรูป และนมข้นแปลงไขมัน	2,000 ใช้อย่างเดียว คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารช่วยให้คงตัวชนิดอื่น คำนวณในสภาพปราศจากน้ำ
	นมข้นหวาน นมข้นคืนรูปหวาน และนมข้นแปลงไขมันหวาน	2,000 ใช้อย่างเดียว คำนวณในสภาพที่ปราศจากน้ำ หรือ 3,000 ใช้ร่วมกับสารช่วยให้คงตัวชนิดอื่น คำนวณในสภาพที่ปราศจากน้ำ แต่เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกินปริมาณดังกล่าว

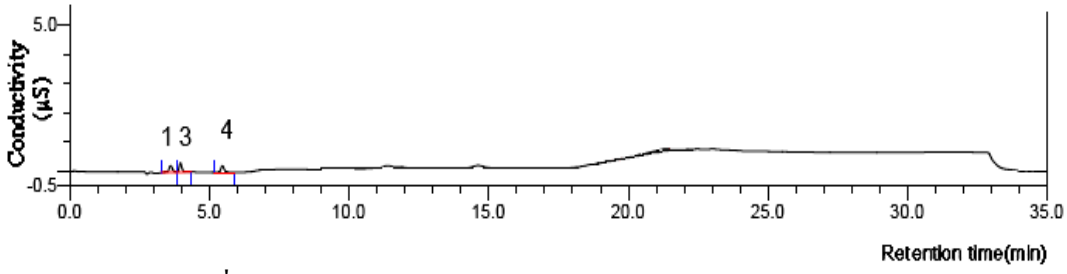
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

หมายเหตุ : ปริมาณที่เหมาะสม หมายถึง ปริมาณที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดผลที่ต้องการ ภายใต้กระบวนการผลิตที่ดี (GMP)



รูปที่ 77 Chromatogram ของน้ำ DI ที่ใช้ในการ diluted ตัวอย่างชาพร้อมดื่ม

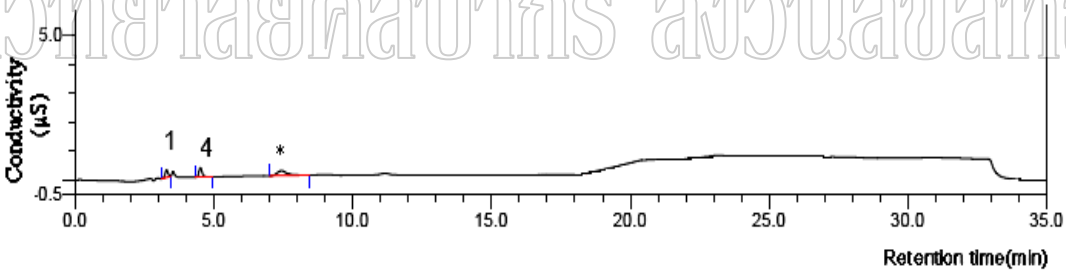
(Peaks: * = non determined)



รูปที่ 78 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaH

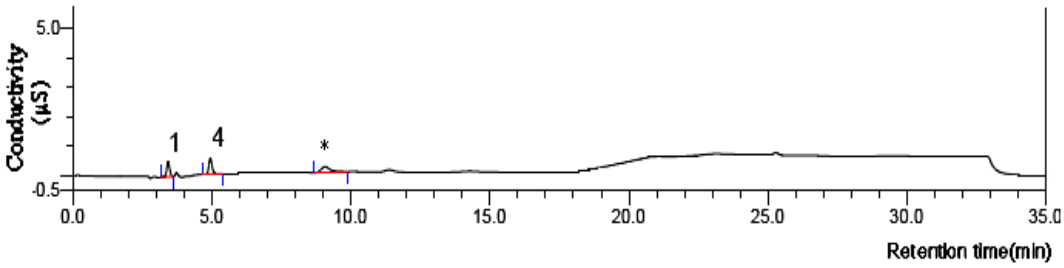
(Peaks: 1=fluoride; 3=formic acid; 4=chloride)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



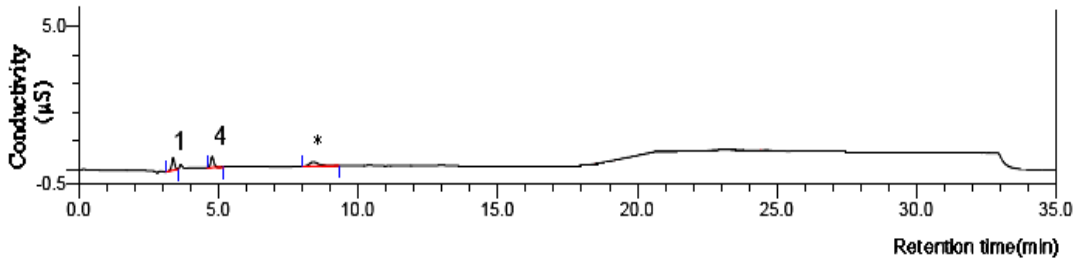
รูปที่ 79 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaI

(Peaks: 1=fluoride; 4=chloride; * = non determined)



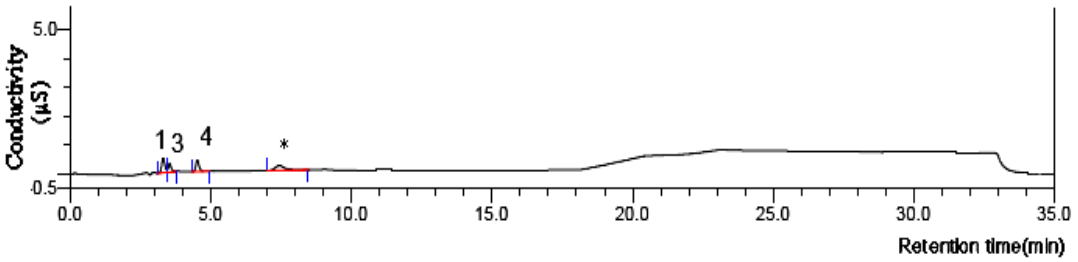
รูปที่ 80 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaJ

(Peaks: 1=fluoride; 4=chloride; * = non determined)



รูปที่ 81 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaK

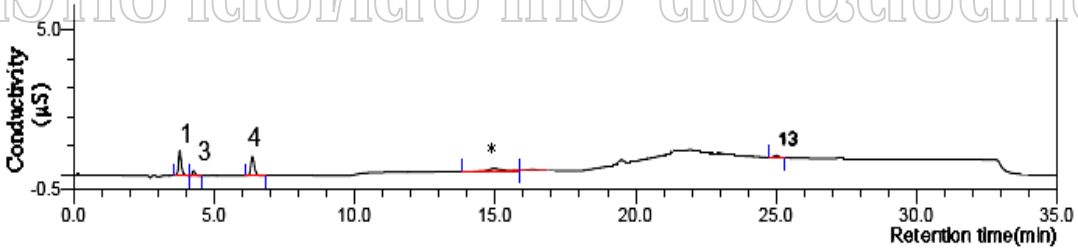
(Peaks: 1=fluoride; 4=chloride; * = non determined)



รูปที่ 82 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างใบชาแห้ง TeaL

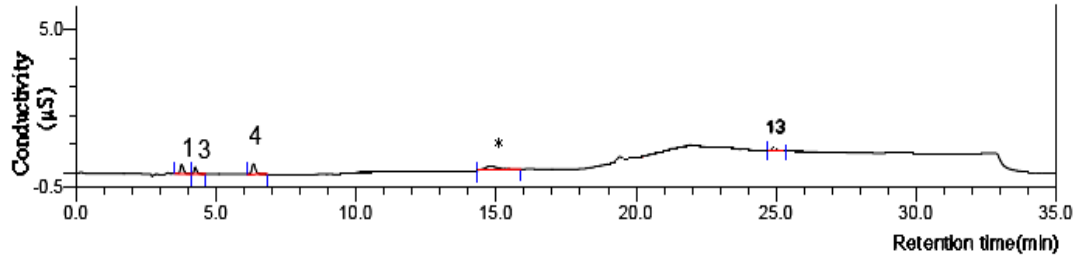
(Peaks: 1=fluoride; 3=formic acid; 4=chloride; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



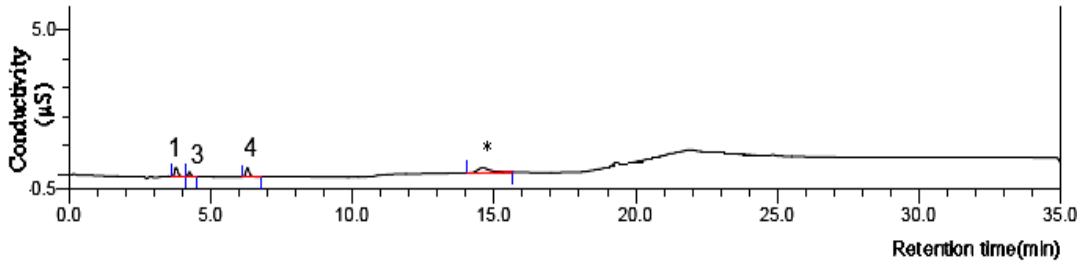
รูปที่ 83 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างแฮม HamA

(Peaks: 1=fluoride; 3=formic acid; 4=chloride; 13=phosphate; * = non determined)



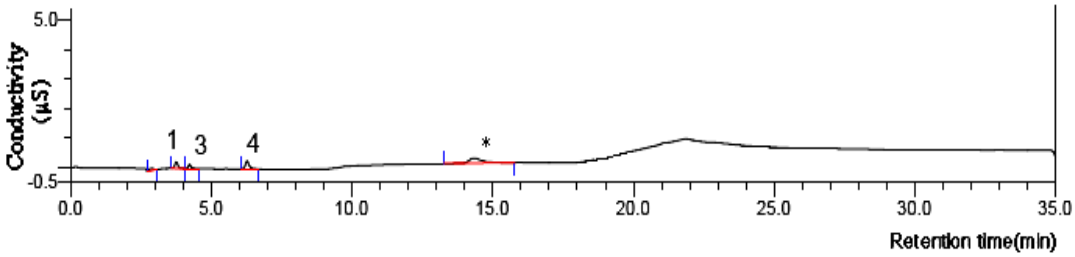
รูปที่ 84 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างแฮม HamB

(Peaks: 1=fluoride; 3=formic acid; 4=chloride; 13=phosphate; * = non determined)



รูปที่ 85 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างแฮม HamC

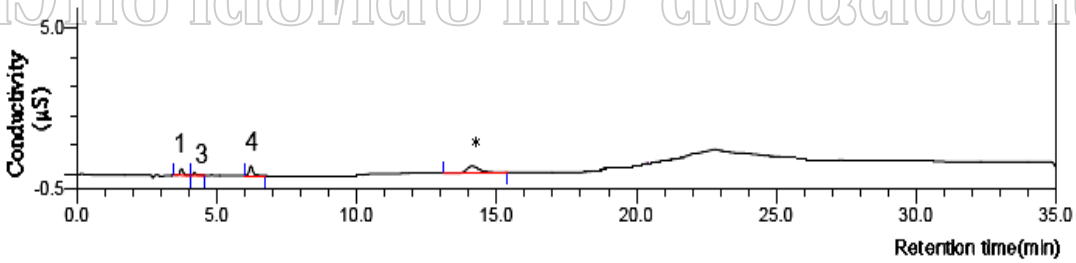
(Peaks: 1=fluoride; 3=formic acid; 4=chloride; * = non determined)



รูปที่ 86 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างแฮม HamD

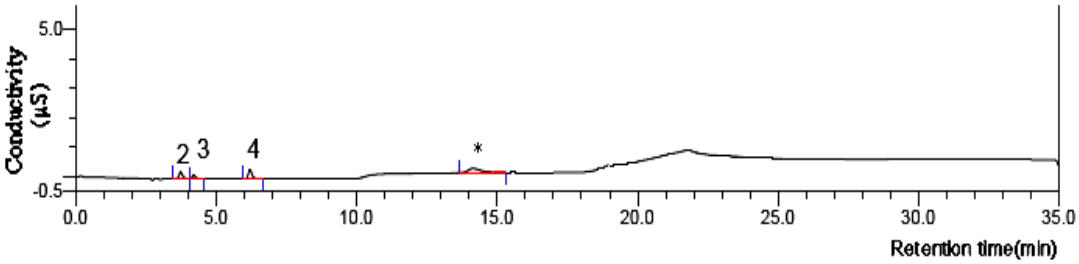
(Peaks: 1=fluoride; 3=formic acid; 4=chloride; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



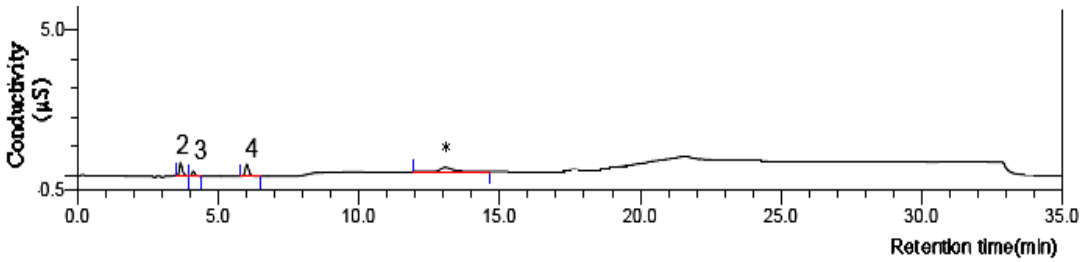
รูปที่ 87 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างแฮม HamE

(Peaks: 1=fluoride; 3=formic acid; 4=chloride; * = non determined)



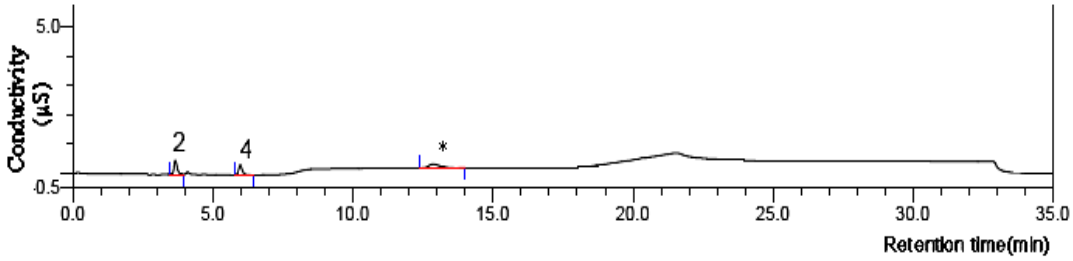
รูปที่ 88 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishA

(Peaks: 2=acetic acid; 3=formic acid; 4=chloride; * = non determined)



รูปที่ 89 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishB

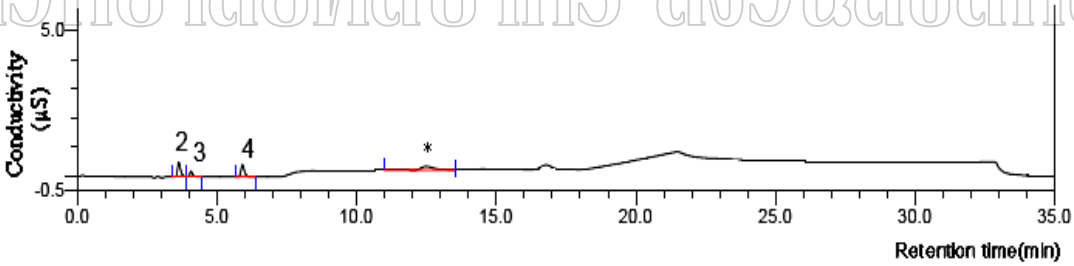
(Peaks: 2=acetic acid; 3=formic acid; 4=chloride; * = non determined)



รูปที่ 90 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishC

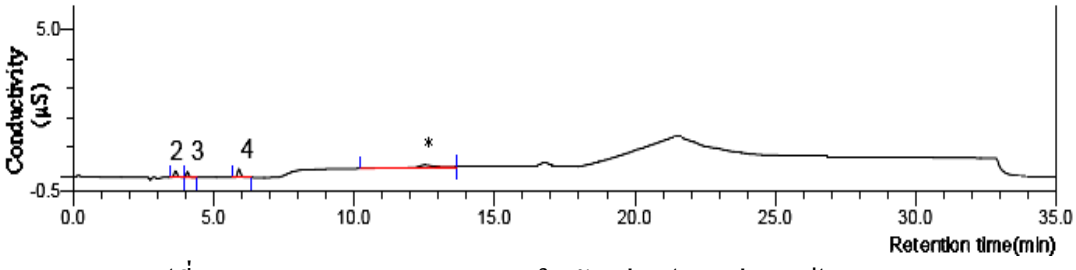
(Peaks: 2=acetic acid; 4=chloride; * = non determined)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 91 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishD

(Peaks: 2=acetic acid; 3=formic acid; 4=chloride; * = non determined)



รูปที่ 92 Chromatogram ของ blank ในตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง FishE

(Peaks: 2=acetic acid; 3=formic acid; 4=chloride; * = non determined)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายตรีพล สาตราภัย
ที่อยู่	796 ซอยเทอดไท 26 ถนนเทอดไท แขวงตลาดพลู เขตธนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10600
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2543	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอกเคมี จากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
พ.ศ. 2549	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2547-2549	นักเคมี R&D/QC บ.สยามลูบริแค้นท์ อินดัสทรี จำกัด

การเสนอผลงานวิจัย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ระดับประเทศ

1. T. Satarpai, S. Choosakulkrieng and S. Supaluknari. “Determination of some organic acids and inorganic anions in tea by ion chromatography”. The 34th Congress on Science and Technology of Thailand, Bangkok, October 31-November 2, 2008.