สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในผักด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

นางสาวเยาวลักษณ์ หงษ์ภู่
นางสาววารุณี ไชยศร
นางสาวสุดาทิพย์ พุฒเศรี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยบริการ
2549
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107804
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553
b 12212266
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Determination of Calcium in Vegetables by Ion Chromatography

Miss Yaowalack Hongpoo

Miss Warunee Chaisorn

Miss Sudatip Putsri

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในผักด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

นักศึกษา นางสาวเยาวลักษณ์ หงษ์ภู่

นางสาววารุณี ไชยศร

นางสาวสุดาทิพย์ พุฒศรี

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.คณิตา ตังคณานุรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติโครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	.....
กรรมการ อ.พรทิพย์ ศัพทอนันท์	.....
กรรมการ ผศ.คณิตา ตังคณานุรักษ์	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สภาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ การตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในผักด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี
นักศึกษา นางสาวเยาวลักษณ์ หงษ์ภู่
นางสาววารุณี ไชยศร
นางสาวสุดาทิพย์ พุฒศรี
ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา 2549
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.คณิตา ตังคณานุรักษ์

บทคัดย่อ

แคลเซียมจัดเป็นสารอาหารที่สำคัญมากสำหรับมนุษย์ แหล่งแคลเซียมที่สำคัญมากอีกแหล่งหนึ่งที่นอกเหนือจากนม คือ ผัก ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในผักด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี ซึ่งมีตัวตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นตัวตรวจวัด การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำผักที่บดละเอียดไปต้มในอ่างน้ำเดือดนานประมาณ 45 นาที และทำการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในสารละลายตัวอย่างบดด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ พบว่า ผักที่มีปริมาณแคลเซียมมากที่สุดในบรรดาผักที่นำมาตรวจวิเคราะห์ คือ ผักคะน้า (16.7960 ppm) รองลงมา คือ ต้นหอม (16.1257 ppm) ผักบุ้ง (13.2820 ppm) ผักกาดเขียว (12.6860 ppm) และตำลึง (11.0230 ppm) ตามลำดับ และจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าวิธีไอออนโครมาโทกราฟีจัดว่าเป็นวิธีตรวจวัดปริมาณแคลเซียมได้ง่าย รวดเร็ว และให้ผลที่น่าเชื่อถือได้ในการตรวจหาปริมาณแคลเซียมในผัก โดยพบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.0191 ร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 0.9588 % ร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) อยู่ในช่วง 93 – 102% ความเป็นเส้นตรง (Linearity) เท่ากับ 0.9996 ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (LOD) เท่ากับ 0.2461 และค่าความเที่ยงที่ยอมรับได้ (LOQ) เท่ากับ 0.8203 วิธีการนี้เป็นการประยุกต์ใช้กับผักโดยปราศจากการรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Determination of Calcium inVegetables by Ion Chromatography

Name Miss Yaowalack Hongpoo

Miss Warunee Chaisorn

Miss Sudatip Putsri

Department Chemistry

Program Industry Chemistry Instrument

Academic Year 2006

Special Project Advisor Asst.Prof. Kanita Tangkananuruk

Abstract

Calcium was necessary nutrient for human. Source of calcium other than milk is vegetables. Therefore, group of research had a porpose to determine calcium in vegetables by Ion Chromatograph with conductivity detector. Extraction of calcium by boiling crushed vegetables in water for 45 minutes and determined directly by Ion Chromatograph. From this study, to experience vegetables had the most of calcium is Chinese Kale (16.7960 ppm) and the second was Shallot (16.1257 ppm), Water morning Glory (13.2820 ppm), Chinese Mustard (12.6860 ppm), and Ivy Gourd (11.0230 ppm) respectively and this study showed that Ion Chromatography is simple rapid and reliable analytical method to determine calcium in vegetables. The precision of results was (SD) 0.0191, the percentage of standard precision was (%RSD) 0.9588 %, the spiked recovery for calcium were 93 – 102%, linearity was 0.9996, LOD was 0.2351, and LOQ was 0.7836. The method was applied to vegetables without interferences.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี สืบเนื่องมาจากความร่วมมือ การได้รับการดูแล เอาใจใส่ ช่วยเหลือ แนะนำ และความกรุณาของทุก ๆ ท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา คณะกรรมการ และผู้ที่เกี่ยวข้องแก่ผู้จัดทำ ที่กรุณาติดตาม ตรวจสอบดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี และแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.คณิตา ตังคณานุรักษ์ เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหา คอยเอาใจใส่ดูแล ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และ อ.พรทิพย์ ศัพทอนันท์ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษที่ให้ความกรุณาแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยช่วยเหลือให้การทำโครงงานาพิเศษนี้ดำเนินไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และ คุณปราณี บุญวัตน์ ที่ช่วยดูแลเรื่องการใช้เครื่องไอออน โครมาโทกราฟ ให้การทำงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี รวมทั้งแม่บ้านที่ได้ให้คอยให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้าน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติ พี่น้อง และเพื่อนๆ รวมถึงรุ่นพี่ รุ่นน้องทุก ๆ คนที่ให้กำลังใจ และช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จในที่สุด

นอกจากนี้ บุคคลที่มีส่วนช่วยที่มิได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นางสาวเยาวลักษณ์ หงษ์ภู่
นางสาววารุณี ไชยศร
นางสาวสุดาทิพย์ พุฒศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญ และที่มาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนของการวิจัย และวิธีดำเนินงาน	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แคลเซียม	6
2.2 เครื่องไอออนโครมาโทกราฟ (Ion Chromatograph)	24
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์	33
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	34
3.3 ประเมินผลการทดสอบความใช้ได้ของวิธี	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการอภิปรายผล	
4.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีวิเคราะห์	39
4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในผัก	43
บทที่ 5 ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ	44
บรรณานุกรม	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แสดงผลการวิเคราะห์ 48

ภาคผนวก ข แสดงผลการทดลอง 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการวิจัย 4

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณแคลเซียมที่แนะนำให้บริโภคในแต่ละช่วงอายุ 10

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างปริมาณแคลเซียมในอาหารต่าง ๆ 15

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของปริมาณแคลเซียมในผัก 40

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมผัก 43

ตารางที่ ก.1 แสดงความเข้มข้น (ppm) และพื้นที่ใต้พีกของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม 48

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์ 49

ตารางที่ ก.3 แสดงผลการวัดหาปริมาณแคลเซียมใน original sample กับ spike sample และค่า %Recovery 50

ตารางที่ ก.4 แสดงผลการวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเพื่อหาค่า LOD และ LOQ 51

ตารางที่ ก.5 แสดงผลการวัดหาปริมาณแคลเซียม และพื้นที่ใต้พีกของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม 52

ตารางที่ ก.6 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมผัก 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงรูปผักตำลึง 19

รูปที่ 2.2 แสดงรูปผักบุ้ง 20

รูปที่ 2.3 แสดงรูปผักคะน้า 21

รูปที่ 2.4 แสดงรูปผักกาดเขียว 22

รูปที่ 2.5 แสดงรูปต้นหอม 23

รูปที่ 2.6 แสดงรูปเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ (Metrohm) 24

รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ 25

รูปที่ 2.8 แสดงรูปเฟสคงที่ ที่ใช้ในเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ 27

รูปที่ 2.9 แสดงรูปฟิลม์เรซินที่ทำจากกรดมาเลอิก 1,3-บิวทะไดอีน 28

รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการการแลกเปลี่ยนไอออน 29

รูปที่ 2.11 แสดงแผนภาพกระบวนการการแยกแอนไอออน 30

รูปที่ 3.1 แสดงรูปกราฟการหาค่า S_0 38

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานแคลเซียม 39

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม
กับค่าความเข้มข้นแคลเซียมที่ตรวจวัดได้ (detector response) 41

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ (Linearity) 42

รูปที่ ข.1 แสดงกราฟมาตรฐานแคลเซียมที่ได้จากเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ 55

รูปที่ ข.2 แสดงกราฟโครมาโทแกรมที่ได้จากตัวอย่างต้นหอม 56

รูปที่ ข.3 แสดงกราฟโครมาโทแกรมที่ได้จากตัวอย่างตำลึง 57

รูปที่ ข.4 แสดงกราฟโครมาโทแกรมที่ได้จากตัวอย่างผักบุ้ง 58

รูปที่ ข.5 แสดงกราฟโครมาโทแกรมที่ได้จากตัวอย่างคะน้า 59

รูปที่ ข.6 แสดงกราฟโครมาโทแกรมที่ได้จากตัวอย่างผักกาดเขียว 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ใช้วัดแคลเซียมในกระดูกที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 2 วิธีคือ นิวตรอนแอคติเวชั่น (neutron activation analysis) และ bone densitometry วิธีนิวตรอนแอคติเวชั่นเป็นวิธีที่ใช้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่เหมาะที่จะใช้ประเมินภาวะแคลเซียมในประชากรทั่ว ๆ ไป ทั้งนี้เพราะเป็นวิธีการที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง และผู้รับการตรวจต้องสัมผัสกับรังสีโดยตรง ส่วนการตรวจโดยใช้วิธี densitometry มีเทคนิคในการตรวจหลายรูปแบบ เช่น quantitative computed termography (QCT) single and photon absorptiometry (DPA) และ dual energy x-ray absorptiometry (DEXA)

สภาวะการขาดแคลเซียมในอาหารที่บริโภค จะมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคกระดูกพรุน (osteoporosis) ความดันโลหิตสูง และมะเร็งลำไส้ใหญ่ ซึ่งโรคกระดูกพรุนได้รับความสนใจมากที่สุด การเกิดโรคกระดูกพรุนอาจมีผลมาจากหลาย ๆ สาเหตุ ไม่ว่าจะเป็นความผิดปรกติทางพันธุกรรม การเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมน เช่น estrogen ในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน และปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้มากกว่าการขาดแคลเซียม หรือ อาจเกิดเนื่องมาจากปัญหาการดูดกลับแคลเซียมในกระดูก (bone resorption) ซึ่งเป็นสาเหตุในเบื้องต้น นอกจากนั้นยังมีหลักฐานยืนยันถึงความสัมพันธ์ระหว่างการขาดแคลเซียม และอุบัติการณ์ของโรคความดันโลหิตสูง และโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ ส่วนกลไกที่มีแคลเซียมเข้าไปเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคเหล่านี้ได้อย่างไรนั้น ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด เพราะยังไม่มีการพัฒนา หรือ ค้นพบดัชนีบ่งชี้ภาวะแคลเซียมในร่างกายที่มีประสิทธิภาพที่จะช่วยให้ความกระจ่างได้มากกว่านี้

ส่วนวิธีการที่ง่ายที่สุด และเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปในการทดสอบการดูดซึมแคลเซียมในโรงพยาบาล หรือ คลินิก คือ การวัดการดูดซึมแคลเซียมจริง โดยการตรวจแคลเซียมในซีรัมที่เก็บตัวอย่างหลังจากการให้ calcium tracer แล้ว 5 ชั่วโมง

จากข้อมูลต่าง ๆ ที่มีผู้สนใจได้ทำการสำรวจ และวิจัยไว้ ทำให้เกิดข้อสงสัยขึ้นมาว่า “การรับประทานอาหารวันนี้ เราได้รับประทานอาหาร ที่มีส่วนประกอบของแคลเซียมไปด้วย หรือ ยัง” และ “เราสามารถรับแคลเซียมได้จากแหล่งใดบ้าง” เพื่อจะได้รับแคลเซียมให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกายในแต่ละวัน สำหรับอาหารที่มีแคลเซียมอยู่มากนั้นจะอยู่ในอาหารประเภทนม ชีส โยเกิร์ต และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับนม ซึ่งจะเป็นตัวช่วยสร้างมวลกระดูกขึ้นมา นอกจากนี้ “ผัก” ก็เป็นอาหารอีกประเภทหนึ่งที่มีผู้นิยมบริโภคกัน และในผักนี้เองก็มีแคลเซียมประกอบอยู่ด้วย ตัวอย่างผักที่มีแคลเซียมสูง และร่างกายนำไปใช้ได้มาก เช่น ผักกาดเขียว ผักกวางตุ้ง ผักคะน้า เป็นต้น แต่ผักบางชนิดแม้ว่าจะมีแคลเซียมสูง แต่ร่างกายนำไปใช้ได้น้อย เพราะมีปริมาณสารไฟเทต และออกซาเลทสูง เช่น ใบชะพลู ผักโขม ปวยเล้ง เป็นต้น จึงควรกินในปริมาณที่พอควร และไม่ต้องกังวลว่าร่างกายจะได้รับแคลเซียมมากไป เพราะเมื่อร่างกายดูดซึมแคลเซียมจนถึงจุดสมดุลย์ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระดูก และเลือด แคลเซียมส่วนเกินจะถูกขับถ่ายออกทางอุจจาระตามปกติ แต่ถ้าหากร่างกายได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอ จะส่งผลให้กระดูกอ่อนแอได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในผักสดชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี
2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมในผักที่นิยมบริโภค เพื่อประโยชน์ในการเลือกบริโภค
3. เพื่อทราบศักยภาพ และประสิทธิภาพการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในผักสดชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. วิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในผักสดโดยอาศัยวิธีไอออนโครมาโทกราฟี
2. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในผักที่นิยมบริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนของการวิจัย และวิธีดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย	มิ.ย. 49	ก.ค. 49	ส.ค. 49	ก.ย. 49	ต.ค. 49	พ.ย. 49	ธ.ค. 49	ม.ค. 50	ก.พ. 50	มี.ค. 50
1. สืบค้นข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	←	—	—	—	→					
2. วางแผนการดำเนินงานโดยจัดเตรียมสารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ต้องใช้			←	—	→					
3. ศึกษาวิธีการใช้เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี				←	—	→				
4. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟีในวิธีการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในสารละลายมาตรฐานแคลเซียม				←	—	—	—	→		
5. ศึกษาขั้นตอนการเตรียมสารละลายตัวอย่างจากผักสด				←	—	→				
6. ศึกษาการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในสารละลายตัวอย่าง ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี					←	—	—	—	→	
7. คำนวณผล และประเมินผลโดยใช้หลักทางสถิติ						←	—	—	—	→
8. สรุปผลการทดลอง										↔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณแคลเซียมในผักสดแต่ละชนิด เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกบริโภค
2. สามารถนำวิธีไอออนโครมาโทกราฟีมาประยุกต์ใช้หาปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างชนิดอื่นได้
3. เพื่อให้ผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของการบริโภคผัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แคลเซียม

หากจะให้บอกถึงเกลือแร่สักตัวหนึ่งที่มีประโยชน์มาก ๆ ต่อร่างกาย หนึ่งในนั้นจะต้องมีแคลเซียมรวมอยู่ด้วย เรารู้จักแคลเซียมมานานในแง่ของการช่วยให้กระดูกแข็งแรง แต่ไม่เพียงเท่านั้น เพราะไม่นานนี้มีงานวิจัยตัวหนึ่งได้พบว่า แคลเซียมสามารถช่วยต้านได้อย่างดีต่อความดันโลหิตสูง อาการหัวใจกำเริบ อาการปวดก่อนมีประจำเดือน และมะเร็งลำไส้ แต่ก็เป็นที่น่าเสียดายที่คนส่วนใหญ่รับประทานแคลเซียมน้อยกว่าครึ่งของที่ควรจะได้รับต่อวัน

"แคลเซียม" เป็นธาตุที่พบมากที่สุดในทุกส่วนของร่างกาย คือ ประมาณ 1,250 กรัม ซึ่งร้อยละ 55 ถูกเก็บไว้ในกระดูก ฟัน เล็บ และอื่น ๆ โดยในร่างกายคน 50 กิโลกรัมจะมีแคลเซียมอยู่ประมาณ 1 กิโลกรัม ดังนั้นในเวลากล่าวถึงแคลเซียมจึงมักจะนึกถึงเฉพาะกระดูกเท่านั้น แต่ที่จริงแล้วยังมีแคลเซียมส่วนอื่นที่อยู่ในเซลล์ที่ไม่ใช่กระดูกอีกประมาณร้อยละ 1 สำหรับหน้าที่ที่สำคัญของแคลเซียม ก็คือ การสร้างกระดูก ซึ่งกระดูกทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของร่างกาย รักษารูปร่างและลักษณะของร่างกายให้สวยงาม และยังเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อเป็นเกราะป้องกันอวัยวะภายในต่าง ๆ ของร่างกายไม่ให้ได้รับความกระทบกระเทือน อย่างไรก็ตาม แคลเซียมมิใช่เป็นเพียงตัวเสริมสร้างกระดูกให้แข็งแรงเท่านั้น แต่ยังมีหน้าที่สำคัญในการทำงานของเซลล์ต่าง ๆ ภายในร่างกายอีกด้วย ได้แก่ การช่วยการแข็งตัวของเลือด ทำให้เลือดที่ไหลออกจากบาดแผลเกิดการแข็งตัวหยุดทำให้ไหลได้ นอกจากนี้ แคลเซียมยังเกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อ และเส้นประสาท ช่วยให้การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจปกติ และการส่งสัญญาณประสาทที่ถูกต้อง รักษาความสมดุลของกรดด่างในเลือด และความดันโลหิตให้ปกติ

แคลเซียมเป็นเกลือแร่ขี้เหงา คือ ไม่ชอบทำงานตัวเดียว เพื่อนรักของแคลเซียม คือ ฟอสฟอรัส โดยจับกันเป็นผลึก เป็นเกลือ Calcium Phosphates โดยจะพบว่ามีแคลเซียม 5 ส่วน ต่อฟอสฟอรัสถึง 2 ส่วนในกระดูก และนอกจากนี้ในการที่แคลเซียมจะทำงานให้เกิดประสิทธิภาพ แคลเซียมต้องทำงานควบคู่กันกับแมกนีเซียม วิตามินเอ ซี ดี อี และแน่นอนว่าจะขาดฟอสฟอรัสไม่ได้ (วิตามินเอ และซีเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดูดซึมของแคลเซียม)

สรุปได้ว่า ประโยชน์ของแคลเซียมในร่างกายเกือบทั้งหมดจะสะสมอยู่ในกระดูก และฟัน ซึ่งเป็นที่ที่มันไปช่วยทำให้เกิดความแข็งแรง อีกทั้งจะมีปริมาณแคลเซียมจำนวนน้อย ๆ ที่อยู่ในกระแสเลือดที่จะมีส่วนช่วยในการสร้างฮอร์โมน และเอนไซม์ต่าง ๆ เพื่อให้ร่างกายทำงานเป็นปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ แคลเซียมเป็นตัวหลักในการนำสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาทให้สื่อสารกันได้เป็นปกติ ดังนั้นแม้ว่าท่านจะอยู่ในวัยใดก็ตาม ต้องรับประทานอาหารที่อุดมไปด้วยแคลเซียม และออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ แม้เพียงวันละ 15 - 20 นาที จะทำให้ท่านมีโครงสร้างของร่างกายที่แข็งแรง ห่างไกลจากโรคกระดูกพรุนได้นานเท่านาน ดังคำที่เคยกล่าวไว้ว่า "รับประทานแคลเซียมทุกวัน กระดูก และฟันจะแข็งแรง"

2.1.1 ระบบการไหลเวียนของแคลเซียมภายในร่างกาย

สำหรับการทำงานของแคลเซียมจะเริ่มจาก เมื่อร่างกายได้รับแคลเซียมจากอาหาร ก็จะถูกกรดในกระเพาะทำให้แคลเซียมแตกตัวได้ดีขึ้น และถูกดูดซึมได้ง่ายขึ้นจากบริเวณลำไส้ส่วนต้น โดยอาศัย Calbindin-D ซึ่งปกติแล้วร่างกายจะดูดซึมแคลเซียมได้ประมาณร้อยละ 20 - 40 หลังจากนั้น แคลเซียมจะเข้าสู่เลือดผ่านไปตามระบบไหลเวียนโลหิตแล้วไปสู่อวัยวะต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะเข้าสู่กระดูก นอกนั้นเข้าสู่เซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย และที่เหลือจะถูกขับออกทางปัสสาวะ

โดยปกติทั่วไปแม้กระดูกจะไม่ยืดตัวให้เห็น แต่จะมีแคลเซียมผ่านเข้าออกจากกระดูกถึงวันละประมาณ 700 มิลลิกรัม ซึ่งแม้ว่าเกลือแร่ที่ติดอยู่ในกระดูกดูเหมือนจะติดอยู่อย่างถาวร แต่อันที่จริงแล้ว แคลเซียมในกระดูกจะถูกดึงออกพร้อมกับขบวนการละลายกระดูก (resorption) และเสริมเข้าไปพร้อมกับการสร้างกระดูกใหม่ (formation) อยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสมดุลของฮอร์โมนหลายตัว ได้แก่ Parathyroid Hormone (PTH), Calcitonin (CT) และ $1,25[OH_2]D_3$ ซึ่งช่วยให้มีการดูดซึมแคลเซียม ไม่ถูกละลายออกจากกระดูก และ Parathyroid hormone จะทำให้เกิดกระบวนการ Resorption ขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา แต่เมื่ออายุมากขึ้นโดยเฉพาะในหญิงหลังหมดประจำเดือนอาจเกิดการขาดดุลของแคลเซียมอย่างรวดเร็ว คือมีกระบวนการสลายมากกว่าการสร้างเพราะการขาด estrogen ซึ่งช่วยยับยั้งการสลายของกระดูก ทำให้กระดูกเกิดการผุกร่อนเปราะ และหักง่ายเรียกว่า “ภาวะกระดูกพรุน” (Osteoporosis)

โดยทั่วไปร่างกายจะพยายามอย่างเต็มที่ในการที่จะรักษาระดับแคลเซียมในเลือดให้ปกติเสมอ เพื่อให้อวัยวะต่าง ๆ ปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างปกติเปรียบให้ง่ายก็เสมือนว่า ระดับแคลเซียมที่ปกติ ก็คือ จำนวนเงินที่ติดกระเป๋าอยู่สำหรับใช้จ่ายในแต่ละวัน โดยแคลเซียมส่วนที่ถูกขับออกทางปัสสาวะ และแคลเซียมที่ใช้เพื่อการซ่อมแซมกระดูกเปรียบเสมือนค่าใช้จ่ายประจำวัน แคลเซียมในกระดูกเสมือนเงินฝากในธนาคาร แคลเซียมรับจากอาหารเสมือนรายได้ประจำวัน ถ้ารายรับมากกว่ารายจ่าย อาจมีเหลือเก็บในธนาคารซึ่งเปรียบเสมือนเป็นการสะสมแคลเซียมในกระดูก ถ้ารายได้น้อยกว่ารายจ่ายก็ต้องถอนจากธนาคารเพื่อนำไปใช้จ่ายก็จะทำให้เกิดการขาดดุล ซึ่งถ้าเป็นเช่นนี้อยู่เป็นประจำเงินในธนาคารก็จะร่อยหรอไป นั่นก็เปรียบได้กับการที่ร่างกายได้รับแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่พอเพียงต่อความพยายามรักษาระดับแคลเซียมให้ปกติ จึงต้องละลายแคลเซียมจากกระดูกมาเพิ่มให้กับเลือด ทำให้แคลเซียมในกระดูกค่อย ๆ ลดลง สุดท้ายแคลเซียม หรือเงินที่ติดกระเป๋าอยู่ก็ลดลงจนไม่พอใช้นั่นเอง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการสะสมแคลเซียมของร่างกายมนุษย์นั้นเริ่มตั้งแต่ยังเป็นทารกในครรภ์มารดา โดยในแต่ละวัยร่างกายสามารถสะสมปริมาณแคลเซียมในระดับที่แตกต่างกัน ดังนี้

- เด็กแรกเกิดถึง 9 ขวบ มีความสามารถในการสะสมแคลเซียมได้ 100 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน
- เด็กอายุ 10 ขวบ มีความสามารถในการสะสมแคลเซียมได้ 100 - 150 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน
- ช่วงวัยรุ่น มีความสามารถในการสะสมแคลเซียมได้ 200 - 400 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน
- ชาย และหญิงอายุ 18 ปี มีความสามารถในการสะสมแคลเซียมได้ 50 - 100 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน
- ผู้ใหญ่อายุ 30 ปี มีความสามารถในการสะสมแคลเซียมได้ 0 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน ซึ่งหมายความว่า หลังจากอายุ 30 ปีไปแล้ว ร่างกายจะไม่สะสมแคลเซียมอีกต่อไป จึงต้องมีการเติมแคลเซียมให้ร่างกายเพื่อรักษาระดับแคลเซียมในกระดูก

2.1.2 ความต้องการแคลเซียมของคนแต่ละวัย

หญิงตั้งครรภ์

สำหรับหญิงมีครรภ์แล้ว แคลเซียมนับได้ว่าเป็นแร่ธาตุที่สำคัญต่อสภาวะการตั้งครรภ์อย่างมาก โดยหญิงตั้งครรภ์จำเป็นต้องได้รับแคลเซียมมากกว่าคนธรรมดาเป็นพิเศษ เนื่องจากจะต้องถ่ายทอดแร่ธาตุดังกล่าวสู่ลูกเพื่อการพัฒนาโครงสร้างร่างกายของทารกในครรภ์ ดังนั้นหญิงมีครรภ์จึงมีโอกาสเสี่ยงสูงที่จะขาดแคลนแคลเซียม ถ้าไม่สามารถบริโภคอาหารที่ให้ปริมาณแคลเซียมได้เพียงพอต่อทั้งแม่ และลูกได้ บ่อยครั้งจึงพบว่าหญิงมีครรภ์จะมีอาการกล้ามเนื้อปวดเกร็งในบริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย ที่พบบ่อย คือ บริเวณน่อง โดยจะเกิดขึ้นทั้ง ๆ ที่ไม่ได้ออกกำลังกาย หรือเดินมาก อันเป็นผลมากจากการขาดแคลเซียมนั่นเอง จากการศึกษาพบว่าหญิงตั้งครรภ์เป็นตะคริวถึงร้อยละ 26.8 และส่วนใหญ่เริ่มมีอาการตั้งแต่อายุครรภ์ประมาณ 25 สัปดาห์ และอาการดีขึ้นได้อย่างชัดเจนหากได้รับการเสริมแคลเซียม ดังนั้นแคลเซียมจึงเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นยิ่งต่อสภาวะการตั้งครรภ์ เพราะนอกจากจะช่วยให้พัฒนาการเติบโตของทารกในครรภ์เป็นปกติแล้ว ยังมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนช่วยรักษาเสถียรสภาพความหนาแน่นกระดูกในแม่ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเกี่ยวกับกระดูก หรือโรคกระดูกพรุนในภายหลังได้

วัยเด็ก

เด็ก ๆ ต้องการแคลเซียมมากกว่าวัยผู้ใหญ่ และวัยสูงอายุ เพื่อนำมาเสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่กระดูก และฟัน และส่วนอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นโครงสร้างของร่างกาย โดยการสะสมแคลเซียมในเด็กที่หัดพูดจะช้าแต่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในวัยหนุ่มสาว ซึ่งจากการศึกษาพบว่าถ้าปริมาณแคลเซียมในร่างกายเด็กต่ำ จะทำให้ขบวนการสะสมเกลือแร่ในกระดูก และความหนาแน่นของกระดูกต่ำเป็นผลให้เกิดโรคกระดูกอ่อน หรือโรคกระดูกค่อมงอได้ โดยเด็กจะมีอาการเหงื่อออกบริเวณศีรษะมากเกินไป การนั่ง คลาน เดิน ทำได้ช้า นอนไม่หลับ กระดูกขาของเด็กที่ได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอเมื่อรับน้ำหนักตัวที่เพิ่มมากขึ้นตามอายุเป็นผลให้ขาโก่ง กระดูกซี่โครงโค้งงอ กระดูกเชิงกรานมีรูปร่างผิดปกติ ซึ่งอาการนี้เมื่อเกิดขึ้นกับเด็กแล้วไม่สามารถรักษาให้หายคืนปกติได้ นอกจากจะทำการผ่าตัดใหญ่เท่านั้น สิ่งที่สำคัญของช่วงอายุนี้ คือ การพัฒนารูปแบบการบริโภคให้สอดคล้องกับระดับแคลเซียมที่ร่างกายต้องการให้เพียงพอ เพื่อพัฒนาความหนาแน่นของกระดูก ให้การเติบโตของเด็กเป็นปกติ อีกทั้งยังเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยลดความเสี่ยงการเป็นโรคเกี่ยวกับกระดูกในช่วงต่อไปของชีวิตได้

วัยหนุ่มสาว

จากการศึกษาวิจัยแสดงว่า ช่วงอายุ 11 - 24 ปี เป็นช่วงที่ร่างกายดำเนินกระบวนการก่อรูปกระดูก โดยถ้าร่างกายได้รับแคลเซียมในปริมาณที่ต่ำกว่าร่างกายต้องการ จะก่อให้เกิดปัญหาตามมาในภายหลัง ซึ่งถ้าขาดอย่างร้ายแรงจะก่อให้เกิดโรคกระดูกอ่อน มีอาการเจ็บกระดูก เจ็บกล้ามเนื้อ และเมื่อประสบกับการกระดูกหัก กระดูกจะสมานให้เหมือนเดิมได้ช้า สิ่งสำคัญ คือ การรักษาระดับการบริโภคอาหารให้สอดคล้องกับระดับแคลเซียมที่ต้องการเพื่อป้องกันโรคเกี่ยวกับกระดูกถ้าจะต้องมีการสูญเสียไปในภายหลังของช่วงชีวิต โดยถ้าเราได้รับแคลเซียมตั้งแต่อยู่ในวัยหนุ่มสาวหรือกลางคนอย่างสม่ำเสมอ และพอเพียง อายุการสึก หรือผุกร่อนตามธรรมชาติก็จะยืดออกไปได้นานกว่าคนที่อยู่ในวัยเดียวกันที่บริโภคแคลเซียมไม่เพียงพอในวัยเด็ก และวัยหนุ่มสาว

วัยสูงอายุ

คนเราปกติจะมีโอกาสสูญเสียแคลเซียมจากกระดูกเมื่อเรามีอายุมากขึ้น เพราะว่าเมื่ออายุเกินกว่า 30 ปีแล้ว ร่างกายจะไม่สะสมแคลเซียมอีกต่อไป โอกาสเผชิญกับโรคเกี่ยวกับกระดูกจะสูงถ้าร่างกายไม่ได้รับแคลเซียมอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหญิงวัยหมดประจำเดือน ซึ่งการศึกษาพบว่า ร่างกายจะสูญเสียกระดูกในช่วงประมาณ 5 - 6 ปีแรกหลังจากหมดประจำเดือน เนื่องจากการลดลงของฮอร์โมนเอสโทรเจน และประสิทธิภาพในการสร้างวิตามินดีก็ลดลงตามวัยที่เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงมีแนวโน้มจะเป็นโรคกระดูกพรุนสูง โดยเป็นโรคที่เป็นผลมาจากการขาดแคลนแคลเซียม ซึ่งบางครั้งอาจทำให้กระดูกหักได้เนื่องจากแบกรับน้ำหนักตัวไม่ไหว และในกรณีที่ร้ายแรงจะก่อผลเสียต่อกระดูกสันหลัง กระดูกต้นขา และกระดูกแขนท่อนนอกได้อีกด้วย โดยโรคดังกล่าวจะไม่แสดงอาการใด ๆ ให้ทราบเลยจนกว่าจะมีอาการกระดูกหัก ดังนั้นคนในวัยสูงอายุที่มีการเสริมแคลเซียมให้กับกระดูกอย่างเพียงพอ จะช่วยยับยั้งการสูญเสียกระดูกในช่วงนี้ได้ การเผชิญกับการผุกร่อนของกระดูกจะน้อยลง ความเสี่ยงที่ต้องเผชิญกับโรคที่เกี่ยวกับกระดูกเมื่อย่างเข้าสู่วัยทองก็น้อยลง หรืออาจไม่เกิดขึ้นเลยก็ได้

จะเห็นได้ว่าแคลเซียมมีความจำเป็นสำหรับคนทุกเพศทุกวัยด้วยกันทั้งนั้น แต่ปริมาณความต้องการแคลเซียมของร่างกายจะแตกต่างกันในแต่ละวัย ซึ่งสถาบันสุขภาพแห่งชาติของอเมริกา (National Institute Health) แนะนำปริมาณของแคลเซียมที่เหมาะสมในแต่ละวัย ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณแคลเซียมที่แนะนำให้บริโภคในแต่ละช่วงอายุ

ปริมาณแคลเซียมที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน		
กลุ่ม	**กลุ่มอายุ**	**ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม)**
ทารก	0 – 6 เดือน	210
	7 – 12 เดือน	270
เด็ก	1 – 3 ปี	500
	4 – 8 ปี	800
วัยรุ่น	9 – 18 ปี	1000
ผู้ใหญ่	19 – 50 ปี	800
	มากกว่า 50 ปี	1000
หญิงตั้งครรภ์	19 – 50 ปี	800
หญิงให้นมลูก	19 – 50 ปี	800

2.1.3 ประโยชน์ที่มีต่อร่างกาย

- เป็นส่วนประกอบของกระดูก และฟัน ในเถ้าถ่านกระดูกจะมีแคลเซียมถึงร้อยละ 50 เป็นแคลเซียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 80 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ12 และอีกร้อยละ 3 อยู่ในสภาพของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ สารประกอบแคลเซียมจะอยู่ในโพรงกระดูก ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ตอนปลายของกระดูกซึ่งเราเรียกว่า “ ทราเบคูลาร์ (trabeculae) ” ถ้าร่างกายได้รับแคลเซียมมากเพียงพอทราเบคูลาร์จะได้รับการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างดี จะทำให้ส่วนปลายของกระดูกแข็งแรง ภายในโพรงกระดูกมีเส้นเลือด และของเหลวมาติดต่อ เพื่อนำแคลเซียมไปช่วยรักษาระดับแคลเซียมในเลือดในกรณีที่ได้รับแคลเซียมจากอาหารน้อยลง เพื่อปรับระดับแคลเซียมในเลือดให้สมดุลตลอดเวลา ในระยะที่เป็นเด็กร่างกายกำลังเจริญเติบโต ร่างกายจะมีการสร้างกระดูกโดยดึงแคลเซียมเข้าไปที่กระดูก (bone formation) มากกว่าที่จะสลายออกมา (bone resorption) แต่เมื่ออายุมากขึ้น การสลายแคลเซียมออกมาจากกระดูกมีมากกว่าการดึงแคลเซียมเข้าไป จึงเป็นสาเหตุทำให้กระดูกมีรูพรุน เปราะ และหักง่าย ถ้าไม่มีการรักษาสมดุลของแคลเซียมในเลือดไว้

- ช่วยลดสภาวะการเกิดความดันโลหิตสูง โดยมีการศึกษาพบว่าคนที่ความดันโลหิตสูงมักจะรับประทานแคลเซียมน้อยกว่าคนปกติ และยังพบอีกว่าการรับประทานอาหารที่อุดมไปด้วยแคลเซียม หรืออาหารเสริม จะช่วยลดความดันโลหิตลงในผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูง ทั้งนี้เป็นเพราะแคลเซียมช่วยให้กล้ามเนื้อบีบตัวได้ดี และทำให้หัวใจ และหลอดเลือดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงส่งผลให้ความดันโลหิตลดลงได้
- ช่วยป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ โดยมีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้มายาวนาน และพบว่าคนที่มีความเสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่จะมีแนวโน้มลดลงได้เมื่อรับประทานแคลเซียม และพบว่าหลังได้รับแคลเซียมการแบ่งเซลล์ที่ผิดปกติลดลง มันดูเหมือนว่าแคลเซียมจะไปลดผลการรบกวนของน้ำดี และกรดไขมันในลำไส้ลง ซึ่งเป็นสาเหตุของการแบ่งเซลล์ที่ผิดปกติในลำไส้
- ช่วยลดอาการปวดก่อนมีประจำเดือน โดยมีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมช่วยบรรเทาอาการปวดก่อนมีประจำเดือน และรวมทั้งอารมณ์ที่แปรปรวน ซึมเศร้า และอื่น ๆ ที่มักจะเกิดก่อนที่จะมีประจำเดือน ทั้งนี้เพราะการที่มีระดับแคลเซียมในร่างกายต่ำจะส่งผลให้ระดับฮอร์โมนผิดปกติไปด้วย จึงได้มีการศึกษาเมื่อเร็ว ๆ นี้เองในผู้หญิงหลายร้อยคน โดยให้รับประทานแคลเซียมขนาด 750 มิลลิกรัมครั้งละ 1 เม็ด วันละ 2 ครั้ง พบว่าอาการที่เกี่ยวข้องที่มักเกิดก่อนมีประจำเดือนรวมทั้งอาการปวดลดลงอย่างเห็นได้ชัด ความรุนแรงก็ลดลงกว่าครึ่ง
- จำเป็นต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ และประสาท ถ้าแคลเซียมในเลือดน้อยจะทำให้กล้ามเนื้อไวต่อการกระตุ้น และทำให้เกิดการชักเกร็ง แต่ถ้ามีระดับแคลเซียมมากเกินระดับปกติ ก็จะไปกดการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจ ทำให้หัวใจหยุดเต้นในท่าบีบตัว ทำให้ประสาทเกิดการเฉื่อยชา แคลเซียมในขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอเหมาะจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเต้นของชีพจร และการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ

- ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง หรือยับยั้งการทำงานของน้ำย่อยหลายชนิด เช่น น้ำย่อยไลเปสจากตับอ่อน
- จำเป็นในการแข็งตัวเป็นลิ่มของเลือด กล่าวคือ เมื่อเซลล์ได้รับบาดเจ็บ แคลเซียมที่อยู่ในเลือดจะกระตุ้นให้มีการขับทรอมโบพลาสติน (thromboplastin) ออกมาจากเกล็ดเลือด (platelets) แล้ว ทรอมโบพลาสตินจะเร่งให้มีการเปลี่ยนโพรทรอมบิน (prothombin) ไปเป็นทรอมบิน (thombin) และทรอมบินจะช่วยให้ไฟบริโนเจน (fibrinogen) เปลี่ยนไปเป็นไฟบริน (fibrin) ในที่สุด ซึ่งคือ การทำให้เลือดแข็งตัว
- ช่วยในการย่อยโปรตีนของน้ำนม (casein)
- ควบคุมความสมดุลของกรด และด่างในร่างกาย โดยควบคุมการผ่านของสารต่าง ๆ ให้น้อยลง เพื่อป้องกันการสะสมที่มากเกินไปของกรด หรือด่างในเลือด ขณะที่โซเดียม และโปตัสเซียมปล่อยให้สารเหล่านี้ผ่านเข้าออกได้มากขึ้น
- จำเป็นในการสังเคราะห์อะซิทิลโคลีน (acetylcholine) ซึ่งเป็นสารจำเป็นในการส่งกระแสความรู้สึกของระบบประสาท
- ช่วยในการดูดซึมวิตามินบี 12 ที่ลำไส้เล็กตอนปลาย
- เป็นส่วนประกอบของ intracellular cement ทำให้เซลล์คงตัวอยู่ได้
- ต่อต้านผลที่เป็นอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี สตรอนเทียน 90
- เมื่อร่างกายได้รับแคลเซียม และเหล็กเพียงพอจะช่วยป้องกันมิให้สารตะกั่วดูดซึมเข้าที่ลำไส้ผ่านเข้าสู่เนื้อเยื่อ แต่ถูกขับออกจากร่างกายแทน
- ลดอาการโรคกระเพาะ หากรับประทานแคลเซียมในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นรูปแบบของยาลดกรดตัวหนึ่ง จะไปช่วยลดอาการโรคกระเพาะลงได้
- ลดอาการนอนไม่หลับ มีหลายคนที่มีปัญหาโรคนอนไม่หลับอันเนื่องมาจากมีระดับแคลเซียมในเลือดต่ำ ดังนั้นการรับประทานแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียมจะช่วยลดอาการนี้ได้ดี
- ป้องกันอาการไมเกรน เนื่องจากการรับประทานแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียม จะช่วยให้ระบบหลอดเลือด และสมองมีการทำงานดีขึ้น จึงช่วยลดอาการไมเกรนลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 แหล่งอาหารที่มีแคลเซียม

อาหารประเภทที่มีแคลเซียมสูง และร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี ได้แก่ น้ำนม และผลิตภัณฑ์จากนม ซึ่งน้ำนมเป็นอาหารที่มีแคลเซียมสูง และร่างกายสามารถใช้ประโยชน์ได้ดีที่สุด เนื่องจากนมมีโปรตีน หรือกรดอะมิโนบางตัวกับน้ำตาลแล็กโทส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีอยู่เฉพาะในน้ำนมเท่านั้น เป็นตัวช่วยส่งเสริมการดูดซึมของแคลเซียม นมเป็นอาหารที่หาดื่มได้ง่าย แม้ว่าปัจจุบันยังมีการบริโภคกันน้อยในหมู่คนไทย เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้ว สำหรับผู้ที่ไม่ต้องการเพิ่มน้ำหนักให้ตัวเองก็สามารถเลือกดื่มนมพร่องไขมัน แต่สำหรับคนที่ร่างกายผอมจนเกินไปก็ควรดื่มนมที่มีไขมัน ซึ่งมีให้เลือกมากมาย โดยสังเกตได้ที่ข้างกล่องว่าเป็นนมชนิดไหน แต่นมทุกชนิดล้วนเป็นแหล่งอาหารที่มีแคลเซียมสูงด้วยกันทั้งสิ้น และยังมีคุณค่าทางอาหารสูงมาก เพราะมีวิตามินนานาชนิด และมีแร่ธาตุมากมาย นอกจากนี้ยังมีโปรตีนอีกด้วย

ตัวอย่างอาหารที่มีแคลเซียมสูง ได้แก่

- น้ำนม

น้ำนมวัว 100 ซีซี มีแคลเซียม 120 มิลลิกรัม

น้ำนมคน 100 ซีซี มีแคลเซียม 30 มิลลิกรัม

นมผง 100 ซีซี มีแคลเซียม 990 มิลลิกรัม

ถึงแม้ว่า น้ำนมคนมีแคลเซียมน้อยกว่าน้ำนมวัว แต่มีสัดส่วนของแคลเซียม ฟอสฟอรัสเหมาะสำหรับการดูดซึมมากกว่า และมีน้ำตาลแลคโตสมาก ซึ่งมีส่วนช่วยในการดูดซึมแคลเซียมด้วย จึงเหมาะสมสำหรับเด็กทารกมากกว่าน้ำนมวัว

- ผลิตภัณฑ์จากน้ำนม เช่น เนยแข็ง เนยเหลว และไอศกรีม
- ผักต่าง ๆ เช่น ตำลึง ดอกกะหล่ำ เห็ด ฯลฯ อาหารพวกนี้มีปริมาณแคลเซียมสูง และมีอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ในประเทศไทย
- ไข่แดง และอาหารทะเล เช่น ปลาเล็กปลาน้อย ปลาบ่น กะปิ
- กระดูกที่รับประทานได้ เช่น ปลากระป๋อง ปลาป่น ปลากรอบ กุ้งแห้ง กุ้งฝอยสด (น้ำจืด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างอาหารที่มีแคลเซียมต่ำ ได้แก่

- เนื้อสัตว์ ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ถั่วต่าง ๆ (ยกเว้นถั่วเหลือง ซึ่งมีแคลเซียมระดับปานกลาง) ผัก และผลไม้
- รูปแบบของยา

- Calcium chloride ประกอบด้วยธาตุแคลเซียม 27% สามารถให้ทางหลอดเลือดดำได้ แต่ให้แบบฉีดเข้าใต้ผิวหนังไม่ได้ ชนิดรับประทานทำให้ระคายเคืองกระเพาะได้บ้าง ผู้ป่วยที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ชนิดฉีด จะเกิดความรู้สึกร้อนบริเวณผิวหนัง ปกติ Calcium chloride ที่ให้ทางหลอดเลือดจะอยู่ในรูปสารละลาย 10% (แคลเซียม 1.36 mcg/ml) อัตราการฉีดไม่ควรเกิน 1 มิลลิลิตรต่อนาที

- Calcium gluconate มีแคลเซียม 9% ชนิดเม็ดมีขนาด 500 – 1000 มิลลิกรัม ไม่ระคายกระเพาะ ชนิดที่เป็นสารละลาย 10% (0.45 mcg/ ml. ของแคลเซียม) การให้ Calcium gluconate ฉีดเข้าหลอดเลือดเป็น Treatment of choice ในกรณีปวดเกร็งกล้ามเนื้ออย่างรุนแรงเนื่องจากแคลเซียมต่ำ ไม่ควรให้ Calcium gluconate ฉีดเข้ากล้ามเนื้อเด็ก จะทำให้เกิดอาการอักเสบบริเวณที่ฉีดได้

- Calcium lactate มีแคลเซียม 13% คุณสมบัติคล้าย Calcium gluconate ชนิดเม็ดขนาด 325 – 650 มิลลิกรัม ถ้าให้ Lactose ควบไปด้วยจะยิ่งช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียม

- Calcium glubionate มีแคลเซียม 6.5% มีจำหน่ายในรูปน้ำเชื่อม และชนิดฉีด

- Calcium carbonate มีแคลเซียม 40% เป็นผงไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้โดยอาศัยกรดในกระเพาะอาหารที่มีคุณสมบัติเป็นยาลดกรดด้วย

ข้อบ่งใช้

- เมื่อได้รับจากอาหารไม่เพียงพอ
- การเกร็งของกล้ามเนื้อ (Tetany)

ข้อควรระวัง

- ในผู้ป่วยที่การทำงานของไตไม่ปกติ ควรใช้อย่างระมัดระวัง
- หลีกเลี่ยงการใช้ร่วมกับวิตามินดีขนาดสูง
- ไม่ควรรับประทานพร้อมกับยา Tetracycline หรือฟลูออไรด์ เนื่องจากยาทั้ง 2 ชนิดจะจับแคลเซียมทำให้ลดการดูดซึม
- ระมัดระวังในผู้ป่วยที่มีประวัติการเป็นนิ่วในทางเดินปัสสาวะ
- เมื่อให้โดยการฉีดจะต้องได้รับการตรวจระดับแคลเซียมในเลือด และปัสสาวะก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างปริมาณแคลเซียมในอาหารต่าง ๆ

ตัวอย่างปริมาณแคลเซียมในอาหาร		
อาหาร	**ปริมาณอาหารที่บริโภค**	**ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม)**
นมจืด	1 กล่อง (200 มิลลิลิตร)	226
นมพร่องมันเนย	1 กล่อง (200 มิลลิลิตร)	246
โยเกิร์ต, รสต่างๆ, เฉลี่ย	1 กล่อง (150 กรัม)	160
นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม, รสต่างๆ, เฉลี่ย	1 กล่อง (180 มิลลิลิตร)	106
ปลาตัวเล็ก	2 ช้อนกินข้าว	226
ปลาซาร์ดีนกระป๋อง	4 ช้อนกินข้าว	198
กุ้งฝอย, ดิบ	1 ช้อนกินข้าว	134
กุ้งแห้ง	1 ช้อนกินข้าว	138
กิ้งก่า, ย่าง	1 ตัวกลาง	177
เต้าหู้อ่อน	5 ช้อนกินข้าว	150
เต้าหู้แข็ง	2 ช้อนกินข้าว	32
ผักคะน้า, ผัด	1 ทัพพี	71
ผักกาดเขียว, ต้ม	1 ทัพพี	96
ผักกวางตุ้ง, ต้ม	1 ทัพพี	60
ผักกาดขาว, ต้ม	1 ทัพพี	49
ใบยอ, นึ่ง	½ ทัพพี	87
ใบกระเพรา, ผัด	3 ช้อนกินข้าว	61

อาหาร หรือ สารเสริมฤทธิ์

- วิตามินเอ ช่วยในการดูดซึมของแคลเซียมเข้าร่างกายดีขึ้น
- วิตามินซี ช่วยในการดูดซึมแคลเซียมเข้าร่างกายอีกทาง
- วิตามินดี ช่วยในการดูดซึมแคลเซียมเข้าท่อไต และหน่วงไว้ ตลอดจนช่วยร่างกายในการใช้แคลเซียมให้เกิดประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ
- วิตามินเอฟ หรือ UNSATURATED FATTY ACID เป็นตัวช่วยให้มีแคลเซียมพร้อมอยู่เสมอเมื่อเนื้อหนังต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เหล็ก ช่วยให้แคลเซียมซึมเข้าร่างกายอย่างเต็มที่
- แมกนีเซียม
- แมงกานีส ในการที่จะให้การดูดซึมแคลเซียมได้ดีขึ้น จะต้องได้รับวิตามินดี
- ฟอสฟอรัส ในการที่จะดูดซึมแคลเซียมได้ดีขึ้น จะต้องได้รับวิตามินดี
- ยาคุมกำเนิดชนิดเม็ด ถ้ารับประทานร่วมกับแคลเซียมกลับจะทำให้การดูดซึมแคลเซียมดีขึ้น
- ความต้องการของร่างกาย ในคนที่มีร่างกายแข็งแรงจะสามารถดูดซึมแคลเซียมได้ร้อยละ 30 – 40 แต่ถ้าเมื่อใดได้รับแคลเซียมต่ำ ร่างกายจะสามารถปรับตัวทำให้ดูดซึมเกลือแร่มากขึ้น การดูดซึมแคลเซียมจะมากในระยะเจริญเติบโต เช่น เด็กวัยรุ่นจะดูดซึมแคลเซียมประมาณร้อยละ 30 จากอาหาร ในขณะที่หญิงมีครรภ์ และหญิงให้นมบุตรจะดูดซึมแคลเซียมประมาณร้อยละ 40 หรือ มากกว่าจากอาหาร
- ความเป็นกรดที่มีอยู่ในร่างกายจะช่วยละลายแคลเซียม และสามารถนำไปใช้ตามความต้องการของร่างกาย
- ไขมันที่มีในปริมาณที่พอเหมาะ จะทำให้การเคลื่อนไหวของกระเพาะ เคลื่อนไปอย่างช้า ๆ ซึ่งช่วยทำให้การดูดซึมแคลเซียมง่ายขึ้น
- การบริโภคโปรตีน ถ้าบริโภคอาหารโปรตีนสูงจะช่วยในการดูดซึมแคลเซียมให้ดีขึ้น
- น้ำตาลแลคโทสจะเพิ่มอัตราการดูดซึม โดยที่แบคทีเรียเปลี่ยนแลคโทสให้เป็นกรดแลคติค

อาหาร หรือ สารต้านฤทธิ์

- ยาแอสไพริน ยาลดไข้ ระงับปวด
- ยาพวกคอร์ติโซน หรือพวกสเตอรอยด์ เช่น คอร์ติโซน เพร็ดนิโซโลน
- ผงไทรอยด์ที่ได้จากสัตว์ ใช้รักษาต่อมไทรอยด์ ขาดธาตุไอโอดีน
- การรับประทานแคลเซียมร่วมกับยาระงับประสาท ฟีโนบาบิทอล (PHENOBARBITAL) ทำให้การดูดซึมแคลเซียมในลำไส้บกพร่อง
- เมื่อรับประทานแคลเซียมร่วมกับยาขับปัสสาวะ พวกฟูโรซีไมด์ ไทรแอมเฟอรีน เอ็ธธะดริเนทโซเดียม หรือกรดเอ็ธธะดริเนท หรือเครื่องดื่มผสมสุรา จะทำให้แคลเซียมในร่างกายถูกขับทางปัสสาวะมากเกินไป
- กรดซาลิก และกรดไฟติก จากข้าว ผักใบเขียวเป็นสารที่ขัดขวางการดูดซึมแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- แคลเซียมในร่างกายจะถูกควบคุมโดยต่อมพาราไทรอยด์ และเมื่อต่อมนี้ทำงานผิดพลาดหรือไม่ถูกต้อง แคลเซียมจะสะสมอยู่ที่ต่อมนี้ ร่างกายจะขาดแคลเซียม ดังนั้นการรักษาจำเป็นต้องแก้ไขที่ต่อมพาราไทรอยด์ ไม่ใช่ระงับการรับประทานแคลเซียม

-ไขมันที่มากเกินไปจะรวมกับแคลเซียมทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble compound) ทำให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมไม่ได้

- กรดไฟติค ที่มีอยู่ในพวกธัญพืช และเมล็ดข้าว ถ้ามีกรดไฟติคเป็นจำนวนมากจะไปรวมกับแคลเซียมเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ และย่อยสลายได้ยาก ทำให้การดูดซึมแคลเซียมของร่างกายลดลง
- การได้รับฟอสฟอรัสที่มากกว่าปกติไม่สมดุลกับแคลเซียม เช่น การกินอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ซึ่งมีฟอสฟอรัสในปริมาณที่มาก แต่ดื่มนมน้อยลง มีผลทำให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมจากนมลดลง
- ปัจจัยอื่นๆ เช่น การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ความเครียด การสูบบุหรี่จัด การดื่มกาแฟมากกว่าวันละ 6 แก้ว และการบีบตัวของลำไส้ ทำให้การดูดซึมแคลเซียมลดลงได้
- การไม่ออกกำลังกาย หรือคนที่นั่งมาก ๆ จะมีความหนาแน่นของกระดูกน้อยกว่าคนที่ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ

2.1.5 ผลของการขาดแคลเซียม

ในภาวะที่ร่างกายได้รับแคลเซียมจากอาหารลดลงเพียงเล็กน้อย พาราธัยรอยด์ฮอร์โมนจะส่งสัญญาณให้ไตสกัดกั้นแคลเซียมที่จะขับออกทางปัสสาวะเอาไว้ ในขณะเดียวกันจะปล่อยวิตามินดีที่สะสมในตับออกมาใช้ถ้าร่างกายยังคงได้รับแคลเซียมจากอาหารน้อยมาก วิตามินดีจะไปยืมเอาแคลเซียมจากกระดูกมาใช้ เพื่อให้การทำงานของกล้ามเนื้อ และประสาทเป็นไปอย่างปกติ ซึ่งจะทำให้มีอาการปรากฏตามมา คือ

- เป็นตะคิว และชา
- การผิดปกติของการสร้างกระดูก (bone malformation) การขาดแคลเซียมมีผลทำให้การมีแคลเซียมไปจับเกาะ (calcification) ช้าลงของกระดูก และฟัน ในกรณีที่ขาดแคลเซียมร้ายแรงซึ่งจะปรากฏไม่บ่อยนัก ถ้าไม่ขาดฟอสฟอรัส และวิตามินดีด้วย การขาดจะนำมาซึ่งการฟอร์มตัวที่ผิดไปของกระดูก กระดูกจะไม่แข็งแรง และอ่อน ทำให้มีรูปร่าง และลักษณะแตกต่างออกไป เช่น โรคกระดูกอ่อนในเด็ก (ricket) มีอาการขางอโค้ง ข้อมือ และเท้าใหญ่ หน้าอกยื่น กระดูกอกกลวง และโรคกระดูกอ่อนในผู้ใหญ่ (osteomalacia หรือ adult ricket) อาการ คือ ส่วนประกอบของสารใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
107804

กระดูกลดลง ทำให้โครงร่างผิดไป และร้าวง่าย มักเกิดกับผู้หญิงที่อาศัยในถิ่นที่ขาดแสงแดด และใช้เสื้อผ้าที่ป้องกันแสงแดด มีแคลเซียมต่ำในอาหาร คนท้องติด ๆ กัน และคนที่ให้นมบุตรเป็นระยะเวลานาน

- โรคกระดูกพรุน (osteoporosis) เป็นโรคที่มีเนื้อกระดูกน้อยเกินไป ความหนาแน่น ความทึบของกระดูกลดลง ในขณะที่องค์ประกอบของกระดูกมิได้เปลี่ยนแปลง กระดูกจะพรุน และหักง่าย เนื่องจากแคลเซียมถูกดึงออกจากกระดูกเร็วกว่าที่จะมาสะสม ทั้งนี้เพราะภายในกระดูกมีเซลล์อยู่ 2 ชนิด คือ เซลล์สลายกระดูก ซึ่งจะมีหน้าที่สลายกระดูกส่วนที่ผุกร่อน และเซลล์สร้างกระดูกใหม่ เพื่อทดแทนส่วนที่ทรุดโทรมผุสลาย กระบวนการสลายกระดูกและสร้างใหม่นี้จะใช้เวลา 100 วันและทุก ๆ 10 ปี ร่างกายจะมีการสร้างกระดูกขึ้นมาใหม่ เพื่อความแข็งแกร่ง และทนทาน แต่การสร้าง และสลายกระดูกนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามอายุ ตอนแรกหลอดเซลล์สร้างกระดูกจะทำหน้าที่มากกว่าเซลล์สลายกระดูก และกระดูกจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เมื่ออายุ 20 - 30 ปี และช่วงก่อนอายุ 50 ปี โดยเฉพาะในสตรีที่หมดประจำเดือน เซลล์สลายกระดูกจะทำหน้าที่มากกว่าสร้างกระดูก ทั้งนี้เพราะรังไข่จะค่อย ๆ หยุดการทำงาน ทำให้การสร้างฮอร์โมนเอสโตรเจนน้อยลงจนไม่มี ซึ่งฮอร์โมนเอสโตรเจนนี้เป็นฮอร์โมนที่ช่วยป้องกันไม่ให้สูญเสียเนื้อกระดูกเร็ว ดังนั้นในผู้หญิงที่รังไข่หยุดการทำงานไม่มีการสร้างฮอร์โมนเอสโตเจน หรือการสร้างน้อยลง จะมีการสูญเสียเนื้อกระดูก ทำให้กระดูกบางเร็วมาก อาการที่ปรากฏ คือ จะเจ็บบริเวณกระดูก ข้อ เตี้ยลง เนื่องจากกระดูกสันหลังยุบตัว ทำให้หลังงอ และส่งผลไปยังช่องท้อง ระบบอาหารถูกกระทบกระเทือน ถ้าหากล้มเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้กระดูกหัก และยากที่จะประสานได้
- เทแทนนี่ (tetany) เป็นอาการผิดปกติที่ประสาทจะไวผิดปกติในการตอบรับสื่อกระตุ้น ทำให้ไม่สามารถควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อ เกิดอาการชัก มีอาการมือกำเอาปลายนิ้วทุกนิ้วเข้าหากัน โรคนี้พบบ่อยมากในหญิงตั้งครรภ์ และคลอดบุตร เพราะเป็นช่วงที่ต้องการแคลเซียมมากกว่าปกติ

2.1.6 ผลของการได้รับมากไป

ถ้ารับประทานแคลเซียม และวิตามินดีมากจะทำให้ระดับแคลเซียมในเลือดสูง (hypercalcemia) ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน ความดันเลือดสูง ปัสสาวะน้อย มีการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ และอาจเกิดนิ่วในไต ซึ่งเป็นสภาพที่มีผลจากการมีแคลเซียมไปจับเกาะ (calcification) ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเกินไปตรงไต นอกจากนี้จำนวนแคลเซียมที่มากเกินไป จะทำให้กล้ามเนื้อกระบังลมทำงานมากจนไม่สามารถทำหน้าที่ต่อไปได้ คนไข้จะตายทันที เพราะหัวใจวาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคนที่เป็นโรคหัวใจมาก่อนนอกจากนี้ยังมีอาการทางจิต ความคิดสับสน เก็บกด และในที่สุดจะปรากฏอาการทางจิต

2.1.7 ผักที่ทำการหาปริมาณแคลเซียม

2.1.7.1 ผักตำลึง

รูปที่ 2.1 แสดงรูปผักตำลึง

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Coccinia grandis (L.) Voigt*

วงศ์ CUCURBITACEAE

ชื่อสามัญ Ivy gourd

ตำลึงมีดอกสีขาว ผลสีเขียว พอแก่ก็จะเป็นสีส้ม และสีแดงจัดสวยงามมาก ตำลึงอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์สูง เช่น สารเบต้าแคโรทีนที่ช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง และหัวใจขาดเลือด มีแคลเซียมช่วยบำรุงกระดูก และฟัน และยังมีฟอสฟอรัส เหล็ก ไนอาซิน วิตามินซี และอื่น ๆ นอกจากนี้ จากการค้นคว้าของสถาบันวิจัยโภชนาการมหาวิทยาลัยมหิดล พบว่า ตำลึงมีเส้นใยอาหารที่สามารถช่วยลดอัตราเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งในกระเพาะอาหารอีกด้วย สำหรับตำรายาแผนโบราณตำลึงถือเป็นยาเย็น ใบช่วยขับพิษร้อน ถอนพิษไข้ แก้อาการแพ้ อักเสบ แมลงมีพิษกัดต่อย แก้แสบคัน เจ็บตา ตาแดง และตาแฉะ แก้โรคผิวหนัง และลดน้ำตาลในเลือด

คุณค่าทางยา

- แก้พิษคันจากใบไม้คัน หรือหนอนคัน โดยนำใบตำลึงสดสัก 4 - 5 ใบมาขยี้เอาน้ำชโลม หรือทาบริเวณที่คัน
- เป็นเริม งูสวัด ให้ใช้ใบตำลึงล้างน้ำสุกให้สะอาด ตำให้ละเอียด คั้นแล้วกรองเอาแต่น้ำผสมดินสอพองสะตุ (เผาจนสุก) ทาผิวบริเวณที่เป็นให้เปียกชื้นอยู่เสมอ อาการแสบร้อนจะทุเลาลง ถ้าทาแล้วไม่รู้สึกเย็นก็แปลว่ายาไม่ถูกโรคให้เลิกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลิ้นเจ็บ ลิ้นเป็นแผล ให้เคี้ยวผลตำลึงอ่อน
- เบาหวาน ให้เอายอดตำลึงประมาณ 1/2 กำมือโรยเกลือพอให้มีรส ห่อใบตองแล้วนำไปเผาไฟให้สุก แข็งใจกินให้หมด กินก่อนนอนติดต่อกัน 3 เดือน น้ำตาลในเลือดก็จะลดลง
- ยอด เถา ใบ และราก ให้ตำคั้นน้ำดื่มแก้หลอดลมอักเสบ

คุณค่าทางอาหาร

ใบ และยอดอ่อนของตำลึง 100 กรัม ให้พลังงานต่อร่างกาย 35 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย เส้นใย 1 กรัม แคลเซียม 126 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 30 มิลลิกรัม เหล็ก 4.6 มิลลิกรัม วิตามินเอ 18,608 IU วิตามินบีหนึ่ง 0.17 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.13 มิลลิกรัม ไนอาซิน 1.2 มิลลิกรัม วิตามินซี 34 มิลลิกรัม

2.1.7.2 ผักบุ้ง

รูปที่ 2.2 แสดงรูปผักบุ้ง

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Ipomoea reptans Poir. Sym I. aquatica Forsk.*
วงศ์ CONVOLVULACEAE
ชื่อสามัญ Swamp Morning Glory, Water Morning Glory

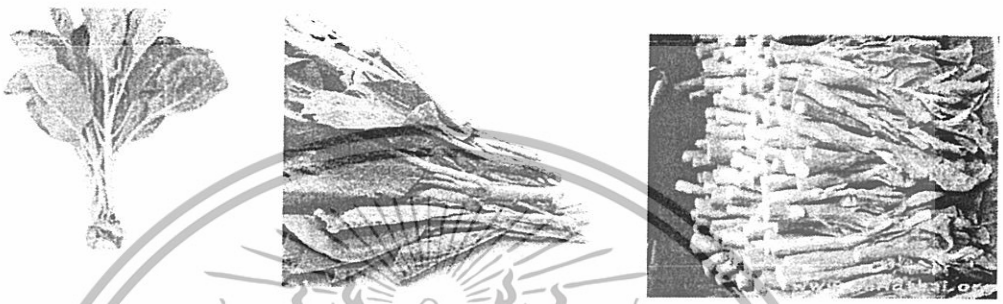
คุณค่าทางอาหารและยา

ผักบุ้ง หรือผักทอดยอด บางทีถูกเรียกว่า ผักตาหวาน เพราะมีเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของวิตามินเอสูง ช่วยบำรุงสายตา ทำให้ดวงตามีน้ำหล่อเลี้ยง เป็นประกายสวยงาม ไม่แสบ หรือรู้สึกแห้งในตา ผักบุ้งไทยต้นขาวจะมีวิตามินซีสูงกว่าชนิดอื่น ๆ ช่วยบำรุงรักษาเหงือกฟัน ให้แข็งแรง ช่วยทำให้ผิวสวย เลือดดี และเพิ่มความต้านทานโรค ไม่เกิดอาการแพ้ต่าง ๆ ง่าย (ต้องกินสด ๆ คุณค่าทางวิตามินจะได้ไม่สูญเสียไป) นอกจากนี้ยังมีธาตุเหล็กช่วยบำรุงเลือด มีแคลเซียม และฟอสฟอรัส บำรุงกระดูก และฟันให้แข็งแรง รวมทั้งมีเส้นใย อาหารที่ช่วยให้ระบบขับถ่ายคล่องขึ้น จากการทดลองทางเภสัชวิทยาล่าสุด พบว่าในผักบุ้งมีสารชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้ที่เป็นเบาหวานได้ และบรรเทา อาการร้อนในได้ โดยลวกผักบุ้งจิ้มน้ำพริกกิน หรือเอาน้ำผักบุ้งผสมเกลืออมไว้ในปากประมาณ 2 นาที ทำวันละ 2 ครั้ง จึงเห็นผลผักบุ้งไทยในตำรายาไทย ถือเป็นยาเย็นแก้ถอนพิษเมื่อเมา

2.1.7.2 ผักคะน้า



รูปที่ 2.3 แสดงรูปผักคะน้า

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica alboglabra Bailey*

วงศ์ CRUCIFERAE

ชื่อสามัญ Chinese Kale, Broecole, Collard

คุณค่าทางอาหารและยา

1. ประกอบด้วยสารเบตาแคโรทีน ในปริมาณที่สูง ซึ่งสารนี้จะแปรเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ ซึ่งวิตามินเอนี้มีประโยชน์ต่อผิวพรรณ ใช้ป้องกันรักษาสิว มีฤทธิ์ต้านทานการติดเชื้อ และเป็นวิตามินบำรุงสายตา ทำให้มองเห็นได้ดีในตอนกลางคืน

2. ประกอบด้วยวิตามินซี โดยพบว่า คะน้า 100 กรัมจะมีปริมาณวิตามินซีสูงเป็น 2 เท่าที่ร่างกายต้องการต่อวัน ซึ่งวิตามินซีนี้ มีบทบาท และคุณประโยชน์ อย่างมากในการป้องกันโรคหวัด ทำให้เชื้ออสุจิแข็งแรง เป็นสารไวเทนนิ่งทำให้ผิวหน้าไม่หมองคล้ำ ลดรอยด่างดำ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ฯลฯ

3. ประกอบด้วยธาตุเหล็ก ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง บำรุงเลือด ป้องกันโลหิตจาง และจะทำหน้าที่ในการพาออกซิเจน ไปยังเซลล์ และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทำให้เซลล์ และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทำงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น และนานขึ้น

4. ประกอบด้วยแร่ธาตุโฟเลต เป็นสารที่สำคัญในกระบวนการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดง ช่วยในการเจริญเติบโตของเซลล์ และกล้ามเนื้อ และช่วยเสริมการทำงาน ของระบบประสาท ช่วยลดอาการอ่อนล้าของกล้ามเนื้อได้ โดยทำงานร่วมกับวิตามินบี 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ประกอบด้วยธาตุแคลเซียม ซึ่งจะพบว่าแคมเซียมนี้ ก็จะเป็นแร่ธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของกระดูก ทำให้กระดูกแข็งแรง ไม่เปราะหักง่าย

6. ประกอบด้วยสารต้านมะเร็ง โดย ดร. วอลเตอร์ วิลเลตต์ แห่งคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ซึ่งเป็นหน่วยงานชั้นนำทางด้านโภชนการ และโรคมะเร็ง ได้รายงานผลการศึกษาเกี่ยวกับคะน้า ว่ามีสาร Carotenoids สูง ซึ่งสารนี้เป็นสารสีธรรมชาติในผัก และผลไม้ มีฤทธิ์ป้องกัน และต้านมะเร็งได้

2.1.7.4 ผักกาดเขียว

รูปที่ 2.4 แสดงรูปผักกาดเขียว

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica juncea Czern.& Coss.*

วงศ์ CRUCIFERAE

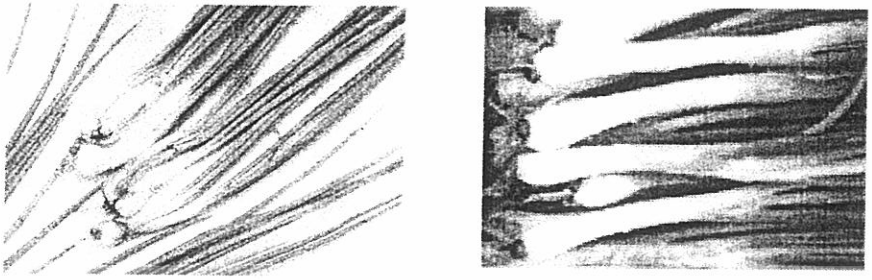
ชื่อสามัญ Indian mustard, Leaf mustard, Chinese mustard

ผักกาดเขียวประกอบด้วยวิตามิน เกลือแร่หลายชนิดคือ วิตามินเอ ซี แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก แพทย์จีนจัดเป็นผักรสขม ฤทธิ์อ่อน ใช้เป็นยาแก้ไอ ขับเสมหะ และลดอาการหวัดจากความเย็น เป็นผักปลูกง่าย อายุสั้นโตเร็ว ช่วยให้หายจากการเป็นลมพิษ เราจึงสามารถเลือกมาประกอบอาหารเพื่อตัดไข้ หรือรสร้อนลดอาการหวัด

ผักกาดเขียว มีวิตามินเออยู่ปริมาณมาก ทางการแพทย์จีน จัดเป็นผักรสเผ็ด ฤทธิ์อุ่น ไม่มีพิษ มีสรรพคุณแก้ไอ ขับเสมหะ เมล็ดพันธุ์เป็นยาแก้ ปวดท้อง ท้องอืดท้องเฟ้อ กระเพาะเย็น ไอเสมหะมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.5 ต้นหอม



รูปที่ 2.5 แสดงรูปต้นหอม

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Allium cepa var. aggregatum*

ชื่อสามัญ Shallot, Multiplier onion

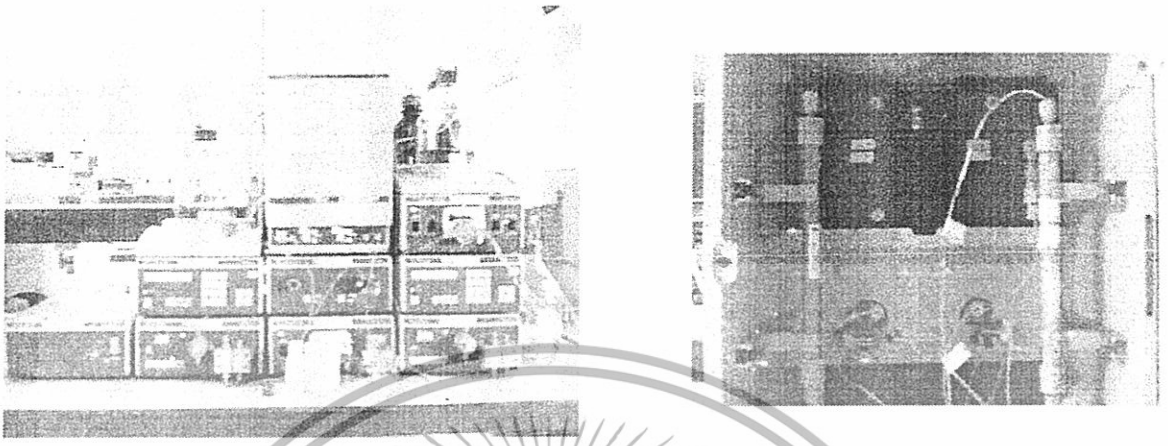
ต้นหอม มีรสชาติเผ็ดร้อน และมีกลิ่นฉุน แต่มีคุณค่าทางอาหารหลายชนิด เช่น แคลเซียม และฟอสฟอรัส ในสัดส่วนที่เหมาะสมแก่ร่างกาย ทั้งยังมีเบต้าแคโรทีน และสารพวกฟลาโวนอยด์ บางชนิด เช่น เควอทิซีน และสไปริโอไซด์ที่เป็นเกราะสำคัญในการป้องกันมะเร็ง

คุณประโยชน์

เมื่อนำไปบดแล้วพอกตรงบริเวณที่ถูกแมลงกัดต่อยก็แก้ปวดได้ชะงัด แถมยังแก้อาการเป็นหวัด คัดจมูก เมื่อบุบต้นหอมดมจะทำให้จมูกโล่งได้ เมื่อบริโภคต้นหอมสด ๆ ยังได้เบต้าแคโรทีนมากถึง 76.30 ไมโครกรัม วิตามินซีสด 22 มิลลิกรัม แคลเซียม 47 กรัม และฟอสฟอรัสถึง 33 กรัม ต่อต้นหอมที่บริโภค 100 กรัม ต้นหอมยังช่วยลดคลอเลสเตอรอลในเลือด ควบคุมความดันโลหิตสูง และป้องกันหลอดเลือดหัวใจอุดตันอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เครื่องไอออนโครมาโทกราฟ (Ion Chromatograph)



รูปที่ 2.6 แสดงรูปเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ (Metrohm)

ไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatography : IC) เป็นหนึ่งในเทคนิคการแยกของไฮเพอร์ฟอร์มานซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี (High Performance Liquid Chromatography : HPLC) IC เป็นวิธีที่จะต้องพิจารณาถึงลักษณะต่าง ๆ เช่น หลักการแยก และการตรวจวัดเป็นพิเศษ เฟสเคลื่อนที่โดยทั่วไปใช้เป็นสารละลายที่มีไอออนปานกลาง (aqueous ionic medium) และเฟสคงที่เป็นของแข็งที่แลกเปลี่ยนไอออน วิธีการตรวจวัดขึ้นอยู่กับการดูดกลืนแสง (absorbance) และการเรืองแสง (fluorescence) เหมือนกับที่ใช้ใน HPLC การใช้วิธีอิเล็กโทรเคมีคอล (electrochemical) ใน IC ขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนในสารละลาย มีการประยุกต์ใช้ IC มาช่วยในการขยายผลผลการวัดปริมาณแคทไอออน และแอนไอออน นอกจากนี้ยังสามารถหาปริมาณสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่มีขั้วได้

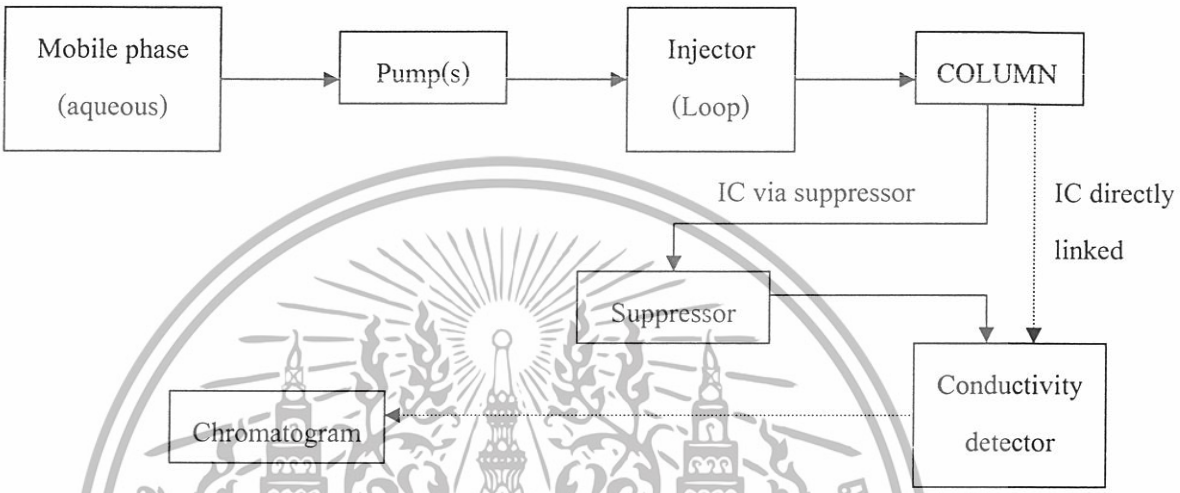
2.2.1 หลักการไอออนโครมาโทกราฟี

การแยกไอออน หรือ สารประกอบมีขั้วที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งเฟสเคลื่อนที่จะเกิดอันตรกิริยากับ ionic site บนเฟสคงที่ การยึด (retention) ของสารประกอบบนเฟสคงที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุ (charge density) สารที่มีประจุจะถูกยึดอยู่บนเฟสเคลื่อนที่นาน กระบวนการแลกเปลี่ยนจะเกิดขึ้นช้ากว่าโครมาโทกราฟีแบบอื่น ๆ

เครื่อง IC มีส่วนประกอบเครื่องคล้ายกับเครื่อง HPLC โดยจะมีส่วนประกอบที่มีเฉพาะส่วนประกอบของระบบจะทำด้วยวัสดุที่เฉื่อย เพราะเฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วยกรด หรือ อัลคาไลน์ ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง และจะใช้งานกับระบบ isocratic มากกว่าระบบ gradient elution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจหาสปีชีส์ของไอออนในตัวอย่างนั้นบางครั้งทำได้ยาก เพราะไอออนที่ต้องการมีอยู่ในตัวอย่างปริมาณที่ต่ำ แต่ในเฟสเคลื่อนที่มีปริมาณไอออนอยู่สูง จึงต้องใช้อุปกรณ์ suppressor ต่อแทรกระหว่างคอลัมน์กับเครื่องตรวจวัดเพื่อกำจัดไอออนอื่นด้วยปฏิกิริยากรด-เบส



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ

2.2.2 เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase)

เฟสเคลื่อนที่ใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (aqueous solution electrolyte) ที่สำคัญต้องมีเมทานอลที่ใช้ละลายตัวอย่างต้องแตกตัวเป็นไอออนได้ในระดับต่ำ ตัวทำละลาย และหมู่ฟังก์ชันของเฟสคงที่เกิดไอออนได้ กลไกการชะขึ้นกับสมดุลการแทนที่ของไอออนตัวอย่าง

ถ้า M^+ คือ สปีชีส์ของไอออนที่ถูกแยกด้วยเฟสคงที่ที่เป็น exchange cation (เช่นพอลิเมอร์ที่มีหมู่ซัลโฟเนต) เฟสเคลื่อนที่เป็นกรดธรรมชาติ หรือ กรดอินทรีย์ สปีชีส์ M^+ ที่อยู่ในเฟสเคลื่อนที่จะเกิดสมดุลกับ exchange site ในคอลัมน์

$$(Eluant)M^+ + [Resin\text{-}SO_3]^-H^+ \longleftrightarrow (Eluant)H^+ + [Resin\text{-}SO_3]^-M^+$$

ในลักษณะเดียวกัน ถ้า A^- คือ แอนไอออนที่ถูกแยกด้วยคอลัมน์ exchange anion และใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นสารละลายไฮโดรจีเนตคาร์บอเนต (เช่นโซเดียม) คอลัมน์ทำจากพอลิเมอร์ที่มีหมู่ quaternary ammonium ภายใต้สภาวะนี้สปีชีส์ A^- ที่อยู่ในเฟสเคลื่อนที่จะเกิดสมดุลดังนี้

$$(Eluant)A^- + [Resin\text{-}NR_3]^+(CO_3H)^- \longleftrightarrow (Eluant)(CO_3H)^- + [Resin\text{-}NR_3]^+A^-$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เฟสคงที่ (Stationnary phase)

วัสดุที่นำมาใช้ทำเลือกตามความต้องการของขนาดรูพรุน การกระจายของอนุภาค การทนต่อสารเคมี และความเสถียรภายใต้สภาวะที่ pH สูง

เฟสคงที่ที่ใช้อาจเป็นสารอนินทรีย์ที่เป็นของแข็งซึ่งได้มาจากธรรมชาติ เช่น sodium aluminosilicate และ clays เช่น montmorillonite หรือ ที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น Zirconium และ divinyl benzene ที่ใช้ในการสังเคราะห์จะเป็นตัวควบคุม % cross-linking ในเรซินถ้า cross-linking ในเรซินมีมากจะไปลดการละลายของพอลีสไตรีน และช่วยทำให้โครงสร้างของมันแข็งขึ้น ซึ่งเหมาะแก่การนำมาใช้ที่ความดันสูง เช่น HPLC อย่างไรก็ตาม การเพิ่ม cross-linking ในเรซินมีผลในการลดความพรุน (porosity) ในเรซินต่ำ เรซินนั้นจะบวมน้ำได้ เนื่องจากดูดซับเอาเฟสเคลื่อนที่เข้าไป ปริมาณของ cross-linking แสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ divinyl benzene ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 2 – 12% ค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปจะอยู่ในราว 8%

คอลัมน์ที่บรรจุด้วยพวกเรซินจมีประสิทธิภาพต่ำกว่าคอลัมน์ที่บรรจุด้วย ion exchanger ที่มีแกน (core) เป็นซิลิกาอย่างที่ใช้ใน LC ด้วยเหตุผลนี้กลุ่มที่มีประจุจะต่อเป็นพันธะเคมีเข้ากับอนุภาคเล็ก ๆ ของซิลิกาเจล และ ion exchange ชนิดนี้จะแสดงลักษณะเฉพาะที่ดีของ mass transfer และสามารถใช้ได้ที่อุณหภูมิห้อง คอลัมน์ที่บรรจุด้วยเรซินส่วนใหญ่จะใช้อุณหภูมิสูง เช่น ที่อุณหภูมิ 60 – 80 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ดีขึ้น อีกประการหนึ่งเรซินคอลัมน์ยังใช้ได้กับ pH ในช่วงกว้าง (เช่น 0 – 14 ในหลาย ๆ กรณี) ค่าซิลิกา (pH 1 – 7.5) และมีอายุการใช้งานมากกว่า แม้จะใช้งานแล้วก็สามารถนำมาใช้อีกได้

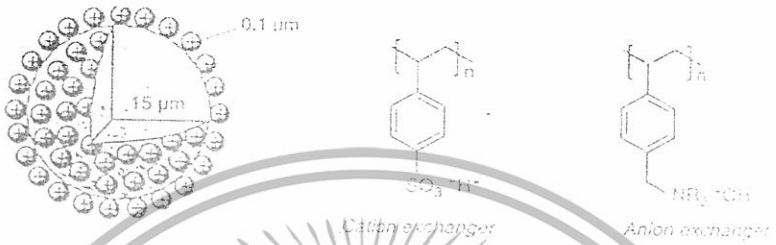
โดยปกติแล้ว ionic group จะถูกเติมเข้าไปในเรซินโดยใช้ปฏิกิริยาเคมีแล้วทำให้เกิด cross-linking ทั้งแคทไอออน และแอนไอออนเรซินยังแบ่งออกเป็น strong และ weak อีกด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับความแรงของกรด และด่างของฟังก์ชันกรุ๊ปที่อยู่บนเรซินนั้น

ตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของเฟสคงที่ใน ion exchanger คือ ขนาดของรูพรุนบนผิวของอนุภาคที่ใช้บรรจุในคอลัมน์ โดยเฉพาะเมื่อต้องการนำไปใช้แยกสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ๆ เช่น โปรตีน และ oligonucleotides อนุภาคที่ใช้บรรจุคอลัมน์เพื่อแยกสารประกอบประเภทนี้ควรมีรูขนาดใหญ่ เพื่อทำให้โมเลกุลของสารเหล่านั้นสามารถแพร่เข้าไปในอนุภาคแล้วเกิดอันตรกิริยากับ ionic group ได้ สำหรับ silica based packing ที่ใช้ในงานนี้ควรจะมีรูขนาดกว้าง 300 – 500 Å เพื่อใช้ในการแยกโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 โคพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Copolymer)

เป็นตาข่ายโคพอลิเมอร์ของพอลีสไตรีน และไดไวนิวเบนซีนที่ถูกนำมาใช้บ่อย ๆ เพราะเป็นพอลิเมอร์ที่แข็งแรงเพียงพอที่จะทนต่อความดันภายในคอลัมน์ มีลักษณะกลมเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงไม่กี่ไมโครเมตร (ภาพที่ 12)



รูปที่ 2.8 แสดงรูปเฟสคงที่ ที่ใช้ในเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ

มีการนำอนุภาคทรงกลมมาปรับปรุงผิวหน้าให้มีหมู่ฟังก์ชันที่มีสมบัติเป็นกรด หรือ เบส ด้วยสารเคมี ดังนี้ เมื่อใช้หมู่ซัลโฟนิก ($-SO_3H$) จะได้ strong cation exchanger ซึ่งเตรียมได้โดยใช้วิธีซัลโฟเนชันเรซิน (sulphonation resin) ส่วน weak cation-exchanger จะมีหมู่คาร์บอนิล ($-COOH$) สำหรับ strong anion exchanger จะมี tetaalkyl ammonium group เช่น $(-CH_2-N(CH_3)_3^+Cl^-$ และ weak anion exchanger จะมี $-NH_2^+Cl^-$ หรือ $-NHR_2^+Cl^-$]

2.2.3.2 Modified silica

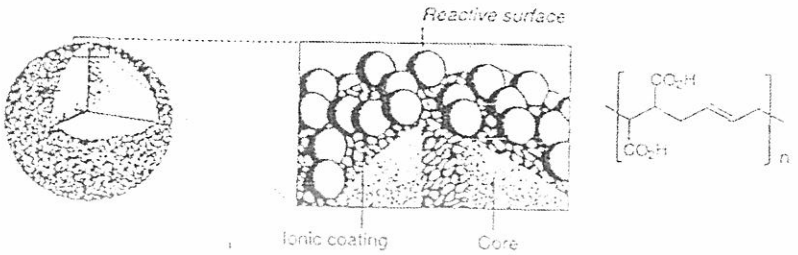
อนุภาคของซิลิกาที่มีรูพรุนสามารถใช้รองรับ alkylphenyl chains substitute โดยเกิดพันธะโควาเลนต์กับหมู่ซัลโฟเนต หรือ หมู่ quaternary ammonium (silica-R^3-$NR_3)^+OH^-$ วิธีการคล้ายกับที่ใช้ทำใน HPLC โดยวัฏภาคขององค์ประกอบอนุภาคต่างกันแล้วแต่เทคนิคที่ใช้ ในกรณีนี้การแยกขึ้นกับ ionic coefficient ก็คือ partition coefficient ของ HPLC

2.2.3.3 ฟิล์มเรซิน (Film resin)

ส่วนของพอลิเมอร์เรียกว่า latex เตรียมจากมอนอเมอร์ที่มีหมู่ออร์แกนิกที่มีขนาดกลมเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 – 0.3 ไมโครเมตร) ตัวซัพพอร์ตทำจากซิลิกา หรือ พอลีสไตรีนเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 – 50 ไมโครเมตร (ภาพที่ 2.13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลาเท็กซ์จะเกิดพันธะกับพอลีสไตรีนซัพพอร์ตแบบมีขั้ว ส่วนพันธะคู่จะเกิดกับวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นร่างแหแข็งแรง



รูปที่ 2.9 แสดงรูปฟิล์มเรซินที่ทำจากกรดมาเลอิก 1,3-บิวทะไดอีน

2.2.4 หลักการแยก

การแยกสปีชีส์ของไอออนสามารถเกิดกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้ ion exchange, ion suppression หรือ ion pairing ในที่นี้จะแสดงรายละเอียดของ ion exchange เท่านั้น

โดยทั่วไปแล้ว เทคนิคนี้ใช้สำหรับแยกสารประกอบที่มีประจุ สารประกอบที่แตกตัวเป็นไอออนได้ เช่น สารอินทรีย์ที่เป็นกรด หรือ เบส และสารประกอบที่สามารถที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับ ionic groups ได้ เช่นพวก chelates หรือ ligands ใน ion-exchange chromatography เฟสคงที่จะมี side-chain ที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุ เฟสเคลื่อนที่ส่วนใหญ่จะประกอบด้วย counter ion ซึ่งก็คือไอออนที่มีประจุตรงข้ามกันกับ ionic group ที่อยู่บนผิวของอนุภาคที่ใช้เป็น ion-exchanger และ counter ion นี้จะอยู่ในสภาวะที่สมดุลกับประจุที่อยู่บนเรซินในลักษณะของ ion pair การที่มีไอออนที่มีประจุเหมือนกันกับประจุของ counter ion จะทำให้เกิดสมดุลขึ้น ดังสมการต่อไปนี้

ction exchange : $X^+ + R^-Y^+ \longleftrightarrow Y^+ + R^-X^+$

anion exchange : $X^- + R^+Y^- \longleftrightarrow Y^- + R^+X^-$

เมื่อ X = ไอออนตัวอย่าง

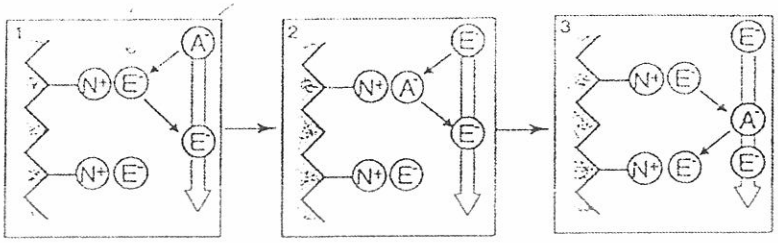
Y = ไอออนในเฟสเคลื่อนที่ (counter ion)

R = ส่วนที่เป็นไอออนบน exchanger

ในกรณีนี้จะเกิดการแข่งขันกันขึ้นระหว่างไอออนในสารตัวอย่างกับ counter ion เพื่อแย่งชิงตำแหน่งของไอออนที่อยู่บนเรซิน ซึ่งคล้ายกับการแข่งขันเพื่อแย่งตำแหน่งดูดซับระหว่างตัวถูกละลายใน LSC จากภาพที่ 14 แสดงกระบวนการการแลกเปลี่ยนไอออนของ analyte anion A^- และ counter ion E^- ในเฟสเคลื่อนที่ที่พบกับ anion exchange บนเฟสคงที่ แล้วเกิดการแลกเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออนกับ A^- ที่อยู่ในเฟสเคลื่อนที่ เมื่อทำการชะก็จะเกิดการจับกันระหว่างเฟสคงที่กับไอออน E^- (จากสารที่ชะ)



รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการการแลกเปลี่ยนไอออน

2.2.5 ตัวตรวจวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity detector)

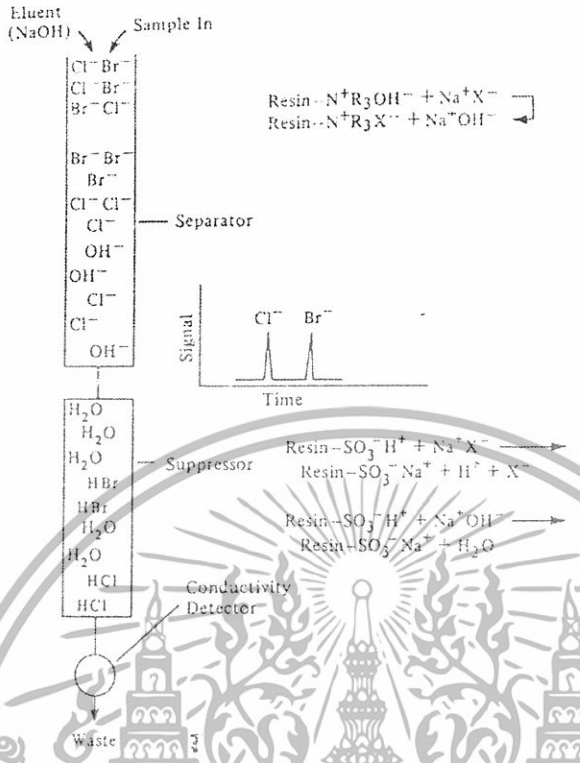
ดีเทคเตอร์ชนิดนี้ได้นำมาใช้ในการตรวจหาตัวถูกละลายที่มีประจุในเฟสเคลื่อนที่ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ดีเทคเตอร์นี้ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก ดังนั้นเวลาใช้งานจะต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ดีตลอดเวลา เฟสเคลื่อนที่ออกจากคอลัมน์เข้าสู่ conductivity cell เพื่อวัดค่า specific conductivity อย่างต่อเนื่อง ดีเทคเตอร์นี้จะให้ค่าการนำไฟฟ้าที่เป็นเส้นตรงในช่วงของความเข้มข้นที่กว้าง ดีเทคเตอร์เหมาะที่จะใช้กับระบบการชะแบบไอโซเครติก (isocratic elution) มากกว่าใช้ในระบบการชะแบบเกรเดียนท์ (gradient elution) เนื่องจากเฟสเคลื่อนที่ในเกรเดียนท์ทำให้ base line เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ จึงทำให้มีข้อจำกัดอยู่บ้าง

2.2.6 Ion suppressor

Suppressor คือ อุปกรณ์ช่วยเมื่อเฟสเคลื่อนที่มีไอออนอยู่สูง โดยตัว suppressor จะช่วยลดค่าการนำไฟฟ้า เพื่อให้สปีชีส์ที่ตรวจวัดได้เป็นสปีชีส์ที่ได้จากของตัวอย่างเท่านั้น

ในทางปฏิบัติแล้ว เทคนิคที่ใช้คอลัมน์ 2 ชนิดต่อกันแบบอนุกรมจะมีลักษณะดังภาพที่ 15 ซึ่งเป็นการแยกคลอไรด์ออกจากโบรไมด์ด้วยเทคนิคทางไอออนโครมาโทกราฟี คอลัมน์บน (separator) ทำหน้าที่แยก Cl^- และ Br^- คอลัมน์ล่าง (suppressor) เป็น strong acid resin ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออน H^+ กับแคทไอออนอื่น ๆ เพื่อทำให้ conductivity สูง ๆ หมดไป เมื่อใช้สารละลาย NaOH เจือจางเป็นตัวชะ conductivity ขั้นสุดท้ายจริง ๆ เป็นของ H^+Br^- และ H^+Cl^- เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงแผนภาพกระบวนการการแยกแอนไอออน

เทคนิคนี้จะใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นบัฟเฟอร์ที่มีสภาพเป็นเบส เช่น เกลือของกรดอ่อน เพื่อให้ทำหน้าที่แยกแอนไอออนใน separation column หลังจากนั้นเฟสเคลื่อนที่จะผ่านไปยัง suppressed column ซึ่งเป็น caion exchange ที่มีความจุสูง คอลัมน์นี้จะอยู่ในรูปของไฮโดรเจนซึ่งเปลี่ยนเฟสเคลื่อนที่ให้เป็นกรดอ่อนที่มี conductivity ต่ำ ในขณะเดียวกัน แอนไอออนของสารตัวอย่างซึ่งเป็นคลอไรด์ และโบรไมด์ไอออนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นตัวที่มี conductivity สูง คือ เป็นกรดที่แตกตัวเป็นไอออนได้ดีด้วย suppressed column ข้อดีของเทคนิคที่ใช้ 2 คอลัมน์นี้ คือ conductivity ของเฟสเคลื่อนที่จะลดน้อยลง ทำให้สามารถวัดแอนไอออนในสารละลายตัวอย่างในตัวกลางที่นำไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มสภาพไวของการการวิเคราะห์ไอออนให้ดีขึ้นอีกด้วย ข้อเสียของเทคนิคนี้ก็คือ จะต้องมีการ regenerate suppressed column เป็นครั้งคราว และบางทีก็มีส่วนทำให้พีกกว้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Keiichi Fukushi, Sahori Takeda, Shin-ichi Wakida, Kunishige Higasni และ Kazua Hiiro(1996) ได้มีการพัฒนาวิธีการ capillary zone electrophoresis (CZE) เพื่อตรวจหาปริมาณแคลเซียมอิสระ (แคลเซียมไอออน) ในผัก การสกัดแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ทำได้โดยนำผักที่บดละเอียดไปต้มในน้ำเดือดนาน 15 – 20 นาที แล้วทำการตรวจวัดโดยตรงด้วย CZE ที่ขึ้นกับการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ ethylenediaminetetaacetic acid ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (relative standard deviations : RSD) ของพื้นที่ใต้พีก และ migration time ของแคลเซียมไอออนมีค่าเท่ากับ 2.9 และ 0.4% ตามลำดับ ค่า recovery ของแคลเซียมไอออนมีค่าเท่ากับ 96 – 111% ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการหาแคลเซียมไอออนในผักชนิดต่าง ๆ ผลการวิเคราะห์ที่ยอมรับได้นั้นได้มาจาก capillary isotachophoresis นอกจากนี้ยังสามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณแคลเซียมไอออนในแปลงผัก เพื่อตรวจสอบประโยชน์ของ fermented blue mussels ในการทำเป็นปุ๋ยสำหรับใส่ผัก

Demetrius G. Themelis, Paraskevas D. Tzanavaras, Aristidis N. Anthemidis และ John A. Stratis (1999) ใช้เทคนิคโฟลอินเจ็กชันสเปกโทรโฟโทเมทริก (flow injection spectrophotometric) เพื่อตรวจวัดปริมาณของแคลเซียมในไวน์ โดยการใช้เมทิลไทมอลบลู (methylthymol blue: MTB) และเจือจางระบบ on-line วิธีการโฟลอินเจ็กชัน (flow-injection: FI) เป็นการรายงานการตรวจวัดปริมาณของแคลเซียมในไวน์โดยการใช้การเจือจาง FI ทั้งแบบระบบ on-line และ off-line เมทิลไทมอลบลู คือการใช้ตัวแทนสีและการดูดกลืนแสงของสี Ca-MTB ผลิตภัณฑ์สารประกอบทำการตรวจวัดที่ 610 นาโนเมตร สำหรับระบบ FI ทั้งสองมีความหลากหลายทางเคมีและฟิสิกส์ เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและทำการศึกษาการรบกวนของไอออนด้วยเช่นกัน การทำกราฟเส้นตรงมาตรฐานเป็นค่าที่ได้มาจากแคลเซียม 0.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ทำการฉีด 90 ครั้งต่อชั่วโมง) และ แคลเซียม 0.0 – 200.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ทำการฉีด 60 ครั้งต่อชั่วโมง) สำหรับการเจือจาง FI ทั้งแบบระบบ on-line และ off-line ตามลำดับ ความแม่นยำให้ค่าดีมาก (ร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์คือ 0.45% และ 0.54% ตามลำดับ) และขอบเขต 3σ ของเครื่องตรวจวัดเป็น 0.032 และ 1.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การคำนวณค่าเฉลี่ยความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้รับจากเฟลมอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรเมทรี (Flame Atomic Absorption spectrometry: FAAS) ให้ผลที่ดีมาก (0.67% และ 0.97% ตามลำดับ) วิธีการที่พบเป็นวิธีที่เลือกใช้ได้อย่างเหมาะสม เมื่อคำนึงถึงไอออนที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในไวน์และเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการในการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในไวน์ขาวและไวน์แดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Karin Y. Chumbimuni-Torres และ Lauro T. Kubota (2004) ได้ทำการตรวจวัดปริมาณของแคลเซียม และโพแทสเซียมพร้อมๆ กันในน้ำมะพร้าวด้วยวิธีโฟลอินเจ็กชัน (flow-injection: FI) ด้วย tubular potentiometric sensors ในการทำงานปัจจุบันการตรวจวัดปริมาณของแคลเซียมและโพแทสเซียมที่เกิดขึ้นพร้อมกันในน้ำมะพร้าวจะใช้ระบบ FI ด้วย tubular ion-selective electrode (ISEs) ถูกค้นพบอย่างเป็นลำดับ ตัวอย่างถูกฉีดเข้าไปในสารละลายที่เป็นสื่อ 0.1 โมลต่อลิตร HEPES (pH = 6.0) สารตัวพาใช้ฉีดปริมาตร 100 ไมโครลิตร และอัตราการไหลที่ 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที ในระบบ FIA electrode ทำการตรวจวัดแคลเซียมและโพแทสเซียมในความเข้มข้นช่วงระหว่าง 10 x 10^{-1} โมลต่อลิตร กับขอบเขตการตรวจวัดของระบบ FIA ด้วย tubular ISEs ที่เสถียรสำหรับแคลเซียมและโพแทสเซียม ในเวลาเดียวกันบนเส้นที่ควบคุมการตรวจวัดปริมาณโพแทสเซียม ที่แสดงให้ผลที่ดีเปรียบเทียบกับวิธีการอ้างอิง และผลที่ได้กลับคืนเป็น 95 ± 1% สำหรับแคลเซียม 102 ± 2% สำหรับโพแทสเซียมแสดงหลักฐานอ้างอิงความแม่นยำของวิธีการ

P. Pohl และ B. Prusisz (2005) ได้ทำการแยกแคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำผึ้ง น้ำผลไม้ และน้ำชาที่ได้มาจากการต้มใบชา โดยการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) และเฟลมอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรเมทรี (Flam Atomic Absorption spectrometry: FAAS) โดยการร่างแผนการทำงานจะขึ้นกับการแยกส่วนต่าง ๆ ของโลหะด้วยโซลิดเฟสแอกแทรกชัน (solid phase extraction) นั่นคือ strong acidic cation exchanger Dowex 50W×4, weak acidic cation Diaion WT01S และ strong basic anion exchanger resin Dowex 1×4 สำหรับการประเมินของจำนวนส่วนต่าง ๆ ของโลหะในการแสดงให้เห็นถึงความแตกต่าง โดยใช้ระบบ off-line ที่เป็นของ FAAS ก่อนทำการตรวจวัดหาความเข้มข้นของแคลเซียม และ แมกนีเซียมในของเหลวที่ได้ออกมา ทำการพิสูจน์ได้ว่าแคลเซียม และแมกนีเซียมส่วนใหญ่ที่อยู่ในตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปของสปีชีส์แคทไอออน (96 – 100%) ความแม่น (accuracy) ของแบบแผนสำหรับทำการแยกทั้งหมด และวิธีการเตรียมตัวอย่าง จะมีผลต่อการตรวจสอบความถูกต้อง โดยการทำการตรวจสอบการคืนกลับได้ (recovery)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 1000 ppm บริษัท JENWAY
2. กรดทาทาลิก (Tartalic acid) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Merck
3. กรดไดพิโคลินิก (Dipicolinic acid) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka Chemika
4. อะซีโตน (acetone) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Chemicals
5. น้ำปราศจากไอออน (Ultrapure water)
6. ตัวอย่างผักสด

3.1.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟ บริษัท Metrohm ประกอบด้วย
   - ขวดบรรจุสารละลายเฟสเคลื่อนที่
   - ปั๊มสำหรับสารละลายเฟสเคลื่อนที่ (709 IC Pump)
   - หน่วยติดต่อประมวลผลทุกหน่วยย่อย (762 IC Interface)
   - คอลัมน์สำหรับแยกแคทไอออน (METROSEPC2_150 ขนาด 4.0 × 50 มิลลิเมตร)
   - เครื่องตรวจวัดสัญญาณการนำไฟฟ้า (Conductivity detector, 732 IC Detector)
   - เครื่องตรวจวัดสัญญาณ (791 VA Detector)
2. เครื่องอุลตราโซนิค (Ultrasonic bath) บริษัท Fisher Sciencetific Worldwide
3. เครื่องกรองสูญญากาศแบบลดความดัน บริษัท Vacoubrand
4. เครื่องปั่น บริษัท Moulinex รุ่น Optiblend 2000
5. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง บริษัท Denver Instrument Company รุ่น TC-254
6. อ่างน้ำร้อน (water bath) บริษัท Sciencetific รุ่น Isotemp 228
7. Syring Cartidge พร้อมกระดาษกรองที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร บริษัท National Solentific Company
8. ไมโครปิเปต บริษัท witeg germany รุ่น witopet digital
9. ขวดพลาสติก
10. ช้อนตักสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. กรวยกรอง

12. กระดาษกรองเบอร์ 2

13. จุกยาง

14. กระบอกน้ำปราศจากไอออน

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 เตรียมสารละลาย

3.2.1.1. สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 100 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 1000 ppm ด้วยไมโครปิเปตมา 2500 ไมโครลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3.2.1.2 สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 100 ppm ด้วยไมโครปิเปตมา 25, 125, 250, 375, 500, 1000, 1500, 2000 และ 2500 ไมโครลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ppm ตามลำดับ

3.2.1.3 สารละลายตัวอย่างผัก

1. นำผักมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนให้สะอาด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนผักแห้ง และน้ำหนักคงที่

2. นำผักที่ได้ไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น

3. ชั่งผักที่ได้ด้วยเครื่องชั่งละเอียดสี่ตำแหน่งจำนวน 0.1000 กรัม ใส่หลอดทดลองขนาดใหญ่ 3 หลอด สำหรับผักแต่ละชนิด

4. ใส่น้ำปราศจากไอออนประมาณ 30 มิลลิลิตร นำไปต้มในอ่างน้ำเดือดประมาณ 45 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

5. นำสารตัวอย่างที่ได้ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ล้างหลอดทดลองด้วยน้ำปราศจากไอออน 2 ครั้งใส่ขวดวัดปริมาตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำสารละลายที่ได้มากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 2 ใส่หลอดทดลอง

3.2.1.4 การเตรียมสารละลายเฟสเคลื่อนที่ สำหรับแคทไอออน

1. เตรียมสารละลายกรดทาทาลิก (Tartaric acid) กับ กรดไดพิโคลินิก (Dipicolinic acid) ที่มีความเข้มข้น 4.0 และ 0.75 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งกรดทาทาลิก และกรดไดพิโคลินิกมา 1.2007 กรัม และ 0.2507 กรัม ตามลำดับ ละลายด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูงประมาณ 80 – 100 มิลลิลิตร

2. เติมอะซิโตน จำนวน 100 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการเติบโตของแบคทีเรีย

3. ปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์สูงจนได้ 2 ลิตรในขวดวัดปริมาตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

4. นำสารละลายที่ได้ไปไล่แก๊สที่อาจมีอยู่ในสารละลายโดยแช่ในเครื่องอุลตราโซนิค นาน 30 นาที

5. นำมาผ่านการกรองโดยใช้กระดาษกรองที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตรด้วยเครื่องกรองสูญญากาศแบบลดความดัน

6. นำมาแช่ในเครื่องอุลตราโซนิคนาน 5 นาที อีกครั้งเพื่อไล่ก๊าซออกไป

7. นำไปใส่บนถาดรองในชุดเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี ทำการไล่ฟองอากาศออกจากภายในเส้นท่อทุกครั้งที่ทำการเปลี่ยนสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่

8. อายุการใช้งานของสารละลายเฟสเคลื่อนที่ คือ 2 - 4 สัปดาห์ หรือ จนเกิดการเคลื่อนของเวลาในการแยกสารมาตรฐาน (R_t) เปลี่ยนเกิน 5% **โดยปกติควรมีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 600 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร**

3.2.2 สภาวะของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ (IC)

คอลัมน์ : METROSEPC2_150 (silicagel with carboxyl groups ขนาด 4.0 × 150 มิลลิเมตร)

เฟสเคลื่อนที่ : สารละลายกรดทาทาลิก เข้มข้น 4.0 มิลลิโมลาร์ กับ กรดไดพิโคลินิก เข้มข้น 0.75 มิลลิโมลาร์

อัตราการไหล : 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที

ตัวตรวจวัด : เครื่องตรวจวัดสัญญาณการนำไฟฟ้า 732 IC Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. ใช้ไซริงค์ดูดสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 0.1 ppm ปริมาตรฉีดเข้าเครื่องไอออนโครมาโทรกราฟ บันทึกโครมาโทแกรม

2. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1. โดยฉีดสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ppm เข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟตามลำดับ

3. พลอตกราฟระหว่างพื้นที่พีก และความเข้มข้นของแคลเซียม

3.2.4 การตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในสารละลายตัวอย่างผักสด

1. ปิเปตสารละลายในข้อ 3.2.1.3 ด้วยไมโครปิเปตมา 2500 ไมโครลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

2. กรองสารละลายที่ได้ด้วยไซริงค์คาร์ทิดจ์พร้อมกระดาษกรองขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ใส่ขวดพลาสติก

3. ฉีดสารละลายตัวอย่างผักแต่ละชนิดปริมาตร 10 ไมโครลิตรเข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ โดยแต่ละตัวอย่างฉีดซ้ำ 3 ครั้ง

3.2.5 การตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในสารละลาย Spiked sample

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 3.2.1.3 มา 2.5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 100 ppm ลงไปในปริมาตรที่เท่ากับที่คาดว่าความเข้มข้นของ Spiked sample อยู่ในช่วงความเข้มข้นของแคลเซียมในตัวอย่างผักสดแต่ละชนิด ปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

2. ฉีดสารละลาย Spiked samples ของตัวอย่างผักสดแต่ละชนิดปริมาตร 10 ไมโครลิตร เข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ โดยแต่ละตัวอย่างฉีดซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ประเมินผล ทดสอบความใช้ได้ของวิธี

ใช้หลักทางสถิติประเมินผลดังนี้

3.3.1 การศึกษาความถูกต้อง (Accuracy) ของวิธีการวิเคราะห์

ศึกษาโดยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อ 3.2.4 และ 3.2.5 มาคำนวณหาค่าร้อยละของการกลับได้คืน (%Recovery) ของสารละลายตัวอย่างดังสมการ

$$\%\text{Recovery} = \frac{(C_{SpikeSample} - C_{Sample})}{C_{S\tan dard}} \times 100$$

เมื่อ $C_{SpikeSample}$ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย Spike sample ที่เครื่องตรวจวัดได้

C_{Sample} คือ ความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่เครื่องตรวจวัดได้

$C_{Standard}$ คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ Spike

เกณฑ์การยอมรับของค่า %Recovery อยู่ในช่วง 90 – 110%

3.3.2 การศึกษาความเที่ยง (Precision) ของวิธีการวิเคราะห์

ศึกษาโดยการนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมในข้อ 3.2.1.2 หนึ่งความเข้มข้นมาทำการวัดซ้ำ 7 ซ้ำ คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean; $\bar{x}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาตรฐาน (Standard Deviation; SD) และร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%Relative Standard Deviation; %RSD) ของแต่ละความเข้มข้นตามสมการ

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100$$

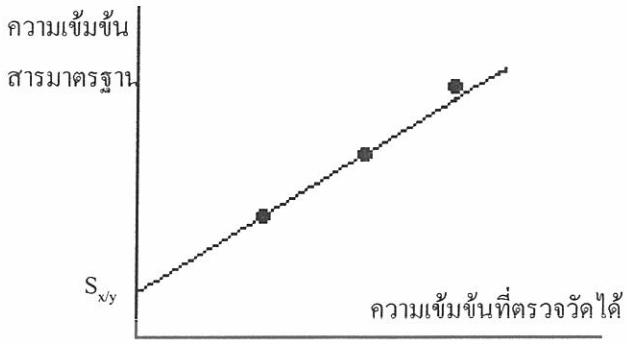
เมื่อ x_i คือ ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้

n คือ จำนวนครั้งในการทำซ้ำ

3.3.3 การศึกษาค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limit of Detection; LOD) และค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ โดยมีความถูกต้อง และความเที่ยงที่ยอมรับได้ (Limit of Quantitation; LOQ)

นำสารละลายมาตรฐานในข้อ 3.2.1.2 แต่ละความเข้มข้นมาฉีดเข้าเครื่องโดยเรียงลำดับจากความเข้มข้นน้อยไปมาก แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ (detector response) คำนวณค่า LOD และ LOQ จากกราฟแล้วคำนวณตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กราฟการหาค่า $S_{x/y}$

สมการ $LOD = \frac{3S_{x/y}}{slope}$ และ $LOQ = \frac{10S_{x/y}}{slope}$

3.3.4 การศึกษาการตอบสนองความเป็นเส้นตรง (Linearity)

นำสารละลายมาตรฐานในข้อ 3.2.1.2 แต่ละความเข้มข้นมาฉีดเข้าเครื่อง โดยเรียงลำดับจากความเข้มข้นน้อยไปมาก แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีกกับความเข้มข้น แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient: R^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

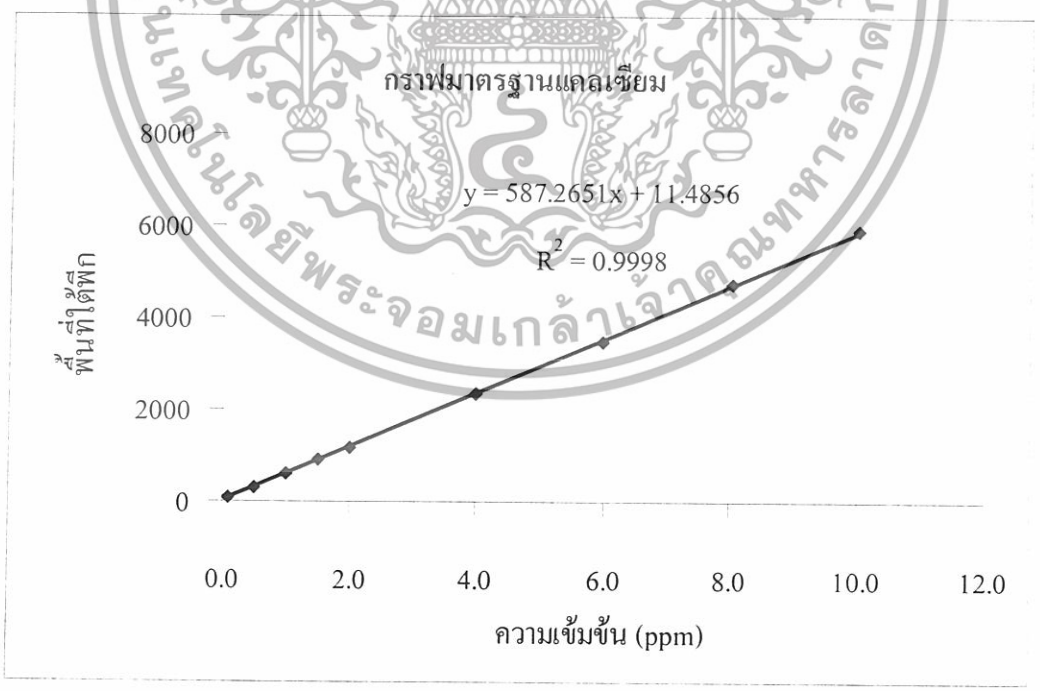
บทที่ 4
ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

จากงานวิจัยนี้ได้รับผลการทดลองซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

4.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีวิเคราะห์

4.1.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม

กราฟมาตรฐานแคลเซียมเตรียมได้จากการนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ppm) ที่ครอบคลุมความเข้มข้นของแคลเซียมในตัวอย่างผักมาฉีดเข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟได้โครมาโทแกรมดังแสดงใน ภาคผนวก ข และนำพื้นที่ใต้พีกที่ได้มาพลอตกราฟกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม จะได้กราฟเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 4.1 สมการเส้นตรง คือ $y = 587.27x + 11.486$ และมีค่า $R^2 = 0.9998$ ซึ่งจัดเป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่อยู่ในเกณฑ์ดีมาก จากนั้นนำสมการเส้นตรงที่ได้นี้ไปใช้ในการหาปริมาณแคลเซียมในขั้นตอนอื่น ๆ ต่อไป



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การศึกษาความเที่ยง (Precision) ของวิธีการวิเคราะห์

ความเที่ยงของวิธีไอออนโครมาโทรกราฟีศึกษาโดยการนำสารมาตรฐานแคลเซียมมาหนึ่งความเข้มข้นแล้วทำการวัดซ้ำ 7 ครั้ง นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean; $\bar{x}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD) และร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%Relative Standard Deviation; %RSD)

สารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่นำมาศึกษาหาความเที่ยง คือ สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 2 ppm ผลที่ได้จากการวัดซ้ำ 7 ครั้ง แสดงไว้ในภาคผนวก ก.1.2 ซึ่งค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นแคลเซียมเท่ากับ 1.9877 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0191 และค่าร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 0.9588

4.1.3 การศึกษาความแม่น (Accuracy) ของวิธีการวิเคราะห์

ความแม่นยำของวิธีไอออนโครมาโทกราฟี ศึกษาได้โดยการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในspiked sample และตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารมาตรฐานลงไป แต่ละตัวอย่างทำการตรวจวัดซ้ำ 3 ครั้ง ได้ร้อยละการคืนกลับ (%recovery) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของปริมาณแคลเซียมในผัก

ตัวอย่างผัก	%Recovery
ผักบุ้ง	93.7378
ผักคะน้า	99.5153
ผักกาดเขียว	95.3283
ต้นหอม	94.6797
ตำลึง	101.2963

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าการใช้วิธีไอออนโครมาโทกราฟีตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในผักได้ค่า %recovery อยู่ในช่วง 93 – 102 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การศึกษาค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limit of Detection; LOD) และค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้โดยมีความถูกต้อง และความเที่ยงที่ยอมรับได้ (Limit of Quantitation; LOQ)

ค่า LOD และค่า LOQ ศึกษาได้โดยการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 0.1 - 10 ppm โดยแต่ละตัวอย่างทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นแคลเซียมที่ตรวจวัดได้มาพลอตกราฟเทียบกับความข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม ได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.2 สมการเส้นตรง คือ $y = 1.0130x + 0.0831$ นำค่าที่ได้จากกราฟ (ค่าจุดตัดบนแกนตั้ง และค่าความชัน) มาคำนวณ LOD และ LOQ ได้ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก.1.4 ซึ่งได้ค่า LOD เท่ากับ 0.2461 และ LOQ เท่ากับ 0.8203

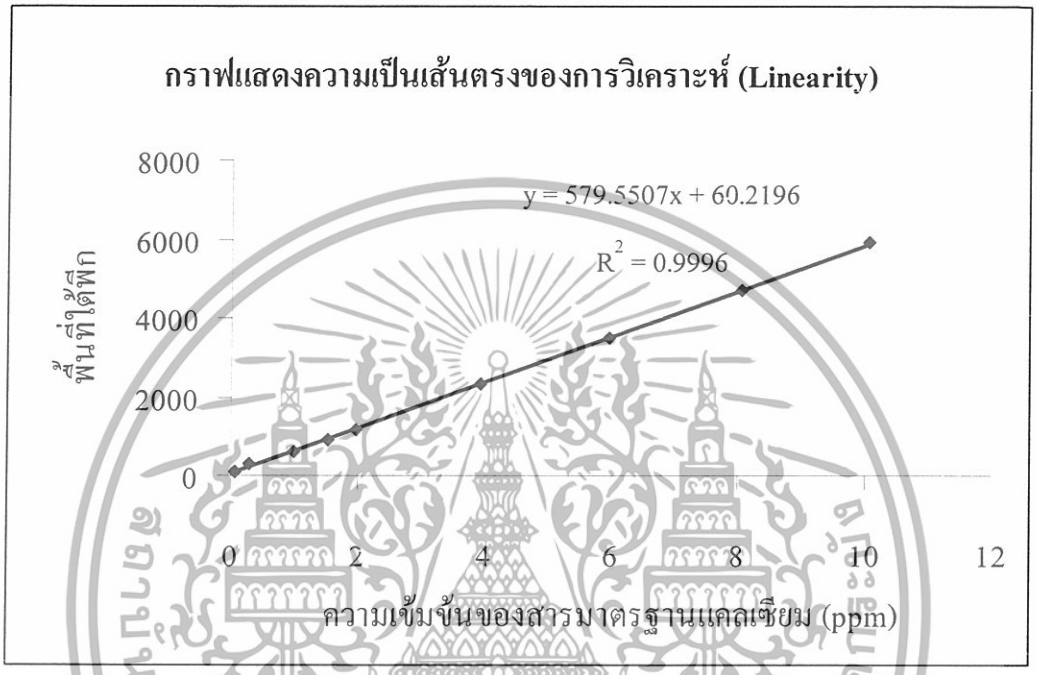
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมกับค่าความเข้มข้นแคลเซียมที่ตรวจวัดได้ (detector response)

4.1.5 การศึกษาการตอบสนองความเป็นเส้นตรง (Linearity)

ศึกษาได้โดยการนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 0.1-10 ppm มาทำการวัดหาปริมาณแคลเซียม นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาสร้างกราฟระหว่างค่าความเข้มข้น ณ ที่ตรวจวัดได้กับพื้นที่พีก ได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.3 สมการเส้นตรง คือ $y = 579.5501x + 60.2196$ และได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.9996 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ (R^2 ไม่น้อยกว่า 0.990) แต่จะเห็นได้ว่าในช่วงความเข้มข้นต่ำ ๆ คือที่ 0.1 และ0.5 ppm ค่าที่ตรวจวัดมีการเบี่ยงเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปจากเส้นตรง และที่ความเข้มข้นมากกว่า 10 ppm กราฟเริ่มเกิดการเบี่ยงเบน หรือมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ซึ่งพอจะสรุปได้ว่า การตอบสนองความเป็นเส้นตรงของวิธี IC ในการตรวจวัดปริมาณแคลเซียม อยู่ในช่วงความเข้มข้นของแคลเซียม 1 - 10 ppm



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ (Linearity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในผัก

นำสารละลายตัวอย่างผักที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังแสดงในหัวข้อที่ 3.2.1.3 มาตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ โดยแต่ละตัวอย่างทำการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมผัก

ตัวอย่างผัก	$\bar{x} \pm SD$ (mg/g)
ผักบุ้ง	8.1526 ± 0.5060
ผักคะน้า	11.9207 ± 0.6726
ผักกาดเขียว	6.5482 ± 0.4129
ต้นหอม	10.0413 ± 0.5662
ตำลึง	7.2162 ± 0.8111

$\bar{x} \pm SD$ คือ ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่ในผักนั้นมีในปริมาณมาก โดยผักที่มีปริมาณแคลเซียมมากที่สุดในตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ คือ ผักคะน้า รองมาคือ ต้นหอม ผักบุ้ง ตำลึง และผักกาดเขียว ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมอยู่เท่ากับ 11.9207 ± 0.6726, 10.0413 ± 0.5662, 8.1526 ± 0.5060, 7.2162 ± 0.8111 และ 6.5482 ± 0.4129 มิลลิกรัมต่อผักหนึ่งกรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป และข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียมในผักด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี ซึ่งทางคณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณแคลเซียมในผักที่นิยมบริโภค เพื่อเป็นทางเลือกในการเลือกซื้อผักในการนำมาบริโภค และเป็นแหล่งทดแทนแคลเซียมจากแหล่งอื่น เช่น นม เนื้อสัตว์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องการตรวจสอบประสิทธิภาพ และความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี ว่าเป็นวิธีวิเคราะห์ที่มีความเที่ยง และความแม่นในการให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ และยอมรับได้หรือไม่ ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์แคลเซียมในผัก คือ ใช้เฟสเคลื่อนที่ที่เป็นสารละลายกรดทาทาลิก (Tartaric acid) ก้บกรดไดพิโคลินิก (Dipicolinic acid) ที่มีความเข้มข้น 4.0 และ 0.75 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ด้วยอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที

ตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์ เป็นการนำตัวอย่างผักมาทำการเตรียมโดยการต้มกับน้ำปราศจากไอออนให้ได้เป็นสารละลาย และทำการเจือจางให้เหมาะสม หลังจากนั้นนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ ได้ผลดังนี้ ผักคะน้า ต้นหอม ผักบุ้ง ตำลึง และผักกาดเขียว มีปริมาณแคลเซียมอยู่เท่ากับ 11.9207, 10.0413, 8.1526, 7.2162 และ 6.5482 มิลลิกรัมต่อผักหนึ่งกรัม ตามลำดับ

จากผลการประเมินประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พบว่า

ความเที่ยงของวิธี ซึ่งบ่งบอกได้ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0191 และร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่าเท่ากับ 0.9588 %

ความแม่นของวิธี ซึ่งบ่งบอกได้ด้วยร้อยละการคืนกลับ อยู่ในช่วง 93 – 102 %

ความเป็นเส้นตรง มีค่าเท่ากับ 0.9996

LOD มีค่าเท่ากับ 0.2461 และ LOQ มีค่าเท่ากับ 0.8203

สรุปได้ว่า ความแม่น ความเที่ยง และความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ดี และยังสามารถตรวจวัดปริมาณแคลเซียมได้ในระดับต่ำถึงหนึ่งในล้านส่วน (ppm) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีไอออนโครมาโทกราฟีที่มีความเหมาะสมในการหาปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี และให้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟที่ใช้มีระบบฉีดสารเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ คือใช้ไซริงค์ช่วยในการดูดสาร ทำให้เกิดปัญหาเวลาจุ่มสายพลาสติกลงในตัวอย่าง คือจะมีน้ำไหลย้อนลงกลับมาสู่ภาชนะที่ใส่ตัวอย่าง ซึ่งเครื่องมีสภาพไวสูง น้ำที่เข้ามาเจือปนเพียงเล็กน้อยก็ทำให้ค่าที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์ได้ เพราะฉะนั้นผู้ทำการทดลองจะต้องใช้เวลาในการดูดสารให้เร็วและใกล้เคียงกันให้มากที่สุด
2. น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำปราศจากไอออน เนื่องจากเครื่องมีสภาพไวสูง ถ้านำน้ำที่ไม่บริสุทธิ์เพียงพอมาเตรียมเฟสเคลื่อนที่ จะทำให้ baseline ไม่เรียบจนไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ และถ้านำมาใช้ในการเตรียมตัวอย่างจะทำให้เกิดการปนเปื้อน
3. ระหว่างการฉีดตัวอย่างต้องมีการล้างคอลัมน์ด้วยน้ำปราศจากไอออนครั้นทุกครั้ง เพื่อป้องกันการสะสมของไอออนบนคอลัมน์
4. ก่อนที่จะนำสารละลายมาวิเคราะห์ต้องทำการกรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตรทุกครั้ง เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดจากคอลัมน์ได้
5. ผักที่นำมาทดลองต้องทำความสะอาดให้สะอาดมากที่สุด และทำการอบให้แห้ง จนน้ำหนักผักคงที่ เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เกิดจากน้ำหนักที่คลาดเคลื่อน
6. อุปกรณ์ที่ใช้ควรเป็นพลาสติกเพื่อป้องกันการแลกเปลี่ยนไอออน
7. การล้างอุปกรณ์ทุกครั้งควรแช่และล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็นน้ำสุดท้ายทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

จเร สดากร, ทิพย์วรรณ สดากร และสอาด บุญเกิด ชื่อพรรณไม้ในเมืองไทย. พ.จิระการพิมพ์, กรุงเทพมหานคร. 2545.

คณิตา ตังคณานุรักษ์ เอกสารประกอบการสอนวิชาการวิเคราะห์ทางเคมี และควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์

คณิตา ตังคณานุรักษ์ แบบเรียนเทคนิคการแยก

ทวีทอง หงษ์วิวัฒน์ สารานุกรมผัก. สำนักพิมพ์แสงแดดจำกัด, กรุงเทพมหานคร. พิมพ์ครั้งที่1; 2545.

อรุณี คงศักดิ์ไพศาล เอกสารประกอบการสอนวิชาการประกันคุณภาพ และมาตรฐานห้องปฏิบัติการเคมี

แคลเซียม ค้นเมื่อ มิถุนายน 2549

http://advisor.anamai.moph.go.th/healthteen/health14.html

http://gotoknow.org/blog/health2you/20169

http://www.alternateinfo.com/Alternateth/Hsth/Calcium_th.htm

http://www.geocities.com/vitandmin/CALCIUM.htm

http://www.pharm.chula.ac.th/osotsala/botanay-food/sub5_3.htm

http://www.pooyingnaka.com/story/story.php?Category=health&No=19

http://www.si.mahidol.ac.th/sidoctor/month/sidoctor2004/jan04_calcium.htm

http://www.thaifitway.com/Education/Ndata/N3db/question.asp?QID=6

http://www.thairath.co.th/news.php?section=technology&content=19024

ผัก ค้นเมื่อ กรกฎาคม 2549

http://coursewares.mju.ac.th/section2/pt331/09.htm

http://elib.fda.moph.go.th/library/default.asp?page=news_detail&id=2634

http://www.bangsaiagro.com/news_detail.asp?newsid=05831123835834

http://www.healthnet.in.th/text/forum2/vet/009.htm

http://www.ku.ac.th/e-magazine/october45/know/vegetable.html

http://www.lasalle.ac.th/samonphai_pate110.htm

http://www.nrru.ac.th/knowledge/health_w05.asp

http://www.obec.go.th/news/_develop_media/news12/pitsanulok/03/course3.html

http://www.prc.ac.th/lannagardrn/taowan02.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://www.sangdad.com/html/book_content7.php?id=44

http://www.skr.ac.th/Work_M5/vegettable/503/bung/bung.html

http://www.thaigoodview.com/library/iam/healthy06/gardgreen/gardgreen.html

Aristidis N. Anthemidis, Demetrius G. Themelis, John A. Stratis และ Paraskevas D. Tzanavaras Direct, selecteve flow injection spectrophotometric determination of calcium in wines using methylthymol blue and an on-line cascade dilution system, **Analytica Chemica Acta.** 1999, 256 – 266.

Karin Y. Chumbimuni-Torres และ Lauro T. Kubota Simultaneous determination of calcium and potassium in coconut water by a flow-injection method with tubular potentiometric sensors, **Journal of Food Composition and Analysis.** 2004, 225 – 230.

Kazua Hiiro, Keiichi Fukushi, Kunishige Higasni, Sahori Takeda และ Shin-ichi Wakida Determination of free calcium in vegetables by capillary zone elctrophoresis, **Journal of Chromatography A.** 1996, 211 – 216.

B. Prusisz และ P. Pohl Fractionation of calcium and magnesium in honeys, juices and tea infusions by ion exchange and flame atomic absorption spectrometry, **Talanta.** 2006, 1227 – 1233.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
แสดงผลการวิเคราะห์

ก.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีวิเคราะห์

ก.1.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม

ตารางที่ ก.1 แสดงความเข้มข้น (ppm) และพื้นที่ใต้พีกของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ppm)	พื้นที่พีก			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	$\bar{x} \pm SD$
0.1	64.47	8922	77.43	77.04 ± 12.3796
0.5	302.1	316.0	324.2	314.1 ± 11.1718
1.0	612.8	608.3	611.6	610.9 ± 2.3302
1.5	924.6	928.3	925.7	926.2 ± 1.9000
2.0	1169	1163	1160	1164 ± 4.5826
4.0	2327	2334	2326	2329 ± 4.3589
6.0	3479	3482	3476	3479 ± 3.0000
8.0	4708	4738	4717	4721 ± 15.3948
10.0	5911	5954	5925	5930 ± 21.9317

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.2 การศึกษาความเที่ยง (Precision) ของวิธีการวิเคราะห์

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์

ความเข้มข้นที่ใช้ (ppm)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	ค่าเฉลี่ย (ppm)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	%RSD
2	1.9730 1.9650 1.9950 2.0020 1.9700 1.9920 2.0170	1.9877	± 0.0191	± 0.9588

คำนวณค่าความเข้มข้นเฉลี่ย

จาก $\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n}$

$$\bar{x} = \frac{1.9730+1.9650+1.9950+2.0020+1.9700+1.9920+2.0170}{7}$$

$$\bar{x} = 1.9877$$

คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จาก $SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$

$$SD = \sqrt{\frac{(1.9730-1.9877)^2+(1.9650-1.9877)^2+(1.9950-1.9877)^2+(2.0020-1.9877)^2+(1.9700-1.9877)^2+(1.9920-1.9877)^2+(2.0170-1.9877)^2}{7-1}}$$

$$SD = 0.0191$$

คำนวณร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

จาก $\%RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100$

$$\%RSD = \frac{0.0191}{1.9877} \times 100$$

$$\%RSD = 0.9588$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.3 การศึกษาความถูกต้อง (Accuracy) ของวิธีการวิเคราะห์

ตารางที่ ก.3 แสดงผลการวัดหาปริมาณแคลเซียมใน originaled sample กับ spiked sample และค่า %Recovery

ตัวอย่างผัก	$C_{standard}$ (ppm)	$C_{spike\ sample}$ (ppm)	$C_{spike\ sample}$ เฉลี่ย (ppm)	C_{sample} (ppm)	C_{sample} เฉลี่ย (ppm)	%Recovery
ผักบุ้ง	16.4	27.8700 28.7920 29.3030	28.6550	12.4350 14.3820 13.0290	13.2820	93.7378
ผักคะน้า	24.0	41.4780 40.1140 40.4470	40.6797	18.1210 16.2340 16.0330	16.7960	99.5153
ผักกาดเขียว	13.2	24.6950 25.6250 25.4880	25.2693	12.4760 12.4760 12.3690	12.6860	95.3283
ต้นหอม	20.4	35.0450 35.3480 35.9280	35.4403	15.6400 16.6690 16.0680	16.1257	94.6797
ตำลึง	14.4	25.1900 25.0670 26.5720	25.6097	9.9520 11.7180 11.3990	11.0230	101.2963

<u>คำนวณค่าความเข้มข้นเฉลี่ย</u> ทำเช่นเดียวกับข้อ ก.1.2

<u>คำนวณหาค่าร้อยละของการกลับได้คืน (%Recovery)</u> ตัวอย่างผักบุ้ง

จาก $$\%Recovery = \frac{(C_{SpikeSample} - C_{Sample})}{C_{Standard}} \times 100$$

$$\%Recovery = \frac{28.6550 - 13.2820}{16.4} \times 100$$

$$\%Recovery = 93.7378$$

ตัวอย่างอื่น ๆ ทำเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.4 การศึกษาค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limit of Detection; LOD) และค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้โดยมีความถูกต้อง และความเที่ยงที่ยอมรับได้ (Limit of Quantitation; LOQ)

ตารางที่ ก.4 แสดงผลการวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเพื่อหาค่า LOD และ LOQ

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ppm)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)			ความเข้มข้นเฉลี่ย (ppm)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.1	0.075	0.047	0.064	0.062
0.5	0.250	0.274	0.286	0.270
1.0	0.996	0.987	0.993	0.992
1.5	1.498	1.506	1.499	1.501
2.0	1.956	1.939	1.934	1.943
4.0	3.960	3.972	3.957	3.963
6.0	5.964	5.968	5.957	5.963
8.0	8.018	8.081	8.042	8.047
10.0	10.029	10.101	10.059	10.059

<u>คำนวณค่าความเข้มข้นเฉลี่ย</u> ทำเช่นเดียวกับข้อ ก.1.2

<u>คำนวณ LOD และ LOQ</u>

นำค่าเฉลี่ยมาสร้างกราฟ ได้กราฟดังรูปที่ 4.2 ที่มีสมการเส้นตรงเท่ากับ y = 1.0130x + 0.0831

จาก $LOD = \frac{3S_{x/y}}{slope}$

$LOD = \frac{3 \times 0.0831}{1.0130}$

$LOD = 0.2461$

จาก $LOQ = \frac{10S_{x/y}}{slope}$

$LOQ = \frac{10 \times 0.0831}{1.0130}$

$LOQ = 0.8203$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.5 การศึกษาการตอบสนองความเป็นเส้นตรง (Linearity)

ตารางที่ ก.5 แสดงผลการวัดหาปริมาณแคลเซียม และพื้นที่ใต้พีกของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ppm)	ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ (ppm)				พื้นที่พีก			
	1	2	3	$\bar{x} \pm SD$	1	2	3	$\bar{x} \pm SD$
0.1	0.075	0.047	0.064	0.062 ± 0.0141	64.47	8922	77.43	77.04 ± 12.3796
0.5	0.250	0.274	0.286	0.270 ± 0.0183	302.1	316.0	324.2	314.1 ± 11.1718
1.0	0.996	0.987	0.993	0.992 ± 0.0046	612.8	608.3	611.6	610.9 ± 2.3302
1.5	1.498	1.506	1.499	1.501 ± 0.0044	924.6	928.3	925.7	926.2 ± 1.9000
2.0	1.956	1.939	1.934	1.943 ± 0.0115	1169	1163	1160	1164 ± 4.5826
4.0	3.960	3.972	3.957	3.963 ± 0.0079	2327	2334	2326	2329 ± 4.3589
6.0	5.964	5.968	5.957	5.963 ± 0.0056	3479	3482	3476	3479 ± 3.0000
8.0	8.018	8.081	8.042	8.047 ± 0.0318	4708	4738	4717	4721 ± 15.3948
10.0	10.029	10.101	10.059	10.059 ± 0.0375	5911	5954	5925	5930 ± 21.9317

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในผัก

ตารางที่ ก.6 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมผัก

ตัวอย่างผัก	น้ำหนักผัก (g)	ความเข้มข้นแคลเซียม ในสารละลายตัวอย่างผัก (ppm)			ปริมาณแคลเซียมในผัก 1 กรัม(mg)			$\bar{x} \pm SD$ (mg/g)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ผักบุ้ง	0.1012	16.2010	16.9640	16.9260	8.0044	8.3814	8.3626	8.1526 ± 0.5060
	0.1012	16.7580	16.8630	16.5960	8.2796	8.3315	8.1996	
	0.1016	16.1790	15.1830	17.0280	7.9621	7.4719	8.3799	
ผักคะน้า	0.1016	25.4840	25.2890	25.1380	12.5413	12.4454	12.3711	11.9207 ± 0.6726
	0.1014	25.3570	25.5080	23.8950	12.5035	11.7825	11.7825	
	0.1017	23.5240	22.2180	21.511	11.5654	10.9233	1.0215	
ผักกาดเขียว	0.103	13.4810	12.8930	13.1030	6.7203	6.4272	6.5319	6.5482 ± 0.4129
	0.1004	13.2950	12.7420	13.2190	6.6210	6.3456	6.5832	
	0.1011	13.9270	13.3370	12.4980	6.8877	6.5959	6.1810	
ต้นหอม	0.1006	20.0620	19.9060	19.8240	9.9712	9.8939	9.8529	10.0413 ± 0.5662
	0.1021	21.9060	21.2780	21.3360	10.7277	10.4202	10.4486	
	0.1013	20.8250	19.3380	18.7070	10.2789	9.5449	9.2335	
ตำลึง	0.1010	16.4350	14.6150	14.4790	8.1361	7.2351	7.1678	7.2162 ± 0.8111
	0.1007	14.4240	15.2650	13.6240	7.1619	7.5794	6.7646	
	0.1012	13.5820	13.5760	15.1450	6.7105	6.7075	7.4827	

<u>ตัวอย่างการคำนวณความปริมาณแคลเซียมในผัก 1 กรัม</u> ตัวอย่างผักบุ้ง

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง IC โดยชั่งตัวอย่างผักบุ้งมา 0.1012 กรัม วัดครั้งที่ 1 ได้ 16.2010 ppm แสดงว่า

ในผัก 0.1012 กรัม มีปริมาณแคลเซียม 16.2010 ไมโครกรัม

ในผัก 1 กรัม มีปริมาณแคลเซียม $\frac{16.2010 \times 1}{0.1012} = 8.0044$ มิลลิกรัม

ตัวอย่างอื่น ๆ คำนวณเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคำนวณปริมาณแคลเซียมในผัก 1 กรัม ทั้งหมดแล้ว ทำการคำนวณค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดทั้ง 3 ครั้ง ของการชั่งตัวอย่าง 1 ครั้ง นำค่าที่ได้มาทำการคำนวณค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แสดงผลการทดลอง

CALIBRATION OF COMPONENT calcium

Method: Ca_JKJ +Pranee 50 new.mtw
Equation: Q = 0.169618·A
RSD: 1.509 %
Correlation coefficient: 0.999883

K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.169618 K0 = 0
Base: Area
Ref.channel: ch1
ISTD:
Formula: Linear through zero
Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	3.459	77.04	0.1	100	11.27	Yes	QB161150.CHW
2	13.33	314.1	0.5	100	11.27	Yes	QB161209.CHW
3	23.9	610.9	1	100	11.27	Yes	QB161227.CHW
4	33.68	926.2	1.5	100	11.27	Yes	QB161646.CHW
5	40.25	1164	2	100	11.27	Yes	QB161705.CHW
6	66.5	2329	4	100	10.5	Yes	R1081216.CHW
7	87.06	3479	6	100	10.5	Yes	R1081235.CHW
8	106.3	4721	8	100	10.5	Yes	R1081253.CHW
9	123.5	5930	10	100	10.45	Yes	R1081331.CHW

รูปที่ ข.1 แสดงกราฟมาตรฐานแคลเซียมที่ได้จากเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 2/9/2007 2:26:34 PM
Printed by: IC

Ident: hom3-2
Analysis from: 1/15/2007 3:49:58 PM
File: r1151549.chw Last save: 1/15/2007 4:04:00 PM

Method: Ca_JKJ +Pranee 50 new-2.m Last save: 1/10/2007
Run operator: IC
Analysis number: 5302

SAMPLE: 10-01-07
: In.
Vial number: 0
Volume: 100.0 µL
Dilution: 20.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP C 2 - 150 (6.1010.130)
Size: 4.0 x 250 mm
Number:
Part.size: 7.0 µm

ELUENT: 4 mmol/L Tartaric acid
0.75 mmol/L Dipicolinic acid

Flow: 1.00 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 7.6 MPa

Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	4.20	1.44	20.075	0.000	
2	4.40	13.01	119.184	0.000	
3	6.22	55.01	986.998	0.000	
4	10.98	22.34	570.041	19.338	calcium
4	14.00	91.80	1696.298	19.338	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD

รูปที่ ข.2 แสดงโครมาโทแกรมที่ได้จากตัวอย่างต้นหอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Report date:            2/9/2007 2:27:42 PM
Printed by:             IC

Ident:                  lung3-2
Analysis from:          1/15/2007 9:26:46 PM
File:                   r1152126.chw                Last save: 1/15/2007 9:40:48 PM

Method:                 Ca_JKJ +Prance 50 new-2.m               Last save: 1/10/2007
Run operator:           IC
Analysis number:        5318

SAMPLE:                 15-01-50
     :                  In.
Vial number:            0
Volume:                 100.0 µL
Dilution:               20.00
Amount:                 1.0000

COLUMN:                 METROSEP C 2 - 150 (6.1010.130)
Size:                   4.0 x 250 mm
Number:
Part.size:              7.0 µm

ELUENT:                 4 mmol/L Tartaric acid
                        0.75 mmol/L Dipicolinic acid

Flow:                   1.00 mL/min
Temperature:            20.0°C
Pressure:               7.5 MPa
```

```
Quantitation method:    Custom

 No  Retention   Height       Area       Conc.   Name
        min        mV      mV*sec       mg/L
  1      4.39     21.06     184.734      0.000
  2      4.87     87.11     986.742      0.000
  3      6.13     89.81    1614.907      0.000
  4     11.12     16.11     400.189     13.576   calcium
-------------------------------------------------------
  4     14.00    214.09    3186.571     13.576

This report has been created by IC Net
 METROHM LTD
```

รูปที่ ข.3 แสดงโครมาโทแกรมที่ได้จากตัวอย่างตำลึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 2/9/2007 2:22:05 PM
Printed by: IC

Ident: bung2-2
Analysis from: 1/10/2007 4:26:21 PM
File: r1101626.chw Last save: 1/10/2007 4:40:24 PM

Method: Ca_JKJ +Pranee 50 new-2.m Last save: 1/10/2007
Run operator: IC
Analysis number: 5200

SAMPLE: 10-01-07
: In.
Vial number: 0
Volume: 100.0 µL
Dilution: 20.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP C 2 - 150 (6.1010.130)
Size: 4.0 x 250 mm
Number:
Part.size: 7.0 µm

ELUENT: 4 mmol/L Tartaric acid
0.75 mmol/L Dipicolinic acid

Flow: 1.00 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 7.4 MPa

Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.11	-0.77	-8.924	0.000	
2	3.65	0.90	11.252	0.000	
3	4.04	150.84	1332.513	0.000	
4	4.57	5.18	54.937	0.000	
5	4.72	4.24	47.232	0.000	
6	5.75	81.47	1426.042	0.000	
7	8.26	0.54	10.332	0.000	
8	9.28	0.50	9.559	0.000	
9	9.86	0.62	10.825	0.000	
10	10.61	20.28	497.087	16.863	calcium
11	12.14	0.49	12.110	0.000	
11	14.00	265.85	3420.812	16.863	

รูปที่ ข.4 แสดงโครมาโทแกรมที่ได้จากตัวอย่างผักบุ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 2/9/2007 2:23:52 PM
Printed by: IC

Ident: ka_na3-1
Analysis from: 1/11/2007 1:25:28 PM
File: r1111325.chw Last save: 1/11/2007 1:39:30 PM

Method: Ca_JKJ +Pranee 50 new-2.m Last save: 1/10/2007
Run operator: IC
Analysis number: 5225

SAMPLE: 11-01-07
: In.
Vial number: 0
Volume: 100.0 µL
Dilution: 20.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP C 2 - 150 (6.1010.130)
Size: 4.0 x 250 mm
Number:
Part.size: 7.0 µm

ELUENT: 4 mmol/L Tartaric acid
0.75 mmol/L Dipicolinic acid

Flow: 1.00 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 7.4 MPa

Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.20	0.65	6.212	0.000	
2	3.74	1.15	16.744	0.000	
3	3.92	0.94	6.752	0.000	
4	4.30	27.31	268.345	0.000	
5	4.82	7.15	114.428	0.000	
6	6.60	76.48	1346.052	0.000	
7	10.16	0.30	4.549	0.000	
8	10.77	26.96	693.436	23.524	calcium
9	12.44	1.09	26.029	0.000	
9	14.00	142.01	2484.546	23.524	

รูปที่ ข.5 แสดงโครมาโทแกรมที่ได้จากตัวอย่างคะน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 2/9/2007 2:25:29 PM
Printed by: IC

Ident: kad2-1
Analysis from: 1/11/2007 3:59:40 PM
File: r1111559.chw Last save: 1/11/2007 4:13:42 PM

Method: Ca_JKJ +Pranee 50 new-2.m Last save: 1/10/2007
Run operator: IC
Analysis number: 5231

SAMPLE: 11-01-07
: In.
Vial number: 0
Volume: 100.0 µL
Dilution: 20.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP C 2 - 150 (6.1010.130)
Size: 4.0 x 250 mm
Number:
Part.size: 7.0 µm

ELUENT: 4 mmol/L Tartaric acid
0.75 mmol/L Dipicolinic acid

Flow: 1.00 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 7.4 MPa

Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.26	0.36	2.174	0.000	
2	3.78	0.60	7.936	0.000	
3	3.95	0.51	3.930	0.000	
4	4.35	92.70	817.161	0.000	
5	4.89	1.43	25.982	0.000	
6	6.10	71.09	1239.383	0.000	
7	10.44	-0.11	-0.616	0.000	
8	10.98	16.58	301.913	13.295	calcium
9	12.54	0.80	19.013	0.000	
9	14.00	197.17	2568.107	13.295	

รูปที่ ข.6 แสดงโครมาโทแกรมที่ได้จากตัวอย่างผักกาดเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้