รายงานการวิจัย

เรื่อง

การวิเคราะห์สารเจือปนในกล้วยตาก

เฉลิมพร ทองพูน

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย

จากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม ประจำปีงบประมาณ 2540

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

Research Title Determination of food Additives in Dried Banana Products

Author Mr. Chalermporn Thongpoon

Department of Chemistry

Faculty of Science and Technology

Rajabhat Institute Pibulsongkhram

Abstract

In this research was determined food additives in dried banana products samples. The six samples were collected during September 1998 to January 1999. The studies in physical properties and some chemical properties found that, the dried banana samples were kept in normal temperature have changed faster in physical properties than samples that kept in refrigerate temperature. The studies on acid- alkaline (pH value) of the samples found pH in the range 4.58 – 6.45. The result from determinate adulterate colours by paperchromatrography were found that dried banana samples have not adulterate colours. The Determinating of Reducing Sugars and Invert Sugar by Titration Method were found both sugars in the range of 177.6 - 245.5 and 140.2 - 197.4 mg/100 ml respectively. The Determination of Iron, Copper, Zinc and Lead quantity in the samples by Atomic Absorption Spectrophotometric Method (AAS), were found 5.379-6.962 mg/100 g, 1.051-1.607 mg/100 g, 0.278-7.799 mg/100 g and 5.063-8.607 μg/ 100 g respectively. From the result showed that the samples had adulterated substances littleness and safety to consumer.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพประกอบ	ช
อักษรย่อ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ประวัติ กล้วยในประเทศไทย	1
1.2 การจำแนกกล้วยในประเทศไทย	2
1.3 คุณค่าทางอาหารและประโยชน์ของกล้วย	2
1.4 การทำกล้วยตาก	4
1.5 ความสำคัญของวัตถุเจือปนอาหาร	5
1.6 ความสำคัญของวัตถุเจือปนอาหาร	6
1.7 วัตถุเจือปนที่นิยมใช้ในอาหาร	7
1.8 ทฤษฎีการทดลองที่เกี่ยวข้อง	11
1.9 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	24
1.10 ขอบเขตของการวิจัย	24
1.11 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	24
บทที่ 2 การทดลอง	
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	25
2.2 สารเคมี	25
2.3 ขั้นตอนการทดลอง	27
2.3.1 การเก็บตัวอย่างกล้วยตาก	27
2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณ สี น้ำตาล และโลหะหนัก	27
บทที่ 3 ผลการทดลอง	
3.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ	33
3.2 การวิเคราะห์สีเจือปน	33

เรื่อง	หน้า
3.3 เคราะห์ปริมาณน้ำตาล	36
3.3.1 ผลการสกัดน้ำตาล	36
3.3.2การคำนวณปริมาณน้ำตาล Reducing Sugar	37
3.3.3 การคำนวณหาปริมาณน้ำตาล Invert Sugar	37
3.4 การวัด pH ของกล้วยตาก	37
3.5 การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก ทองแดง สังกะสีและตะกั่วในกล้วยตาก	38
บทที่ 4 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง	
4.1 ทั่วไป	48
4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	48
4.2.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ	
48	
4.2.2 การวิเคราะห์สีเจือปน	48
4.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล	49
4.2.4 การวัดค่า pH meter	49
4.2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ	49
4.3 ข้อเสนอแนะ	
ภาคผนวก	52

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงความเสียหายที่เกิดจากการแช่เย็นของผลไม้และผักที่อุณหภูมิต่ำ	4
2.1 แสดงแหล่งตัวอย่างกล้วยตาก	27
3.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของกล้วยตาก	33
3.2 แสดงผลการไทเทรตหาน้ำตาล Reducing Sugar	36
3.3 แสดงผลการไทเทรตหาน้ำตาล Invert Sugar	37
3.4 แสดงค่า pH ของกล้วยตาก (ที่อุณหภูมิห้อง)	38
3.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว	38
3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fe ในกล้วยตากตัวอย่างแบบ Dry digest	43
3.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fe ในกล้วยตากตัวอย่างแบบ Wet digest	43
3.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Cu ในกล้วยตากตัวอย่างแบบ Dry digest	44
3.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Cu ในกล้วยตากตัวอย่างแบบ Wet digest	44
3.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Zn ในกล้วยตากตัวอย่างแบบ Dry digest	45
3.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Zn ในกล้วยตากตัวอย่างแบบ Wet digest	45
3.12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Pb ในกล้วยตากตัวอย่างแบบ Dry digest	46
3.13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Pb ในกล้วยตากตัวอย่างแบบ Wet digest	46

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
1.1 กระบวนการต่างๆ ทาง Atomic Spectoscopy	18
1.2 กราฟมาตรฐานแสดงการดูดกลืนแสง	19
1.3 แผนภาพอุปกรณ์หลักใน AAS	20
1.4 หลอดฮอลโลว์คาโธด (hollow cathode lamp)	21
1.5 ระบบเบอร์เนอร์ (berner system)	22
1.6 กระบวนการที่เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ	23
3.1 แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับ เหล็ก	39
3.2 แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับ ทองแดง	40
3.3 แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับ สังกะสี	41
3.4 แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับ ตะกั่ว	42

รายการอักษรย่อ

Abs	=	Absorbance
AAs	=	Atomic absorption spectroscopy
C	=	concentration
cm	=	เซ็นติเมตร
M	=	โมลาร์
mA	=	มิลลิแอมแปร์
ml	=	มิลลิลิตร
nm	=	นาโนเมตร
ppm	=	part per million
ppb	=	part per billion
μg	=	ไมโครกรัม
mg	=	มิลลิกรัม
v/v	=	ปริมาตร ต่อ ปริมาตร
$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ย

บทที่ 1
บทนำ

กล้วยเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น ถิ่นแรกของกล้วยอยู่ในแถบเอเชียตอนใต้ ซึ่งประกอบด้วยทางเหนือของอินเดีย พม่า เขมร จีนตอนใต้ และหมู่เกาะอินโดนิเซีย เกาะบอร์นิว ฟิลิปปินส์ และไต้หวัน ในประเทศเหล่านี้จะพบกล้วยพื้นเมืองที่ไม่มีเมล็ด

1.1 ประวัติกล้วยในประเทศไทย (เบญจมาส : 2534)

กล้วยเป็นพืชเก่าแก่ของประเทศไทย ตั้งแต่โบราณจะเห็นว่าในพิธีต่าง ๆ ทางศาสนา จะใช้กล้วยประกอบพิธีกรรมนั้นๆ และประเทศไทยเป็นถิ่นกำเนิดกล้วยป่า (Musa acuminate Colla) ดังนั้นจึงพบกล้วยป่าอยู่ทั่วประเทศไทย กล้วยป่าที่พบในประเทศไทยมีอยู่ 4 sub species คือ

Musa acuminate Colla ssp. Malaccensis Colla

Musa acuminate Colla ssp. Microcarpa Colla

Musa cauminate Colla ssp. Burmanica Colla

Musa acuminate Colla ssp. Simea Colla

นอกจากจะมีกล้วยป่าที่พบแล้ว ตามประวัติกล่าวว่าพบกล้วยกินได้แถบแหลมมลายู หมายถึงภาคใต้ของไทยรวมอยู่ด้วย ซึ่งได้แก่ กล้วยไข่ทองร่วง กล้วยเล็บมือนางเป็นต้น มีกล้วยกินได้อยู่มากมาย สำหรับกล้วยลูกผสมระหว่างกล้วยป่าและกล้วยตานี พบมากในแถบประเทศอินเดีย แต่คนไทยนั้นกล่าวกันว่ามีการอพยพมาตั้งถิ่นฐานทางจังหวัดสุโขทัย โดยมาจากทางใต้ของประเทศจีนแถบสิบสองปันนา ซึ่งอยู่ใกล้กับตอนเหนือของประเทศอินเดีย ดังนั้นการเคลื่อนย้ายของกล้วยเหล่านี้อาจจะมีการนำเข้ามาพร้อม ๆ กัน เพราะการอพยพถิ่นฐานของมนุษย์มักจะต้องนำอาหารหรือต้นพืชติดตัวไปด้วย

ในปี พ.ศ. 2510 ดร.วัฒนา เสถียรสวัสดิ์ และศาสตราจารย์ ปวิณ ปุณศรี ได้ทำการรวบรวมกล้วยต่าง ๆ พันธุ์ในประเทศไทย และปลูกไว้ที่สถานีวิจัยปากช่อง โดยการสนับสนุนจากสภาวิจัยแห่งชาติ การรวบรวมในครั้งนั้นได้ประมาณ 125 พันธุ์ รวมทั้ง พันธุ์ที่สั่งเข้ามาจากต่างประเทศด้วย แต่แปลงรวบรวมพันธุ์นั้นเกือบจะสูญพันธุ์ในระยะต่อมา แต่บางส่วนของ

พันธุ์ที่รวบรวมไว้ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้นำมาปลูกไว้ที่สถานีพืชสวน อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย

1.2 การจำแนกกล้วยในประเทศไทย

ทางภาคใต้ของประเทศไทยซึ่งติดอยู่กับประเทศมาเลเซีย มีกล้วยป่าหลายชนิดที่กำเนิดในแถบนั้น จากการสำรวจพันธุ์กล้วยในประเทศไทย ในระหว่างปี พ.ศ. 2522-2525 Silayoi and Babpraserth (1983) ได้ทำการเก็บรวบรวมพันธุ์กล้วยจาก 39 จังหวัด ของภาคต่าง ๆ โดยเลือกตัวแทนของจังหวัดตามแนวเศรษฐกิจการเกษตร ได้กล้วยทั้งหมด 323 สายพันธุ์ เมื่อนำมาทำการจำแนกชนิด และนับจำนวนโครโมโซม พบว่ามี 59 สายพันธุ์ และได้นำมาศึกษาชื่อพ้องเพราะการเรียกชื่อกล้วยตามจังหวัดต่างๆนั้นบางครั้งไม่เหมือนกัน

1.3 คุณค่าทางอาหารและประโยชน์ของกล้วย

ผลกล้วยเป็นอาหารสำหรับเด็กอ่อน

กล้วยที่คนไทยใช้เลี้ยงเด็กอ่อนคือ กล้วยน้ำว้า กล้วยน้ำว้าที่สุกงอม มีรสหวาน มีคุณค่าอาหารมาก และย่อยง่าย

ราก และลำต้นแท้

นำมาทำสมุนไพร ใช้ในการรักษาโรคตามแผนโบราณ

ลำต้นเทียม

หรือกาบลำต้น ใช้ทำเส้นใย ทำเชือก หรือทอผ้า นอกจากนี้ยังใช้ทำอาหารสัตว์ เช่น อาหารของสุกร และยังเป็นอาหารของคนอีกด้วย โดยรับประทานแทนผัก

ใบ

ใบกล้วยเรียกว่า ใบตอง แผ่นใบใช้สำหรับห่อของ มวนบุหรี่ และใช้ในงานประดิษฐ์ต่าง ๆ ดังเช่น ทำกระทง เย็บแบบ ทำบายศรี ฯลฯ

ดอก

หรือที่เรียกว่าปลี คือดอกตัวผู้ ซึ่งจะเห็นได้หลังจากกล้วยติดผลแล้ว คนไทย และชาวเอเชียรับประทายหัวปลีแทนผักโดยรับประทานสดๆ ในส่วนของหัวปลี ส่วนในที่อ่อนนำมาทำเครื่องเคียงอาหารหลายอย่าง และยังนำมาปรุงอาหารเช่นยำ แกงเลียง นอกจากรับประทานแทนผักแล้วหัวปลียังเป็นสมุนไพรได้อีกด้วย

ผล

ผลของกล้วยใช้รับประทานได้ทั้งอ่อน แก่ ดิบ และสุก นอกจากปรุงอาหารแล้วชาวเวียดนามใช้เป็นเครื่องเคียงของอาหารญวน

คุณค่าอาหารของผลกล้วย

กล้วยมี ไขมันต่ำ และพลังงานสูง กล้วยจึงเป็นอาหารที่แนะนำสำหรับคนชราผู้เป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหารและเด็กที่ท้องเสียบ่อย ๆ กล้วยสามารถลดแก๊สในกระเพาะ ซึ่งเกิดจากความเครียด และยังมีวิตามิน A, B6 และ C อีกด้วย ซึ่ง Salunke & Desal (1984) ได้รายงานคุณค่าอาหารของผลกล้วยสุก โดยทั่วไปไว้ดังนี้

<u>จากน้ำหนักเนื้อผลกล้วยสุก 100 กรัม มีองค์ประกอบดังนี้</u>

น้ำ	75.7	กรัม
พลังงาน	85	แคลอรี่
โปรตีน	1.1	กรัม
ไขมัน	0.2	กรัม
คาร์โบไฮเดรท	22.2	กรัม
เถ้า	0.8	กรัม
แคลเซียม	8.0	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.7	มิลลิกรัม
โปรแตสเซียม	370	มิลลิกรัม
แมกนิเซียม	33	มิลลิกรัม
วิตามิน A	190	IU
Thiamine	0.05	มิลลิกรัม

Riboflavin	0.06	มิลลิกรัม
Niacin	0.7	มิลลิกรัม
วิตามิน C	10.0	มิลลิกรัม

1.4 **การทำกล้วยตาก** (สวัสดิ์ : 2536)

การเลือกกล้วยตาก เลือกเอาผลที่แก่จวนสุก ได้ขนาด คือ เมื่อจับขั้วหวีสลัดผลใดหลุดออกจากขั้ว เป็นขนาดที่ใช้ได้ ถ้ายังไม่ได้ที่ หรืองอมเกินไปไม่ควรใช้

วิธีทำ ปอกเปลือกแล้วใส่อ่างแช่น้ำปูนใส ไว้สัก 10 นาที แล้วใส่แผงตากโดยไม่ต้องเรียงลำดับ แผงตากนี้ถ้ามีแมลงวัน ควรป้องกันด้วยแผ่นกระจก จะทำฝาครอบหรือห้องกระจกแล้วแต่ความสะดวกการตากแห้งนี้ถ้าแดดดี ตามธรรมดา 5 ถึง 6 แดด (5 -6 วัน)

วันแรก เมื่อตากกล้วยไปได้ครึ่งวัน ก็เอาแผงอันใหม่ครอบทับแล้วพลิกกลับ แผงต้องทำความสะอาดอยู่เสมอ พอตกเย็นเก็บกล้วยไว้ในอ่างเคลือบ ซ้อนทับกันก็ได้เพื่อความสะดวกใช้อ่างเคลือบขนาดใหญ่สองใบครอบทับปิดเป็นฝา ก่อนจะจับกล้วยต้องล้างมือทุกครั้ง

วันที่ 2 ทำเช่นเดียวกับวันที่ 1 แต่ก่อนเอาออกตากควรเอาปลายมีดแกะลายเส้นน้ำเลี้ยง ที่ทอดตามยาวของผลกล้วยทั้ง 4 สายนี้ออกเสียก่อน แต่ในวันที่ 2 นี้ ตอนเย็นไม่ควรเทรวมเช่นเดียวกับวันแรก แต่ควรวางเรียงซ้อน ๆ กัน

วันที่ 3 ทำเช่นเดียวกับวันที่ 2 คือ กลับกล้วยตอนกลางวัน

วันที่ 4 เช้าวันนี้ก่อนตาก ควรทำการบีบไส้ คือบีบผลกล้วยตามยาวให้กล้วยแบนและอ่อนนุ่มทั่วลูก ถ้าไม่ทำให้ไส้แตกแล้วกล้วยจะไม่หวานทั้งผล เนื้อกล้วยจะกระด้าง

วันที่ 5 เย็นวันนี้กล้วยจะแห้งดี สามารถเก็บได้แล้ว แต่ถ้าแดดไม่ดีการบีบกล้วยก็ควรทำในวันนี้

ข้อควรจำ ในการตากกล้วยความสะอาดเป็นของสำคัญที่สุด ถ้าไม่มีแดดต้องใช้ย่างหรืออบแทน

ข้อสังเกต วิธีอบกล้วยโดยใช้รมควันหรือย่างนั้นสู้อบโดยวิธีใช้ความร้อนของไอน้ำไม่ได้ คือใช้ความร้อนของไอน้ำวิ่งผ่านทางท่อโลหะ แล้วเอากล้วยวางไว้ภายนอก ไม่ใช่ใส่ในท่อ รสของกล้วยตาก โดยใช้ไอน้ำนี้หวานคล้ายน้ำผึ้ง แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ถ้าไม่ทำในระดับอุตสาหกรรมก็ไม่ควรทำ

1.5 **วัตถุเจือปนในอาหาร** (ศิวาพร : 2545)

ความหมายของวัตถุเจือปนอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 (พ.ศ. 2527) และประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 199 (พ.ศ.2532) ได้ให้คำจำกัดความของวัตถุเจือปนอาหารไว้ว่า

"วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึง วัตถุที่ตามปกติมิได้ใช้เป็นอาหารหรือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารไม่ว่าวัตถุนั้นจะมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่ก็ตาม แต่ใช้เจือปนในอาหาร เพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีในการผลิต การบรรจุ การเก็บรักษาหรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพมาตรฐาน และลักษณะของอาหารและให้ความหมายรวมถึงวัตถุที่มิได้เจือปนอาหาร แต่ใช้รวมอยู่กับอาหารเพื่อประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นด้วย"

ความหมายของวัตถุเจือปนอาหาร ตามที่คณะกรรมมาธิการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (Codex Aliment Commission , CAC) ให้การรับรอง

"วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึง สารที่ไม่มีคุณค่าทางอาหาร ที่ได้มีการนำมาใช้ในอาหารอย่างเจตนา โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อย (ไม่เกิน 2 %) เพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะปรากฏ กลิ่นรสลักษณะเนื้อสัมผัสและอายุการเก็บของอาหาร"

ต่อมาในปี 1972 คณะกรรมการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศได้มีการแก้ไขใหม่เป็น

"วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึงสารซึ่งปกติมิได้ใช้บริโภคเป็นอาหาร หรือใช้เป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร อาจมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่มีคุณค่าทางอาหารก็ได้ และวัตถุประสงค์ในการใช้สารนั้นในอาหารก็เพื่อประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับเทคนิคในการแปรรูป กรรมวิธีในการแปรรูปการเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ การขนส่ง และอายุการเก็บของอาหารนั้น และอาจมีผลทางตรงหรือมีผลทางอ้อม ทำให้สารนั้นหรือผลิตผลพลอยได้ของสารนั้นกลายเป็นส่วนประกอบของอาหารนั้น แต่ไม่รวมถึงสารปนเปื้อนหรือสารที่เติมลงไป เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหาร"

1.6 **ความสำคัญของวัตถุเจือปนในอาหาร** (ศิวาพร :2535)

ปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีพของมนุษย์นั้น ยังคงเป็นปัจจัย 4 คือ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรคอยู่เช่นเดิม เพียงแต่ได้มีการพยายามพัฒนาปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาให้ก้าวได้ทันสมัยมีคุณภาพดีขึ้น มีมากพอเพียงและสามารถอำนวยความสะดวกและความสุขให้มนุษย์มากขึ้น รวมทั้งได้เริ่มจากการที่มนุษย์รู้จักอาหารโดยการล่าสัตว์หรือเก็บผักผลไม้ในป่ามาเป็นอาหาร เปลี่ยนมาเป็นรู้จักทำการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์เป็นแหล่งอาหาร จนกระทั่งรู้จักที่จะปลูกและเลี้ยงมากขึ้นและรู้จักเก็บสะสมและถนอมรักษาไว้ เพื่อบริโภคในยามขาดแคลน เนื่องจากจำนวนประชากรมีมากขึ้น แต่จำนวนอาหารมิได้เพิ่มขึ้นตามสัดส่วน และความต้องการบริโภคอาหารชนิดต่าง ๆ ในเวลานอกฤดูกาลมีมากขึ้น

การรู้จักเก็บสะสม และถนอมอาหารในสมัยแรก ๆ นั้น ส่วนใหญ่เกิดจากความบังเอิญของมนุษย์เกือบทั้งนั้น ตัวอย่างเช่น หลังจากที่เกิดไฟไหม้ป่าแล้วเนื้อของสัตว์ที่ถูกไฟไหม้จะสุก มนุษย์พบว่าอร่อยและเก็บได้นานกว่าเนื้อสด จนในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ต่าง ๆ มากมาย ผลไม้ที่บริโภคไม่หมดเมื่อทิ้งๆไว้จะเกิดการเน่าเสียและอาจมีแอลกอฮอล์เกิดขึ้นและถ้ามีการทิ้งไว้ต่อไปอีก ก็อาจจะมีรสเปรี้ยวเกิดขึ้นอีกด้วยเนื่องจากมีน้ำส้มสายชูและกรดอื่น ๆ เกิดขึ้น ซึ่งมนุษย์ได้อาศัยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนั้นมาช่วยในการถนอมอาหารและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้น เช่น เกิดมีอุตสาหกรรมผักและผลไม้ดอง อุตสาหกรรมแอลกอฮอล์ ไวน์ และอุตสาหกรรมน้ำส้มสายชูขึ้น และเมื่อมนุษย์ทราบจากประสบการณ์ว่าเชื้อจุลินทรีย์สามารถสร้างสารต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหาร จึงได้มีการทดลองนำเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เช่น แลคติคเอซิค แบคทีเรีย (lactic acid bacteria) มาช่วยในอุตสาหกรรมการผลิตกรดแลคติค หรือเชื้อราพวก Aspergillusniger มาสร้างเอนไซม์อะมีเลส (amylase) เป็นต้น ซึ่งสารที่กล่าวมา ล้วนเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีความสำคัญในอุตสารหกรรมทั้งนั้น

จากการเรียนรู้จักเก็บสะสมและถนอมอาหาร ได้มีการพัฒนาเรื่อยมาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีและได้มาตรฐาน และมีอายุการเก็บนานขึ้น ทั้งนี้แต่เดิมนั้นการเก็บสะสมและการถนอมอาหารก็เพียงเพื่อใช้แลกเปลี่ยนกับปัจจัยอื่นที่ต้องการ และไว้บริโภคนอกฤดูกาลหรือยามขาดแคลนเท่านั้น ต่อมาเปลี่ยนแปลงเป็นการค้าการพาณิชย์ ฉะนั้นความต้องการในด้านเทคนิคต่าง ๆ เพื่อมาช่วยในการทำให้ผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานจึงมีมากขึ้น การใช้วัตถุเจือปนอาหารเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์อาหารได้มาตรฐานตามที่ต้องการ

1.7 วัตถุเจือปนที่นิยมใช้ในอาหาร

ได้แก่ วัตถุกันเสีย วัตถุกันหืน สีผสมอาหาร เอนไซม์ gums, polyals, flour treatment agents, sequestrants และ artificial sweeteners เป็นต้น

สารปนเปื้อน (contaminant) (นวลศรี : 2536)

หมายความถึง สารซึ่งไม่เจตนาจะเติมลงในอาหารแต่เกิดขึ้นระหว่างกรรมวิธีการผลิต การบรรจุ และการเก็บรักษา ทั้งนี้ไม่รวมถึงวัตถุแปลกปลอมอื่นๆ

สารปนเปื้อนอาจมีอยู่ในอาหาร และเป็นอันตรายต่อการบริโภค เช่น โลหะต่างๆ ได้แก่ Pb, As, Cu, Fe, Hg, Cd, Zn อาจเกิดจากภาชนะบรรจุ

โลหะในธรรมชาติ (เฉลิมพร : 2535)

ปกติโลหะที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจะอยู่ในรูปของแข็ง โลหะเหล่านี้จะอยู่ในรูปของสารประกอบเสียส่วนใหญ่ แต่ถ้าในบริเวณที่ไม่ใช่แหล่งแร่มีโลหะมากผิดปกติ แสดงว่าเกิดการสะสมของโลหะในดินและน้ำโดยอาจมีสาเหตุมาจาก

- การปลดปล่อยสารเคมีที่มีพวกโลหะต่าง ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง และซึมตามพื้นผิวดิน
- การสะสมจากการใช้ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืชด้านการเกษตร
- การแพร่และสะสมของโลหะจากแหล่งอื่น ๆ ในธรรมชาติ

โลหะหนัก (Heavy metal)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัม/ลบ.ซม. ตัวอย่างเช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท นิคเกิล โครเมียม โคบอลต์ สังกะสี เหล็ก ทองแดง เป็นต้น

โลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน แต่สมบัติทางเคมีแตกต่างกันมาก จึงมีผลทำให้เป็นพิษที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตแตกต่างกันออกไปเป็นหลายแบบ

ระดับความเป็นพิษของโลหะหนักแต่ละชนิดแตกต่างกันออกได้ บางชนิดมีพิษสูงมาก แม้จะมีระดับความเข้มข้นต่ำมาก เช่น ปรอท แคดเมียม โลหะหนักบางชนิดแม้เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต แต่ถ้ามีระดับมากเกินไปก็สามารถเป็นอันตรายได้ เช่น ทองแดง สังกะสี

ทองแดง (Copper)

ทองแดงเป็นธาตุโลหะอยู่ในหมู่ I B ของตารางธาตุมีเลขอะตอม 29 มวลอะตอม 63.54 มีโครงสร้างอีเล็คโทรนิคเป็น $(n-1)d^{10}$ ns^1

มีเลขออกซิเดชั่น +1,+2, (+2 จะเสถียรที่สุดในน้ำ)

พลังงานไอออไนเซชั่น 744.8 kJ/mol

ความหนาแน่น 8.92 g/cm^3 ที่ 20 ^oC

จุดหลอมเหลว 1080 ^oC

จุดเดือด 23100 ^oC

สีของทองแดง สีของไอเขียว

แหล่งที่พบในธรรมชาติ

ทองแดงในธรรมชาติมีทั้งที่เป็นโลหะอิสระและเป็นสารประกอบ เช่น

Chalcocite หรือ Copper glance, Cu_2S

Chalcopyrite หรือ Copper pyrite, $Cufes_2$

Cuprite , Cu_2O

malachit, $CuCo_3$, Cu $(OH)_2$

ผลของทองแดงต่อสิ่งมีชีวิต

ทองแดงจัดเป็น essential trace metal เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์หลายชนิดในร่างกาย เช่น ferroxidase เป็นเอนไซน์ที่มีความสำคัญในขบวนการสร้าง Haemoglobin ถ้าขาดทองแดงก็จะเป็นโรคโลหิตจาง เกิดอาการผิดปกติของระบบหมุนเวียนโลหิตและหัวใจ นอกจากนี้เอนไซม์ amine oxidase ที่มีความสำคัญต่อการสร้างโปรตีน elastin และ collogen ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ connective tissue ที่ให้ความแข็งแรงต่อโครงกระดูก

จากรายงานของ FAD (Food and Drung Administration) ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าทองแดงเป็นแร่ธาตุที่ปลอดภัยต่อสัตว์และอนุญาตให้ผสมในอาหารสัตว์ได้ ชนิดของทุ่งหญ้าที่ใช้เลี้ยงสัตว์ พืชที่ขึ้นในทุ่งหญ้าตลอดจนชนิดของดินมีความสำคัญต่อสภาวะสมดุลของปริมาณทองแดงในร่างกายสัตว์

ทองแดงอาจเป็นพิษได้ถ้าอยู่ในรูปของคลอไรด์ ซัลเฟต อาซีเตท ออกไซด์ คาร์บอเนต กลูโคเทน ไอโอไดด์ และไพโรซับเฟต ถ้าหากมีทองแดงสะสมอยู่ในตัวสูงกว่า 150 ppm

ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชด้วย เช่น จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์และเอนไซม์ของพืชด้วย

สังกะสี (Zinc)

สังกะสีเป็นธาตุโลหะอยู่ในหมู่ II B ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 30 มวลอะตอม 65.37 มีโครงสร้างอีเล็คโทรนิคเป็น $(n-1)\ d^{10}, ns^2$

ความหนาแน่น 7.1 g/cm^3 ที่ 20 ^oC

จุดหลอมเหลว 419 ^oC

พลังงานอิออไนเซชั่น 907.9

มีเลขออกซิเดชั่นค่าเดียวคือ +2

แหล่งที่พบในธรรมชาติ

สินแร่ที่สำคัญของสังกะสี คือ

Sphalerite หรือ Zinc blend (Zns)

Smithsonite หรือ Calamine ($ZnCO_3$)

Willemite (Zn_2SiO_4)

Zincite (Zno)

ผลของสังกะสีที่มีต่อสิ่งมีชีวิต

สังกะสีเป็น essential mineral คือเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของเอ็นไซม์ เช่น Carbonic anhydrase, Lactic acid dehydrogenases และอีกหลายชนิดของ Peptidases เอ็นไซม์เหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์และพืช ส่วนสังกะสีมีความสำคัญต่อ Activity ของเอมไซม์ดังกล่าว

นอกจากนี้สังกะสียังเป็นส่วนประกอบของ active insulin เช่น Globin, Zinc Insulin, Protamine Zinc Insulin ซึ่งได้จากการ isolate ของตับอ่อน

การขาดสังกะสี (Zinc-deficiency)

มีผลต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย คือถ้าขาดจะเจริญช้า และจะเป็นโรคเกี่ยวกับตา (Cornea) เพราะโดยปรกติตาจะมีสังกะสีอยู่ประมาณ 0.5 % สารประกอบของสังกะสีหลายชนิดอาจเป็นพิษ แต่จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถถูกขจัดออกจากร่างกายอย่างรวดเร็ว สังกะสีในรูปผลึกอาจติดไฟโดยตนเองและเกิดการระเบิดได้

เหล็ก (Iron)

เหล็กเป็นธาตุโลหะอยู่ในหมู่ VIII B ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 26 มวลอะตอม 55.85

การจัดเรียงอิเล็กตรอน (Ar) $4d^6\ 4s^2$

ความหนาแน่น 7.86 g/cm^3

จุดเดือด 2877 ^oC

พลังงานอิออไนเซชั่น 761.49 kJ/mol

สมบัติแม่เหล็ก ferromagnetic

เลขออกซิเดชั่นเป็น +2, +3, +4, และ +6

ผลของเหล็กต่อสิ่งมีชีวิต

เหล็กไม่ปรากฏเป็นพิษต่อร่างกาย ยิ่งไปกว่านั้นเป็นธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย เป็นโลหะที่จำเป็นสำหรับระบบการย่อยอาหารเม็ดเลือดแดงของคนและสัตว์ มีองค์ประกอบทำหน้าที่นำออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่าง ๆ ของร่างกาย

ผู้ใหญ่ต้องการธาตุเหล็กปกติวันละ 8-10 มิลลิกรัม ถ้าน้อยกว่านี้จะเป็นโรคโลหิตจาง (Anemia) แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้เกิดอาการคลื่นเหียนอาเจียน ช็อค โคมาและอาจถึงตายได้ เด็กได้รับเหล็กในรูปเฟอรัสซัลเฟต ในปริมาณน้อยเพียง 5 เกรน (324 มิลลิกรัม) อาจทำให้ถึงตายได้

ตะกั่ว (Lead)

ตะกั่วเป็นธาตุหนักอยู่ในหมู่ IV A ของตารางธาตุ มีมวลอะตอม 207.2 มีวาเลนซีได้หลายระบบ เช่น 1, 2, และ 4 แต่ตะกั่วส่วนมากจะอยู่ในสภาวะเลนซี 2 ซึ่งเสถียรมากที่สุด

โลหะตะกั่วมีสีเทาเงิน ลักษณะอ่อน จุดหลอมเหลว 327.4 ^{o}C ความถ่วงจำเพาะ 11.35 เป็นตัวนำไฟฟ้าที่เลว แต่มีความทนทานและคงทนต่อการสึกกร่อน ละลายได้ดีในกรดไนตริก

อาจพบสารตะกั่วได้ทั้งในอากาศ ดิน น้ำ พืช และเครื่องอุปโภคบริโภคในครัวเรือน สารประกอบของเกลือตะกั่วส่วนมากมีสีต่าง ๆ กัน จึงนิยมใช้เป็นส่วนผสมให้เกิดสีในอุตสาห - กรรมทำสีหมึกพิมพ์สีต่าง ๆ ทุกชนิดจะมีตะกั่วเป็นส่วนประกอบ ฉนั้นสารตะกั่วจะต้องปะปนไปกับกระดาษหนังสือพิมพ์ วารสาร ภาพสี ภาพโฆษณา และวัสดุต่าง ๆ ที่มีสี สารประกอบของตะกั่วยังใช้ประโยชน์อีกหลาย ๆ ด้าน เช่น ใช้เป็นยาฆ่าแมลงและปราบศัตรูพืช ใช้ผสมในกระเบื้องเครือบ ใช้เป็นสารกันน็อค ใช้ทำผงบัดกรี และใช้ทำขั้วอีเลคโตรดของแบตเตอรี่

1.8 ทฤษฎีการทดลองที่เกี่ยวข้อง

1.8.1 เปเปอร์โครมาโตกราฟี (Paper Chromatography) (เสาวนีย์ : 2536)

เปเปอร์โครมาโตกราฟี เป็นวิธีการที่ใช้ในการพิสูจน์หรือแยกสารออกจากกัน โดยการนำของผสมที่ต้องการพิสูจน์หรือแยกออกจากกันนั้นไปจุด (Spot) ลงบนกระดาษโครมาโตกราฟี แล้วล้างหรือ Develop ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม สารต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบในของผสมจะแยกออกจากกันได้เนื่องจากมีค่า Partition coefficient แตกต่างกันถ้าสารชนิดใดละลายใน Moving phase ได้ดีกว่าละลายใน Stationary phase ก็จะสามารถเคลื่อนที่ไปได้เร็วหรือดีกว่าสารชนิดที่ละลายใน Stationary phase ได้ดี ด้วยหลักการนี้จึงสามารถแยกสารอกจากกันหรือออกจากของผสมได้ ถ้าสารที่แยกออกเป็นสารที่มีสี ก็จะสามารถทราบตำแหน่งของสารนั้นที่ถูกตัวทำละลายพาไปบนกระดาษโครมาโตกราฟีได้ทันที แต่ถ้าสารที่แยกออกเป็นสารไม่มีสี การหาตำแหน่งหรืออาจตรวจสอบก็อาจทำได้ โดยการฉีดพ่นน้ำยาหรือสารละลาย (Location reagent) ที่ทำปฏิกริยากับสารนั้นๆแล้วเกิดเป็นสารมีสีขึ้น (Colour reaction) หรือบางชนิดก็อาจตรวจสอบด้วยวิธีการทางกายภาพอื่นๆ

เปเปอร์โครมาโตกราฟี เป็นวิธีการโครมาโตกราฟีแบบหนึ่งที่มี Stationary phase เป็นของเหลว และมี Moving phase เป็นของเหลวเช่นกันและเป็นตัวอย่างหนึ่งของโครมาโตร กราฟีแบบ Partition chromatography

ทั้งกระดาษกรองและกระดาษโครมาโตกราฟีที่ใช้ในการทดลองก็คือ สารพวกเซลลูโลส (Cellulose) ซึ่งโดยทั่วไปจะดูดน้ำหรือความชื้นไว้ประมาณร้อยละ 5 - 20 แล้วแต่ค่าความชื้น

สัมพัทธ์ขณะนั้น น้ำที่มีอยู่ (Water of hydration) นี้ จะทำหน้าที่เป็น Liquid stationary phase ส่วนตัวทำละลายที่ใช้ในการล้างหรือ Developing ก็ทำหน้าที่เป็น Liquid moving phase

1.8.2 ค่าอาร์เอฟ (R_f) (ธวัชชัย : 2537)

จากการที่สารชนิดต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในของผสม สามารถเคลื่อนที่ไปบน Stationary phase โดยการพาของตัวทำละลายด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน สำหรับสารต่างชนิดกันและเท่าเทียมกันสำหรับสารชนิดเดียวกัน ณ สภาวะเดียวกัน อัตราส่วนระหว่างระยะทางที่สารเคลื่อนที่ไปได้ต่อระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ไป เรียกว่า " ค่าอาร์เอฟ (R_f) " หรือ Retardation factor

$$R_f = \frac{\text{ระยะทางที่สารเคลื่อนทีไปได้}}{\text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ไป}}$$

ค่า R_f ของสารชนิดหนึ่งจะเป็นค่าคงที่ ที่สภาวะการทดลองอย่างเดียวกัน

1.8.3 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reactions) (สุรีย์ : 2534)

เมื่อปอกผลไม้และผัก เช่น แอปเปิ้ลและมันเทศ แล้ววางทิ้งไว้จะเกิดเป็นสีน้ำตาลตรงบริเวณที่ปอก การเกิดสีน้ำตาลในอาหาร ส่วนใหญ่จะไม่เป็นที่ต้องการ เพราะบางครั้งอาจทำให้เกิดรสชาติที่ไม่ดี และทำให้ลักษณะภายนอกของอาหารดูไม่น่ารับประทาน อย่างไรก็ตามการเกิดสีน้ำตาลขององุ่นที่ทำให้แห้งเพื่อผลิตเป็นลูกเกด และของลูกพรุนพลัม (pruneplum) ที่ผลิตเป็นลูกพรุน ผลิตภัณฑ์ เหล่านี้ผลิตขายมานานแล้วจนให้สีของมันเป็นสีที่ยอมรับโดยทั่วกัน

<u>การเกิดสีน้ำตาลในอาหารมี 2 แบบคือ</u>

1) เกิดจากปฏิกิริยาที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องเรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้อง (Enzymic browning reaction)

2) เกิดจากปฏิกิริยาที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องด้วยเรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้อง (nonenzymic browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้อง

เมื่อผลไม้และผักมีรอยตำหนิหรือเสียหายซึ่งอาจเกิดจากรอยช้ำ รอยปอก หั่นแช่แข็งหรือเป็นโรค ส่วนของเนื้อเยื่อที่มีตำหนิมีเอ็นไซม์ที่ยังคงแอกติฟอยู่ เมื่อถูกกับอากาศจะเกิดเป็นสีน้ำตาล เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ เป็นกลุ่มของเอ็นไซม์ซึ่งอาจเรียกชื่อรวมว่าฟีนอลเลส (phenolase) ซึ่งรวมเอ็นไซม์ต่อไปนี้ เช่น phenoloxidase , cresolase dopa oxidase , catecholase , tyrosinase , polyphenoloxidase , potato oxidase , sweet potato oxidase , phenolase complex เป็นต้น

การใช้ชื่อ phenolase เพราะเอ็นไซม์ที่แยกและทำให้บริสุทธิ์แล้วสามารถใช้เร่งปฏิกิริยา 2 ปฏิกิริยาต่อไปนี้ได้คือ

1) ออกซิเดชันของออร์โธ - ไดไฮดรอกซีฟีนอล (o - dihydroxyphenols) ไปเป็นออร์โธควินิน (o - quinones) ตัวอย่างเช่น การออกซิไดส์ catechol ไปเป็น o - bensiquinone

2) ไฮดรอกซีเลชันของโมโนไฮดรอกซีฟีนอล (monohydroxyphenols) ไปเป็นไดไฮดรอก ซีฟีนอล เช่น ไฮดรอกซีเลชันของ p - cresol ไปเป็น 3,4 - dihydroxytoluene เมื่อผิวของผลไม้และผักถูกหั่นออก ปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาลเกิดจาก ปฏิกิริยาของออร์โธควิโนนที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ไม่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้องแล้วตามด้วยโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากออกซิเดชัน

Phenolase มีอยู่ทั่วไปในสัตว์และพืช ในพืชจะพบในน้ำเต้า ราก ผลไม้จำพวก ส้ม กล้วย แตงโม มะกอก ชา เห็ดและอื่น ๆ Laccase ซึ่งเป็นเอ็นไซม์อีกประเภทหนึ่งที่พบในพืช เช่น แอปเปิ้ล มันฝรั่ง กะหล่ำปลีและบีท (sugar beets) จากรายงานต่าง ๆ พบว่า Laccase ออกซิไดส์เฉพาะ polyhydric phenols

Phenolase มีน้ำหนักโมเลกุล 128,000 มีปริมาณทองแดง 0.2% รวมเป็นสี่อะตอมของทองแดงต่อ 1 โมเลกุลของเอ็นไซม์ เอ็นไซม์ที่เตรียมขึ้นใหม่ ๆ มีทองแดง อยู่ในรูปคว่ิปรัส (cuprous form) แต่จะถูกออกซิไดส์ไปเป็นรูปคว่ิปริก (cupric form) อย่างช้า ๆ เมื่อตั้งทิ้งไว้ การเปลี่ยนแปลงนี้มิได้ทำให้แอกติวิตีของเอ็นไซม์เปลี่ยนแปลงไป อะโปเอนไซม์ (apoenzyme) ซึ่งปราศจากทองแดงจะไม่แอกติฟ แต่เมื่อเติมทองแดงในรูปคว่ิปริกเข้าไป มันจะกลับมีแอกติวิตีดังเดิม อะโปเอ็นไซม์สามารถเตรียมได้โดยไดอะไลซิส (dialysis) ของสารละลายเอเคว่ียสของเอ็นไซม์โดยใช้สารละลายเจือจางของโพแทสเซียมไซยาไนด์

ปฏิกิริยา Browing reaction จะช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตในผลไม้ ผลไม้ส่วนใหญ่หลังเก็บน้ำตาลจะลดน้อยลงเนื่องจากถูกใช้ในการหายใจ และถูกเปลี่ยนเป็นแป้ง น้ำตาลที่สูญเสียไปส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นแป้ง ที่ อุณหภูมิต่ำ ผลไม้จะมีน้ำตาลสะสมสูงกว่าแต่อุณหภูมิต่ำ น้ำตาลจะถูกเปลี่ยนเป็นแป้ง

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีสำคัญที่เกิดในผลไม้สุก คือ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบคาร์โบไฮเตรต ปริมาณน้ำตาลในผลไม้สุกจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากไฮโดรลิซิสของโพลิแซทคาไรด์ (hydrolysys of polysaccharides) ในผลไม้ น้ำตาลบางส่วนถูกใช้ไปในการหายใจ ในผลไม้บางชนิดที่ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเก็บเกี่ยวใหม่ ๆ ปริมาณแป้งจะลดลงโดยจะลดจาก 14-18 % ไปจนเหลือน้อยกว่า 1 % ในผลไม้สุก การแตกสลายของโพลีแซกคาไรด์ของผนังเซลล์มีส่วนสำคัญในการเพิ่มปริมาณน้ำตาล สัดส่วนของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ อาจเปลี่ยนแปลงได้เมื่อผลไม้สุก

น้ำตาลเป็นส่วนสำคัญในการทำให้รสของผลไม้ที่เก็บใหม่ ๆ อร่อย หลังการเก็บเกี่ยวปริมาณน้ำตาลจะมีทั้งสูงและต่ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของการเปลี่ยนแปลงภายในของพืชนั้น ๆ แต่โดยทั่วไปน้ำตาลในผลไม้จะเพิ่มขึ้นหลังจากการเก็บเกี่ยว หรือ ผลไม้แก่จัด

<u>ตารางที่ 1.1</u> แสดงความเสียหายที่เกิดจากการแช่เย็นของผลไม้และผักที่อุณหภูมิต่ำ

ผลไม้และผัก	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ลักษณะความเสียหาย
แอปเปิ้ล	3	เกิดสีน้ำตาลภายใน นุ่มเน่าและเหี่ยว
กล้วย	13	เปลือกสีน้ำตาล กลิ่นรสไม่ดี
แครนาเบอรี่	2	เนื้อส้มผัสมีเนื้อสีแดง
โอลิฟ	7	เกิดสีน้ำตาลภายใน
ส้ม	3	มีรอยบุ๋ม และรอยสีน้ำตาลที่เปลือก
มันฝรั่ง	4	เกิดการสะสมน้ำตาลรีดิวซ์
มะเขือเทศ	9	ดูดน้ำ นุ่มและเน่า

1.8.4 ทฤษฎีการไทเทรตหาปริมาณน้ำตาล (ชูติมา : 2536)

การไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์ บางครั้งเรียกว่า ออกซิดิเมตรีและรีดักติเมตรี วิธีปริมาตรวิเคราะห์ในหัวข้อนี้เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ได้จากทำการไทเทรตรีเอเจนต์ที่เป็นตัวออกซิไดส์กับสารละลายมาตรฐานของรีเอเจนต์ที่เป็นตัวรีดักซ์ หรือเป็นการทำการไทเทรตของรีเอเจนต์ที่เป็นตัวรีดิวซ์กับสารละลายมาตรฐานที่เป็นตัวออกซิไดส์

ปฏิกิริยาออกซิเดชันคือกระบวนการที่ทำให้สาร (อาจอยู่ในรูปของอะตอมไอออน หรือโมเลกุล อย่างใดอย่างหนึ่ง) 1 อนุภาค เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งอิเล็กตรอน

ปฏิกิริยารีดักชันคือกระบวนการที่เกี่ยวกับสาร 1 อนุภาค (อาจอยู่ในรูปของอะตอมไอออน หรือโมเลกุล อย่างใดอย่างหนึ่ง) ได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งอิเล็กตรอน

ตัวรีดิวซ์ (reducing agent) คือสารชนิดหนึ่งที่เข้าทำปฏิกิยาแล้วมีการสูญเสียอิเล็กตรอนหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งอิเล็กตรอน ในกระบวนการแบบนี้ตัวรีดิวซ์จะถูกออกซิไดส์เพราะเมื่อให้อิเล็กตรอนแก่ผู้อื่นแล้วจำนวนอิเล็กตรอนของตัวมันเองจะลดลง จึงมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นหรือมีประจุบวกมากขึ้น

ส่วนตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent) เป็นสารที่ได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้น อาจเป็นหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งอิเล็กตรอน ดังนั้นตัวออกซิไดส์เองจะถูกรีดิวซ์เพราะเป็นลบมากขึ้น ความเป็นบวกลดลง หรือกล่าวว่ามีเลขออกซิเดชันลดลง

การวิเคราะห์หาปริมาณของสารด้วยวิธีการไทเทรตแบบรีดอกซ์นี้ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการไทเทรตทางอ้อมมากกว่าจะใช้วิธีการไทเทรตที่ทำตามขั้นตอนโดยตรง เหตุผลที่สำคัญคือต้องการให้ได้ผลของการไทเทรตที่มีจุดยุติที่คมชัดและถูกต้องดี ตัวอย่างเช่นถ้าเราทำการไทเทรตโดยตรงระหว่างสารละลายทองแดง (II) , Cu^{2+} กับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) พบว่าไม่ได้ผลการทดลอบงที่ดี จุดยุติหายาก มองไม่ชัด แต่ถ้าเปลี่ยนวิธีใหม่ด้วยวิธีให้สารละลาย Cu^{2+} ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอไดด์ เช่น KI ที่มากเกินพอซึ่งจะให้ผลของปฏิกิริยาเป็นไอโอดีน (I_2) แล้วทำการไทเทรต I_2 ที่เกิดขึ้นกับสารละลายมาตรฐาน $Na_2S_2O_3$ พบว่าวิธีนี้ดีกว่าหาปริมาณทองแดง ได้ผลของการทดลองที่ถูกต้องดีกว่าวิธีแรก

1.8.5 กรดและเบส (ประวิตร : 2528)

กรดและเบสเป็นสารสองชนิดที่มีสมบัติตรงข้ามกัน เมื่อกล่าวถึงกรดก็มักกล่าวถึงเบสควบคู่กันไปด้วยเสมอ ปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบสเป็นปฏิกิริยาที่เราคุ้นเคยเป็นอย่างดี ในวิชาเคมีเบื้องต้นมักกล่าวถึงกรดว่าเป็นสารที่เปลี่ยนสีลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง ทำปฏิกิริยากับโลหะบางชนิดให้แก๊สไฮโดรเจน ทำปฏิกิริยากับเกลือคาร์บอเนตหรือไบคาร์บอเนตให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับเบสได้เกลือ บางทีมีรสเปรี้ยวและมีฤทธิ์กัด เมื่อพูดถึงกรดชาวบ้านมักนึกถึงกรดกำมะถัน (หรือ H_2SO_4) กับกรดดินประสิว (หรือ HNO_3) กรดสามัญที่รู้จักกันดี ได้แก่ HCL , HNO_3 , H_2CO_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4 เป็นต้น HCL เป็นกรดทวิภาคประกอบด้วยธาตุเพียงสองธาตุ ส่วนกรดอีก 4 ชนิดเป็นกรดไตรภาคประกอบด้วยธาตุสามธาตุ เราจะเห็นได้ว่ากรดเหล่านี้ประกอบด้วยไฮโดรเจนรวมอยู่กับอโลหะ หรือหมู่อะตอมของอโลหะที่เรียกว่าอนุมูลกรด กรดทุกชนิดเป็นสารประกอบโคเวเลนต์ที่มีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างอะตอมของกรด

ส่วนเบสนั้นมักกล่าวว่า เป็นสารที่เปลี่ยนสีลิตมัสจาก สีแดงเป็นน้ำเงิน ทำปฏิกิริยากับกรดให้เกลือมีรสฝาดและลื่นมือคล้ายสบู่ ชื่อสามัญที่รู้จักกัน ได้แก่ โซดาไฟหรือโซดาคอสติก NaOH ปูนขาวและน้ำปูนใส $Ca(OH)_2$ น้ำแอมโมเนีย NH_3 เป็นต้น

เนื่องจากกรดและเบสเป็นสารประกอบเคมีที่สำคัญ จึงควรทราบเรื่องราวของสารสองประเภทนี้ให้มากพอควร นิยามของกรดและเบสนั้นมีผู้กล่าวไว้หลายอย่างด้วยกัน นิยามบางแบบกล่าวถึงกรดและเบสไว้กว้างขวางมาก สารบางชนิดไม่มีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบก็อาจเป็นกรดได้

1.8.6 pH METER (เพ็ญศรี :2539)

pH METER คือ เครื่องมือทางไฟฟ้าที่ใช้วัด pH ของสารละลาย โดยหลักการวัดความต่างศักย์ (POTENTIALMETER) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ที่สามารถทำให้เครื่องทำงานได้ครบวงจร ส่วนประกอบทั้ง 2 คือ อิเลคโทรด และตัวเครื่อง 1 อิเลคโทรด ทำหน้าที่เป็นภาคตรวจรับ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนในสารละลายที่ pH 7 (STANDARD pH BUFFER) ความต่างศักย์ระหว่างอิเลคโทรดทั้ง 2 คือ อิเลคโรดอ้างอิงกับอิเลคโทรดตรวจวัด

จะมีค่าความต่างศักย์เท่ากับศูนย์มิลลิ-โวลท์ (0 mV) ถ้าความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนเพิ่มขึ้นหรือลดลง ความต่างศักย์ก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนในสารละลายนั้น โดยมีอิเลคโทรดเป็นตัวทำหน้าที่รับสัญญาณ

ก. ตัวเครื่อง pH METER ก็คือ POTENTIOMETER ทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการคือ

1) ปรับความต่างศักย์ให้กับอิเลคโทรดอ้างอิง ให้มีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่

2) แปลงสัญญาณจากความต่างศักย์ของอิออนของอิเลคโรดให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า

3) ขยายสัญญาณความต่างศักย์ทางไฟฟ้าให้เพิ่มมากขึ้นอย่างเพียงพอให้แสดงผลที่มิเตอร์เป็นแบบเข็ม หรือตัวเลข

<u>รายละเอียดโดยย่อของอิเลคโทรด</u>

อิเลคโทรดปัจจุบันส่วนใหญ่เป็น COMBINATION pH ELECTRODE ซึ่งออกแบบไว้ให้สะดวกในการใช้งาน โดยรวม REFERENCE ELECTRODE และ SENSING ELECTRODE มาอยู่ด้วยกัน

SENSING ELECTRODE หรืออิเลคโทรดตรวจวัด ทำด้วยแก้วชนิดพิเศษที่ยอมให้เฉพาะ H^+ อิออนผ่านส่วนใหญ่ออกแบบเป็นรูปกระเปาะภายในบรรจุ BUFFER เอาไว้ แต่มีบางประเภทเป็นรูปอื่น เช่น รูปเข็มทุกชนิดจะเหมือนกันตรงบริเวณที่ H^+ อิออนผ่านผิวแก้ว จะบางมาก

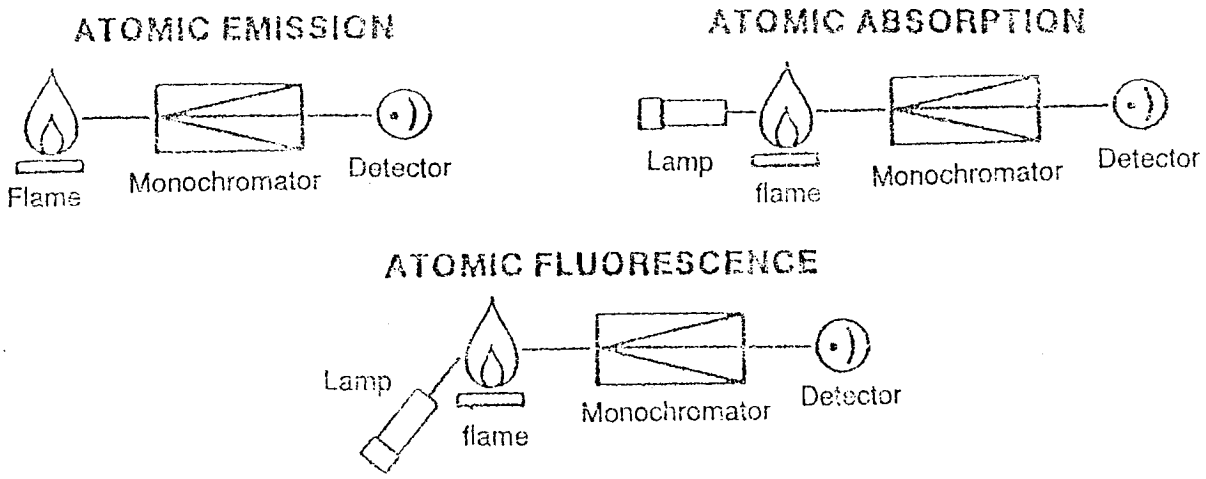
REFERENCE ELECTRODE หรืออิเลคโทรดอ้างอิง ทำหน้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วตรวจวัดเดินครบวงจร โดย KCl ชนิดอิ่มตัวที่อยู่ในอิเลคโทรดอ้างอิงซึมผ่านออกมาเป็น SALT BRIDGE เชื่อมกับ SENSING ELECTRODE

1.8.7 หลักการของอะตอมมิกแอบซอบชันสเปคโตรโฟโตรเมทรี (แม้น,อมร :2535)

ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY (AAS)

หลักการทั่วไป

เทคนิค AAS เป็นหนึ่งในสามเทคนิค ที่เกี่ยวข้องกับ atomic spectroscopy นั่นคือ atomic emission (AE) atomic absorbtion (AA) และ atomic fluorescence (AF) ซึ่งต่างก็เป็นกระบวนการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ โดยอาศัยหลักการดูดกลืนหรือคายพลังงานแสงของอะตอมอะตอมของธาตุต่าง ๆ ซึ่งต่างก็มีการจัดเรียงตัวอิเล็กตรอนที่เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละธาตุ เมื่ออยู่ในสภาวะพื้น (ground state) ก็จะมีพลังงานต่ำสุด แต่เมื่ออะตอมเหล่านั้นได้รับพลังงานที่มีค่าเหมาะสม ก็จะทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปสู่สภาวะกระตุ้น (excited state) แต่เนื่องจากสภาวะนี้ไม่เสถียรอิเล็กตรอนก็จะกลับสู่สภาวะพื้น พร้อมทั้งคายพลังงานที่รับเข้าไปออกมาในรูปคลื่นแสง ซึ่งจะมีความสลับซับซ้อนของความยาวคลื่นแสงเพียงใดจะขึ้นกับจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอน เทคนิคทาง atomic spectroscopy จะอาศัยหลักการวัดปริมาณพลังงานที่ถูกดูดกลืนหรือคายออกมาในการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานเหล่านั้นเอง ดังแผนภาพในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กระบวนการต่าง ๆ ทาง atommic spectroscopy

เทคนิค AAS นั้น นับว่าเป็นเทคนิคที่มีการใช้งานกันมากที่สุดในสามเทคนิคดังกล่าว สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารต่าง ๆ ซึ่งการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis) ของเทคนิค AAS ยังคงอาศัยความสัมพันธ์ที่เป็นไปตามหลักของ Beer ดังสมการ

$$A = abC$$

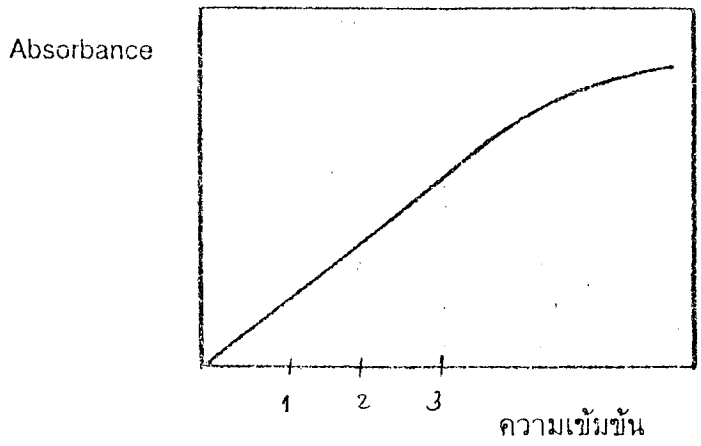
เมื่อ A คือค่า Absorbance ($\log I_0 / I$)

a คือค่า absorbtion coefficient ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่เป็นลักษณะเฉพาะของสารที่ดูดกลืนแสง

b คือระยะทางที่แสงผ่านที่เกิดการดูดกลืนแสง

และ c คือความเข้มข้นของสารที่ดูดกลืนแสง

ดังนั้น เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสง (A) มาพล๊อตกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานจะปรากฏกราฟเส้นตรงที่เรียกว่ากราฟมาตรฐาน ดังรูปที่ 1.2 แต่อย่างไรก็ตามการสร้างกราฟมาตรฐานในลักษณะเช่นนี้ จะได้กราฟเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นหนึ่ง ๆ เท่านั้น และบางครั้งอาจจะได้ออกมาเป็นเส้นโค้งก็มี ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 กราฟมาตรฐานของการดูดกลืนแสง

อุปกรณ์หลักในเครื่อง AAS

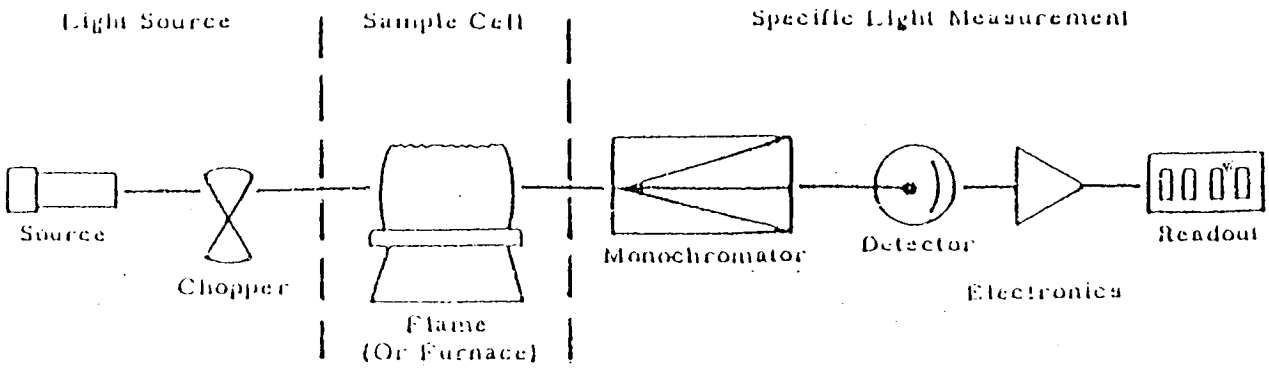
อุปกรณ์หลักในเครื่อง AAS ประกอบด้วยส่วนหลักสำคัญ 3 ส่วน (ดังรูปที่ 1.3) คือ

แหล่งกำเนิดแสง (light source)

ระบบเบอร์เนอร์ (burner system)

อุปกรณ์วัดแสง

SINGLE - BEAM ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETER

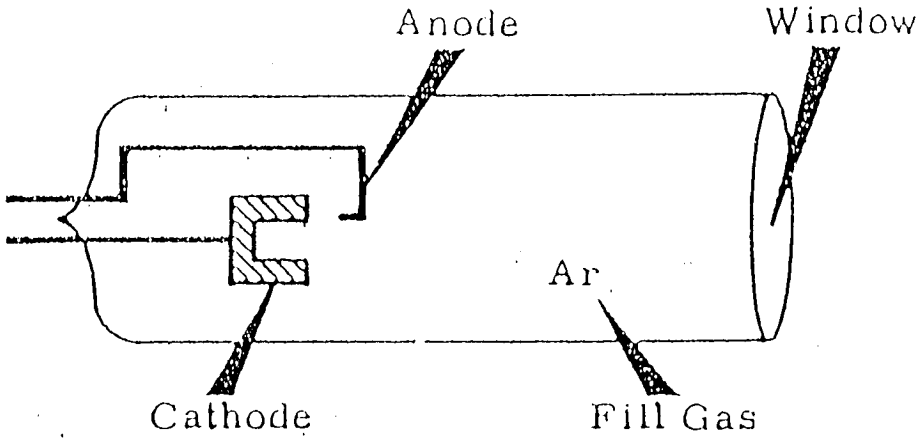


รูปที่ 1.3 แผนภาพอุปกรณ์หลักใน AAS

<u>แหล่งกำเนิดแสง (light source)</u>

เนื่องจาก อะตอมจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะ ในการที่จะวัดการดูดกลืนแสงด้วยความไวที่สูงสุด จำเป็นจะต้องมีแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นแบบเส้น ที่จะคายแสงที่มีความยาวคลื่นที่จะถูกดูดกลืนโดยอะตอม แหล่งกำเนิดแสงดังกล่าวนี้ ปกติจะนิยมใช้ฮอลโลว์คาโธด (hollow cathodelamp) ซึ่งมีอุปกรณ์ดังรูปที่ 1.4

HOLLOW CATHODE LAMP



รูปที่ 1.4 หลอดฮอลโลว์คาโธด (hollow cathode lamp)

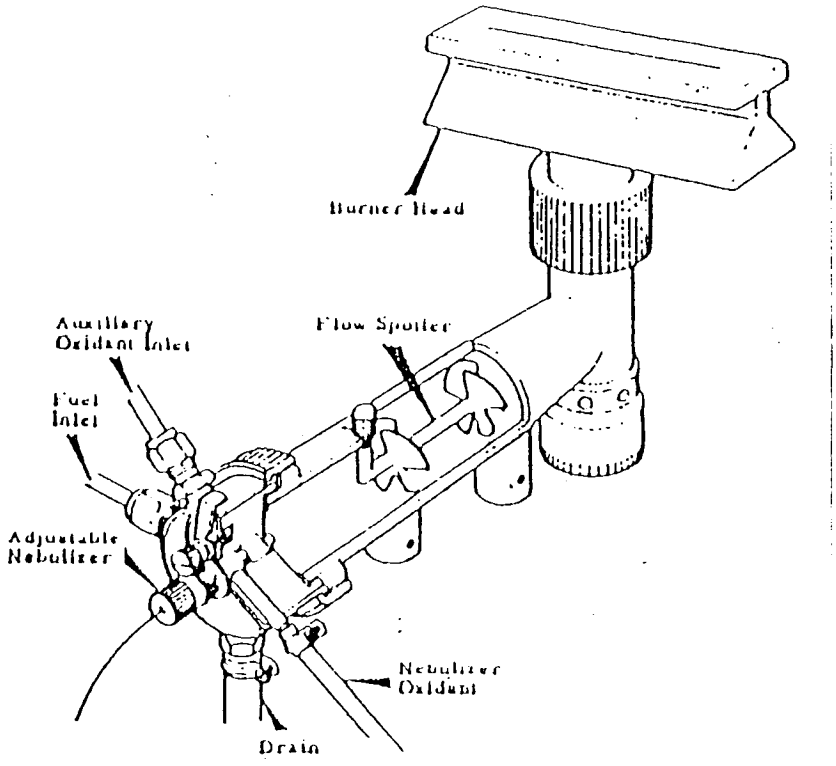
คาโธดของหลอดฮอลโลว์ จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงทำด้วยโลหะที่ทำการวิเคราะห์ทั้งอาโนดและคาโธด จะอยู่ในหลอดแก้วปิดภายในบรรจุด้วยก๊าซนีออน (Ne) หรืออาร์กอน (Ar) ส่วนหน้าต่าง (window) ของหลอดอาจเป็นแก้วธรรมดาหรือแก้วควอทซ์

<u>ระบบเบอร์เนอร์ (burner system)</u>

เป็นระบบที่ทำการเปลี่ยนสภาพ ของสารละลายให้กลายเป็นอะตอม อาจจะเรียกอีกชื่อหนึ่งเป็น " อะตอมไมเซอร์ (atomizer)" อุปกรณ์ส่วนนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ย่อย2ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนบิวไลเซอร์ (nebulizer) และส่วนที่เป็นเบอร์เนอร์ (burner) ดังรูปที่ 1.5

128730

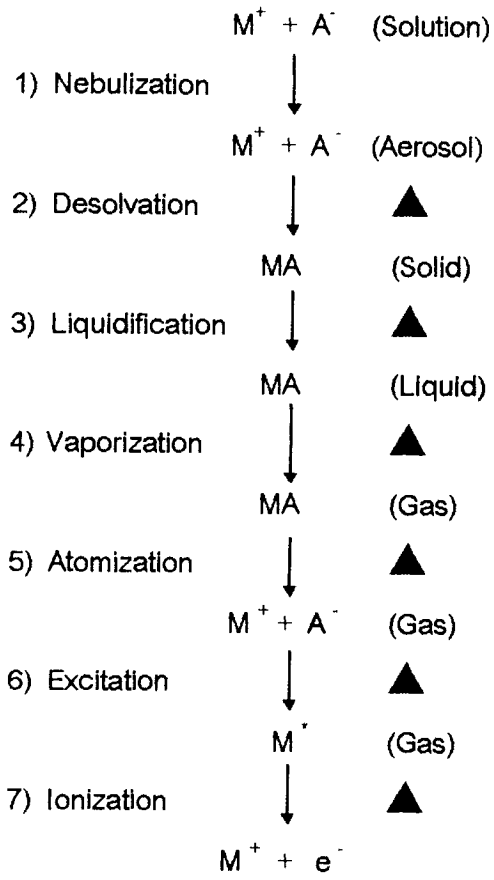
PREMIX BURNER SYSTEM



รูปที่ 1.5 ระบบเบอร์เนอร์ (burner system)

เนบิวไลเซอร์ เป็นส่วนที่สารละลายถูกทำให้เป็นละอองฝอยเล็ก ๆ ผสมกับเชื้อเพลิง และตัวออกซิไดซ์ ส่วนเบอร์เนอร์จะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดอะตอมของธาตุที่จะวิเคราะห์ที่จะเกิดขึ้นในเปลวไฟดังกระบวนการ (ดังรูปที่ 1.6) ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงระบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเปลวไฟที่ต้องการ แต่ส่วนใหญ่แล้วในการวิเคราะห์ทั่วไปมักจะใช้เปลวไฟแบบ air - acetylene สำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้กับเบอร์เนอร์ต่าง ๆ นั้น มีด้วยกันหลายระบบ

FLAME PROCESS



รูปที่ 1.6 กระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ

<u>อุปกรณ์วัดแสง</u>

อุปกรณ์ส่วนนี้ประกอบด้วยโมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ซึ่งทำหน้าที่แยกแสงจากแหล่งกำเนิดแสงให้ได้ความยาวคลื่นที่ต้องการวัด ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของดีเทคเตอร์ (detector) ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนกับดวงตา ที่จะแปลงความเข้มของแสงให้เป็นกระแสไฟฟ้า ปกติแล้วดีเทคเตอร์จะเป็นหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube . PMT) ที่จะปล่อยกระแสไฟฟ้า ต่อจากนั้นจึงขยายสัญญาณโดยส่วนที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ แล้วสัญญานก็จะถูกแปลงต่อ ให้อ่านออกมาในหน่วยความเข้มข้นหรือความเข้มของแสง

Detector (เครื่องวัดความเข้มแสง) นิยมใช้กันมากที่สุด คือ Photomulti - plier tube เป็นเครื่องวัดความเข้มของแสงทำหน้าที่วัดผลที่ได้

เครื่องอ่านสัญญานเป็นเครื่องที่อ่านค่า absorbance โดยตรงประกอบด้วย amplifier และ recorder หรืออาจจะเป็น readout systems อื่น ๆ เช่น computer หรือ microprocessor

การใช้เทคนิค AAS สำหรับวิเคราะห์นั้นนิยมทำได้ 2 วิธีคือ

1. Calibration curve method หรือ conventional method
2. Standard addition method

วิธี Standard addition นิยมใช้กับกรณีที่มีการรบกวนของธาตุหรือสารอื่น ๆ ซึ่งไม่ทราบองค์ประกอบ หรือสารนั้นมีปริมาณน้อย ๆ

1.9 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1) เพื่อศึกษา คุณสมบัติทางกายภาพของกล้วยตาก
2) อาจนำวิธีการวิเคราะห์ไปใช้วิเคราะห์กับผลไม้อื่น ๆ ได้
3) เพื่อเป็นข้อมูลในการผลิต ผลิตภัณฑ์กล้วยตาก
4) เพื่อเป็นข้อมูลทางวิชาการ

1.10 ขอบเขตของการวิจัย

เก็บตัวอย่างกล้วยตากในเขต อ.เมือง จ.พิษณุโลก ตั้งแต่เดือน กันยายน 2541 - มกราคม 2542 และทำการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพบางประการของกล้วยตาก และทำการวิเคราะห์หาวัตถุเจือปนในกล้วยตาก เช่น การวิเคราะห์ปริมาณสี น้ำตาล (Reducing Sugar และ Invert Sugar) และโลหะหนัก

1.11 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของกล้วยตาก
2. อาจนำวิธีการวิเคราะห์ไปใช้วิเคราะห์กับผลไม้อื่น ๆ ได้
3. เพื่อเป็นข้อมูลในการผลิต ผลิตภัณฑ์กล้วยตาก
4. เพื่อเป็นข้อมูลทางวิชาการ

บทที่ 2
การทดลอง

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

2.1.1 Atomic absorption spectrophotometor Model GBC 933 AA ของบริษัท GBC Scientific Equipment Pty.Ltd. Australia.

2.1.2 Hollow cathode lamps for Iron, Copper, Zinc, and Lead ของบริษัท PHOTRON Pty.Ltd. Australia.

2.1.3 pH meter ของบริษัท Eutech Cybernatic, SIngapore.

2.1.4 Magnatic stirrer รุ่น Sp 46902 - 26 ของบริษัท Baonstead/Thermolyne, Amerrica.

2.1.5 Hot plate รุ่น E.G.O

2.1.6 เตาเผา รุ่น CWF ของบริษัท CARBOLITE , England.

2.1.7 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง รุ่น 2100S sartorius ของบริษัท Sartorius Co.Ltd. Germany.

2.1.8 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น BP 210S ของบริษัท Sartorius Co.,Ltd. Germany.

2.2 สารเคมี

2.2.1 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) AR. Grade ผลิตโดยบริษัท Ajax Chemmical, Australia.

2.2.2 โซเดียมโพแทสเซียมตาร์เตรท (Potassium sodium tartrate $K.NaC_4H_6O_6.4H_2O$) AR. Grade ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA, Italy.

2.2.3 ซิงค์อะซิเตท (Zinkacetat -2-hydrat, $C_4H_6O_4\ Zn \cdot 2H_2O$) AR. Grade ผลิตโดยบริษัท Riedel - Dehaen , Germany.

2.2.4 โพแทสเซียม เฟอร์โรไซยาไนด์ (Potassium Ferrocyanide , $K_4\ Fe\ (CN)_6$)

2.2.5 เมธีลีนบลู (Metylean Blue , $C_{16}\ H_{18}ClN_3$) AR. Grade ผลิตโดยบริษัท

Fluka , Switzerland.

2.2.6 กรดอะซีติก (glacial acetic acid , CH_3COOH) d = 1.05 g/ml AR. Grade ผลิตโดยบริษัท Ajax Chemicals ,Australia.

2.2.7 เอทานอล (Ethanol 95% ,C_2H_5OH) AR. Grade ผลิตโดยบริษัท Merck , Germany.

2.2.8 N - Butanol (n - butyl alcohol , $CH_3(CH_2)_2 \quad CH_2OH$) d = 0.81 g/ml AR. Grade ผลิตโดยบริษัท Ajax Chemical , Australia.

2.2.9 แอมโมเนีย (Ammonia solution , NH_3) AR. Grade ผลิตโดยบริษัท BDH , England.

2.2.10 ไอโซ - บิวทานอล (Iso - buthanol หรือ 2 - methylpropan - 1 -OL , $(CH_3)_2 \quad CH_2 \quad OH$) d = 1.395 - 1.396 g / ml AR. Grade ผลิตโดยบริษัท Ajax Chemicals Australia.

2.2.11 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid , HCl) d = 1.18 g/ml AR. Grade ผลิตโดยบริษัท Ajax Chemicals, Australia.

2.2.12 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium Hydroxcide , NaOH) AR. Grade ผลิตโดยบริษัท Ajax Chemicals, Australia.

2.2.13 กรดไนตริก (Nitric acid glacial, HNO_3) d =1.42 g / ml AR. Grade ผลิตโดยบริษัท Ajax Chemicals , Australia.

2.2.14 Ferric Standard solution for atomic absorption Spectrophometry ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA , Italy.

2.2.15 Cupric Standard solution for atomic absorption Spectrophotometry ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA ,Italy.

2.2.16 Zinc Standard solution for absorption spectrophotometry ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA , Italy.

2.2.17 Lead Standard solution for absorption spectrophotometry ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA ,Italy.

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

2.3.1 เก็บตัวอย่างกล้วยตาก จากแหล่งต่าง ๆ ใน จังหวัดพิษณุโลก

2.3.2 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของกล้วยตาก

2.3.3 วิเคราะห์หาสีเจือปน ได้แก่ ปริมาณสี น้ำตาล และโลหะหนัก

วันที่เก็บตัวอย่างกล้วยตาก : ตั้งแต่ กันยายน 2541 - มกราคม 2542 จำนวน 6 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 2.1

2.3.1 การเก็บตัวอย่างกล้วยตาก

ตารางที่ 2.1 แสดงแหล่งตัวอย่างกล้วยตาก

ตัวอย่าง	ชนิดกล้วยตาก	แหล่งที่เก็บ
1	แบบอบน้ำผึ้ง	คุณ สุภาภรณ์ อ. บางกระทุ่ม พิษณุโลก
2	แบบอบน้ำผึ้ง	"แม่โสม" อ. บางกระทุ่ม พิษณุโลก
3	แบบไม่อบน้ำผึ้ง	คุณ ลำดวน ในวัดใหญ่ อ.เมือง พิษณุโลก
4	แบบอบน้ำผึ้ง	น. จิตรผลไม้ อ.เมือง พิษณุโลก
5	แบบอบน้ำผึ้ง	คุณ แจ๊ว ในวัดใหญ่ อ. เมือง พิษณุโลก
6	แบบอบน้ำผึ้ง	คุณ สมใจ ตลาดบ้านคลอง อ. เมือง พิษณุโลก

2.3.2 วิเคราะห์หาปริมาณสี น้ำตาล และโลหะหนัก

การวิเคราะห์หาปริมาณสีในกล้วยตาก

ก. <u>การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์</u>

1) N - Buthanol : Ethanol 70 % , Ammonia Solution (conc) : น้ำกลั่น 100 : 20 : 1 : 44

2) ผสม N - Buthanol , Ethanol 70 % , Ammonia Solution และน้ำกลั่นในอัตราส่วนดังกล่าวข้างต้น เขย่าให้เข้ากันเป็น 2 ชั้น Separating Funnel ไขน้ำส่วนล่างออกใส่ Beaker ขนาด 50 ลบ.ซม. นำไปใส่ไว้ที่มุมของ Developing Tank แล้วเทน้ำยาที่เหลือใส่ใน Tank ปิดฝาให้สนิท (ที่ฝาทา grease บาง)

3) N –Butanol : Ethanol 95% : Ammonia Solution : น้ำกลั่นในอัตราส่วน 50 : 25 : 5 : 25 ผสมน้ำยาตามอัตราส่วนดังกล่าวให้เข้ากันเทใส่ Developing Thank

4) Iso - Butanal : Ethanal 95% : Ammonia Solution : น้ำกลั่นในอัตราส่วน 25 : 50 : 2 : 25 ผสมน้ำยาตามอัตราส่วนดังกล่าวให้เข้ากันเทใส่ Developing Thank

ข. <u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว ประมาณ 0.5 -1.0 กรัม เติมแอลกอฮอล์ 70% ประมาณ 50 ลบ.ซม. คนให้สีละลายออกจากตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วรินส่วนน้ำสีที่ใสเก็บไว้ ทำซ้ำเช่นนี้จนสีแยกจากตัวอย่างจนหมด นำไปกรองแล้วเติมน้ำประมาณ 50 ลบ.ซม. ตั้งบน Water bath จนแอลกอฮอล์ระเหยจนหมด

ค. <u>วิธีวิเคราะห์</u>

1) นำสีที่ได้มาระเหยจนกว่าแอลกอฮอล์จะระเหยไปหมด โดยระเหยน้ำสีบน Water bath จนแห้ง
2) จากนั้นหยดสี ลงบนกระดาษ whatman ด้วยหลอด capiraly
3) แช่กระดาษใน Developing solvents ที่เหมาะสมจนแยกสีจากกัน
4) นำกระดาษที่แยกสีออกจาก tank ผึ่งลมให้แห้ง
5) นำมาวิเคราะห์สีเจือปนต่อไป

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลจากเนื้อกล้วยตาก

ก. <u>วิธีการเตรียมสารละลายเคมีสำหรับสกัดน้ำตาล</u>

1) Mixed fehling ' s solution ประกอบด้วย Fehling ' solution A และ B Fehling 's solution A เตรียมโดยการละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 5H_2O$)จำนวน 69.278 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลบ.ซม

Fehling's solution B เตรียมโดยการละลาย Rochelle salt หรือ โซเดียมโพแทสเซียมตาร์เตรท ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$) จำนวน 346 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 100 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลบ.ซม.

2) สารละลายเมธิลีนบลูความเข้มข้นร้อยละ 1 เตรียมได้โดยการละลายเมธิลีนบลู 1 กรัม ในน้ำกลั่น 100 ลบ.ซม. Zinc ferrocyanide (clearing agent) ประกอบด้วยสารละลาย a และสารละลาย b

สารละลาย a เตรียมได้โดยละลายซิงค์อะซิเตท 21.9 กรัม และกรดอะซิติค (glacial) ปริมาตร 3 ลบ.ซม. ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 ลบ.ซม.

สารละลาย b เตรียมได้โดยละลายโพแทสเซียมเฟอโรไซยาไนด์ จำนวน 10.6 กรัมในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ครบ 100 ลบ.ซม.

ข. <u>วิธีการสกัดน้ำตาลออกจากเนื้อกล้วยตาก</u>

ชั่งตัวอย่างกล้วยตาก 10 กรัม ปั่นในน้ำกลั่น 100 ลบ.ซม. เทสารละลายทั้งหมดใส่ใน volumetric flask ขนาด 250 ลบ.ซม. เติมสารละลาย clearing agent อย่างละ 5 ลบ.ซม. (สารละลาย a และ b) แล้วปรับปริมาตร ให้ครบ 250 ลบ.ซม. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 25 นาที กรองโดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.1 จากนั้นนำสารละลายที่ได้จำนวน 10 ลบ.ซม. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 ลบ.ซม. นำสารละลายที่ได้ใส่ Beaker ขนาด 500 ลบ.ซม. แล้วนำไปเก็บไว้ในตู้แช่แข็ง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลต่อไป

ค. <u>การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ D_1 (Reducing Sugar)</u>

ปิเปตสารละลาย Mixed Fehling's solution A และ B อย่างละ 5 ลบ.ซม. ลงใน Erlenmayer flasks แล้วนำมาไทเทรต ขณะร้อนกับสารละลายน้ำตาลที่ได้ ทำการไทเทรตให้เสร็จอย่างรวดเร็วภายใน 2 นาที โดยใช้สารละลายเมธิลีนบลู ความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็น indicator จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการไทเทรต ซึ่งจะต้องอยู่ระหว่าง 5 - 15 ลบ.ซม. นำไปคำนวณหาปริมาณ reducing sugar (%) หรือ D_1 (%) จากตารางภาคผนวก ข.

ถ้าหากตัวอย่างอาหารมีทั้งน้ำตาล reducing และซูโครส จะหาปริมาณซูโครสได้โดยการ invert สารละลายตัวอย่างจำนวนหนึ่ง (เตรียมสารละลายในการหาค่า D_1 ให้มากเกินพอ) ใช้สารละลายดังกล่าวในการหาปริมาณซูโครสได้ตามวิธีการดังนี้ คือ นำสารละลาย

ตัวอย่าง 10 ลบ.ซม. ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ลบ.ซม. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 6.34 นอร์มัล 10 ลบ.ซม. หรือใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 -2 ลบ.ซม. นำไปอุ่นใน water - bath ที่ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 10 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วแล้วปรับ pH ของส่วนผสมทั้งหมดให้เป็นกลางด้วยด่าง (ควรใช้ด่างเข้มข้น 5 นอร์มัล) ปรับปริมาตรให้ครบ 100 ลบ.ซม. นำไปไทเทรตขณะร้อนด้วย Mixed fehling ' s solution เช่นเดียวกับการหาปริมาณ reducing sugar คำนวณค่า D_2 (%) ค่า D_2 จะเป็นค่าของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

% ซูโครส = $0.95\ (D_2 - D_1)$

% ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด = % D_1 + % ซูโครส

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกล้วยตาก

ก. <u>การเตรียมตัวอย่างกล้วยตาก</u>

การเตรียมตัวอย่างกล้วยตาก สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณ Fe, Cu, Zn, Pb มี 2 แบบดังนี้

1) การย่อยแบบแห้ง

นำตัวอย่างกล้วยที่เก็บมาวิเคราะห์จากแหล่งต่าง ๆ ทั้ง 6 ตัวอย่าง ชั่งตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 กรัม ใน Crucible แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ทั้ง 6 ตัวอย่าง จนเป็นเถ้า นำเถ้านั้นใส่ใน Beaker ขนาด 100 ml เติมกรดไนตริกเข้มข้น 10 ลบ.ซม. นำไปตั้งบน Hot phate ให้พอร้อน ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมากรอง จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 50 ลบ.ซม. ด้วยกรดไนตริก 1 % v / v

2) การย่อยแบบเปียก (Wet digest)

นำตัวอย่างกล้วยแต่ละชนิด ชั่ง 1 กรัม ใน Beaker ขนาด 100 ml เติมกรดไนตริก เข้มข้น 10 ลบ.ซม. นำไปตั้งบน Hot phate ให้พอร้อนคน ทุก ๆ 5 นาที ปล่อย ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมากรอง จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 50 ลบ.ซม.ด้วยกรดไนตริก 1 % v / v

การเตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะหนัก

ก. การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe)

1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็ก

เนื่องจากสารละลายมาตรฐาน Ferric acetate ที่ใช้มีความเข้มข้น 1000 ppm ต้องนำมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 10 ppm โดยปิเปตสารละลายมาตรฐาน Ferric acetate 1000 ppm มา 1.00 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml โดยเติมน้ำกลั่นกำจัดไอออนให้ถึงขีดปริมาตรจะได้สารละลายเข้มข้น 10 ppm

2) การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับเหล็ก

เตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็กเข้มข้น 0.50 , 1.00 , 1.50 และ 2.00 ppm โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็กเข้มข้น 10 ppm มา 0.50 1.00 1.50 และ 2.00 ml ตามลำดับ ใส่ลงใน Volumetric flask ขนาด 10 ml แล้วเติมน้ำกลั่นกำจัดไอออน จนถึงปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปวัด Absorbance โดยใช้เครื่อง Atomic Absorbtion Spectroscopy

ข. การวิเคราะห์ปริมาณทองแดง (Cu)

1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดง

นำสารละลายมาตรฐาน Cupric nitrate ความเข้มข้น 1000 ppm มาเจือจางให้มีความเข้มข้น 10 ppm เช่นเดียวกับในกรณีของการวิเคราะห์เหล็ก

2) เตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับทองแดง

เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 0.10 , 0.30 , 0.50 , 0.70 และ 1.00 ml ตามลำดับ ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 ml เติมน้ำกลั่นจำกัดไอออนจนถึงขีดวัดปริมาตรเขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่า Absorbance โดยใช้เครื่อง Atomic Absorbtion Spectroscopy

ค. การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี (Zn)

1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn)

นำสารละลายมาตรฐาน Zinc acetate ความเข้มข้น 1000 ppm มาเจือจางให้มีความเข้มข้น 10 ppm เช่นเดียวกับกรณีวิเคราะห์เหล็ก

2) การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับสังกะสี

เตรียมสารละลายสังกะสีมาตรฐานเข้มข้น 0.25 , 0.50 , 0.75 และ 1.00 ppm โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 10 ppm มา 0.25 , 0.50 , 0.75 และ 1.00 ml ตามลำดับ ใส่ใน Volometric flask ขนาด 10 ml แล้วเติมน้ำกลั่นกำจัดไอออนจนถึงขีดปริมาตร เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปวัด absorbance โดยใช้เครื่อง Atomic Absorbtion Spectroscopy

ง. การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว (Pb)

1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

นำสารละลายมาตรฐาน Lead nitrate ที่มีความเข้มข้น 1000 ppm มาเจือจางให้มีความเข้มข้น 10 ppm เช่นเดียวกับกรณีการวิเคราะห์เหล็ก

2) การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับตะกั่ว

เตรียมสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 0.10 , 0.30 , 0.50 และ 0.70 ppm ตามลำดับ โดยปิเปตสารละลายมาตรฐาน Lead nitrate 10 ppm มา 0.10 0.30 0.50 และ 0.70 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตร 10 ml แล้วเติมน้ำกลั่นกำจัดไอออนจนถึงขีดปริมาตร เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปวัด Absorbance โดยใช้เครื่อง Atomic Absorbtion Spectroscopy

บทที่ 3
ผลการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของกล้วยตาก

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ลักษณะทางกายภาพ ที่อุณหภูมิห้อง					
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5	ตัวอย่างที่ 6
0	สีน้ำตาลอ่อน ลักษณะเนื้อนุ่ม	สีน้ำตาลอ่อน ลักษณะเนื้อนุ่ม	สีน้ำตาลอ่อน ลักษณะค่อนข้างแข็ง	สีน้ำตาลเข้ม ลักษณะเนื้อนุ่ม	สีน้ำตาลอ่อน ลักษณะค่อนข้างแข็ง	สีน้ำตาลเข้ม ลักษณะเนื้อนุ่ม
1						
2	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
3	ไม่เปลี่ยนปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
5	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
7	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
9	เริ่มมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ลักษณะอื่น ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	เริ่มมีสีน้ำตาลไหม้ เกิดขึ้น ลักษณะอื่น ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง
12	มีสีน้ำตาลขึ้นเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	มีสีน้ำตาลไหม้อย่างอื่นไม่เปลี่ยนแปลง
18	มีสีน้ำตาลเข้มกว่าสัปดาห์ที่ 12	มีสีน้ำตาลเข้มกว่าสัปดาห์ที่ 12	มีสีน้ำตาลเข้มกว่าสัปดาห์ที่ 12	มีสีน้ำตาลเข้มกว่าสัปดาห์ที่ 12	มีสีน้ำตาลเข้มกว่าสัปดาห์ที่ 12	มีสีน้ำตาลเข้มมาก

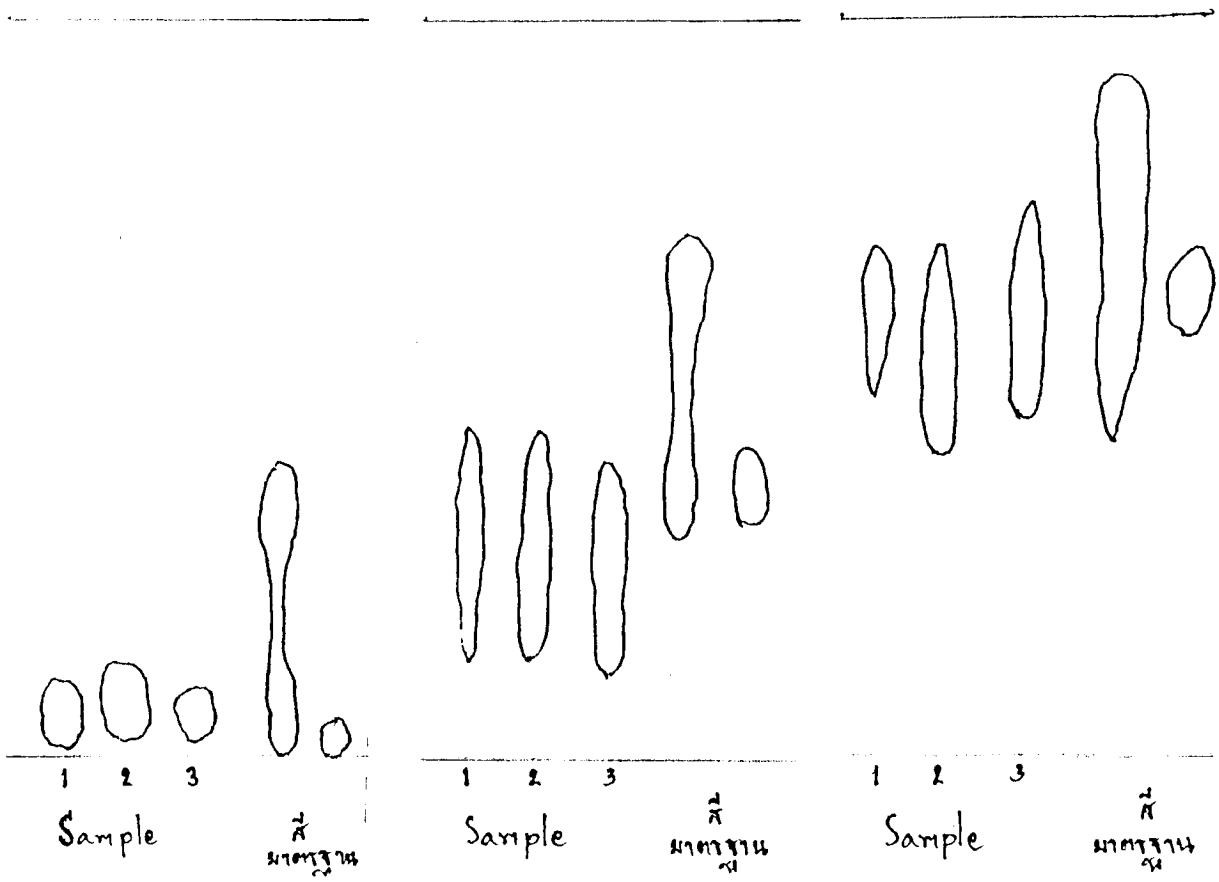
3.2 การวิเคราะห์สีเจือปน

ในการวิเคราะห์หาสีเจือปนในอาหาร สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีต่างก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป จากการวิเคราะห์ครั้งนี้จะใช้วิธี Paper Chromatography โดยใช้

ตัวอย่าง 6 ตัวอย่าง ใช้ solvents เป็นตัวทำละลาย เมื่อ spot สีแล้วจะได้สีที่เจือปน ซึ่งเป็นสีของกล้วย หรืออาจจะเป็นสีของน้ำตาลที่เคลือบนำ ซึ่งได้นำสีผสมอาหารมาตรฐานมา spot ไว้ข้าง ๆ

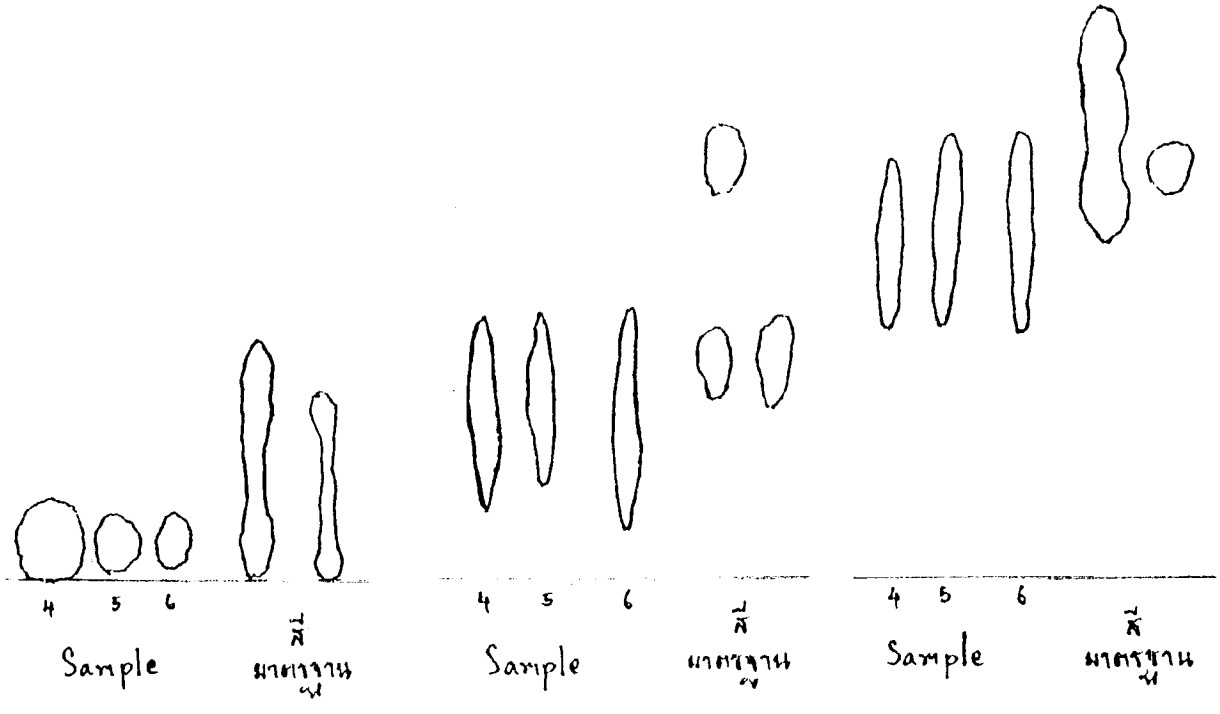
ผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณสีของกล้วยตาก เมื่อนำมา spot ลักษณะของสี เปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน เมื่อใช้ ตัวอย่าง ที่ 1, 2 และ 3 ในตัวทำละลาย (Solvents) ชนิดที่ 1 , 2 และ 3

solvents ชนิดที่ 1 solvents ชนิดที่ 2 solvents ชนิดที่ 3



ผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณสีของกล้วยตาก เมื่อนำมา spot ลักษณะของสีเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน เมื่อใช้ ตัวอย่าง ที่ 4 ,5 และ 6 ใน ตัวทำละลาย (solvents) ชนิดที่ 1 , 2 และ 3

solvents ชนิดที่ 1 solvents ชนิดที่ 2 solvents ชนิดที่ 3



3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล Reducing Sugar และ Invert Sugar (กุลขา : 2537)

การทดลองนี้ได้ทำการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายที่สกัดจากเนื้อกล้วย 6 ตัวอย่าง โดยสารละลายสกัดที่ใช้คือ Zinc ferrocyyanide (clearing agent) จะประกอบด้วยสารละลาย a และ สารละลาย b

สารละลาย a เตรียมได้โดยละลาย ซิงค์อะซิเตรท 21.9 กรัม และกรดอะซิติค (glacial) ปริมาณ 3 ลบ.ซม. ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 100 ลบ.ซม.

สารละลาย b เตรียมได้โดยละลายโพแทสเซียมเฟอรโรไซยาไนด์ จำนวน 10.6 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 ลบ.ซม.

3.3.1 ผลการสกัดน้ำตาล (Reducing Sugar and Invert Sugar)

ในการสกัดน้ำตาลจากเนื้อกล้วยทั้ง 6 ตัวอย่าง พบว่าสารละลาย a และ สารละลาย b เมื่อผสมกับเนื้อกล้วย แล้วนำมากรอง จะมีลักษณะ มีสีเล็กน้อย ออกใส เพราะกล้วยแต่ละตัวอย่าง จะมีสีของกล้วยเข้มกว่ากัน หรือกล้วยอาจจะเก็บไว้นานเกิน สารละลายที่สกัดได้จะมีสีใส มีสีเหลืองจาง และมีกลิ่นหอมของน้ำตาล ในกล้วยตาก

ผลการทดลอง

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการไทเทรตหาน้ำตาล (Reducing Sugar)

ตัวอย่าง	ปริมาตรที่ใช้ในการทำไทเทรชัน (ml)			ค่าเฉลี่ย	ปริมาณน้ำตาล
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(ml)	(Reducing)
1	23.25	22.20	22.90	22.78	222.2
2	20.50	20.35	20.50	20.45	245.5
3	25.10	24.40	24.60	24.70	240.8
4	24.30	25.90	25.20	25.15	240.8
5	30.20	30.95	29.90	29.60	177.6
6	26.50	27.90	27.70	27.36	190.4

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการไทเทรตหาน้ำตาล (Invert Sugar)

ตัวอย่าง	ปริมาตรที่ใช้ในการทำการไทเทรชัน (ml)			ค่าเฉลี่ย	ปริมาณน้ำตาล
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(ml)	Invert (ml)
1	37.90	36.00	36.90	36.93	140.2
2	28.50	26.25	26.55	27.10	190.4
3	27.90	29.10	28.20	28.40	183.7
4	27.10	28.40	26.85	27.45	190.4
5	30.00	29.90	29.80	29.90	171.7
6	26.20	25.50	26.50	26.06	197.4

3.3.2 การคำนวณหาปริมาณน้ำตาล (Reducing Sugar)

หาได้จากการไทเทรชันของน้ำตาล Reducing Sugar ซึ่งผลการทดลองอยู่ในช่วง 15 -50 ลบ.ซม. แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณ reducing sugar (%) จากตารางภาคผนวก ข.

3.3.3 การคำนวณหาปริมาณน้ำตาล (Invert Sugar)

หาได้จากการคำนวณไทเทรชันต่อจากค่า Reducing Sugar ปริมาณ Invert Sugar จะให้ค่าเฉลี่ยสูงกว่า Reducing Sugar ไม่มากนัก จะอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน จากค่าเฉลี่ยของ (D_2,D_1) จะต่างกันประมาณ 4.24 mg/100 ml หาได้จากผลการไทเทรตจากปริมาณน้ำตาล Reducing Sugar และปริมาณน้ำตาล Invert Sugar

3.4 การวัด pH ของกล้วยตาก

ได้นำตัวอย่างของกล้วยตากมาหาค่า pH (เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง) เปรียบเทียบกับเมื่อเก็บไว้ในตู้แช่แข็งพบว่า ค่า pH ของกล้วยที่อุณหภูมิห้อง จะมีค่าค่อนข้างเป็นกรด เพราะเมื่อดูจากลักษณะทางกายภาพจะเห็นว่า ผิวกล้วยจะมีสีคล้ำลงเมื่อทิ้งไว้นาน ๆ การเกิดลักษณะนี้เรียกว่า (Browning reactions) เป็นการเกิดปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 3.4 แสดงค่า pH ของกล้วย (ที่อุณหภูมิห้อง)

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ค่า pH (ที่อุณหภูมิห้อง)					
	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4	sample 5	sample 6
1	6.28	6.30	6.37	6.42	6.45	6.34
7	4.82	4.98	5.20	4.96	5.09	5.18
18	4.63	4.68	4.58	4.67	4.79	4.84

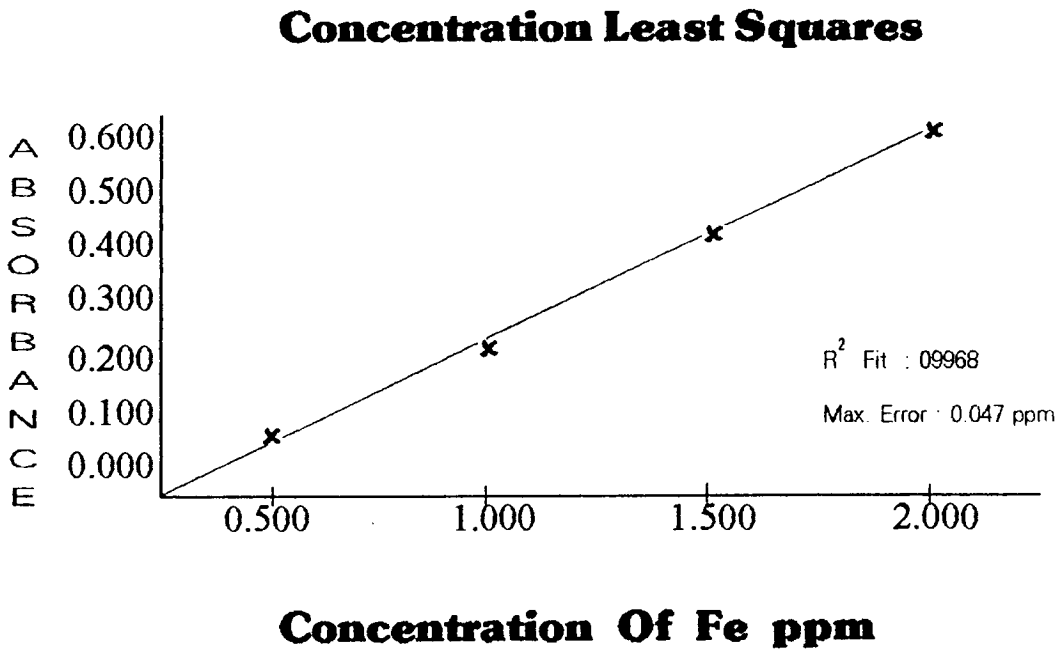
3.5 การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก, ทองแดง, สังกะสีและตะกั่วในกล้วยตาก โดยวิธี Atomic Absorption Spectroscopy

การทำกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) สำหรับการวิเคราะห์ เหล็ก, ทองแดง สังกะสี, ตะกั่ว

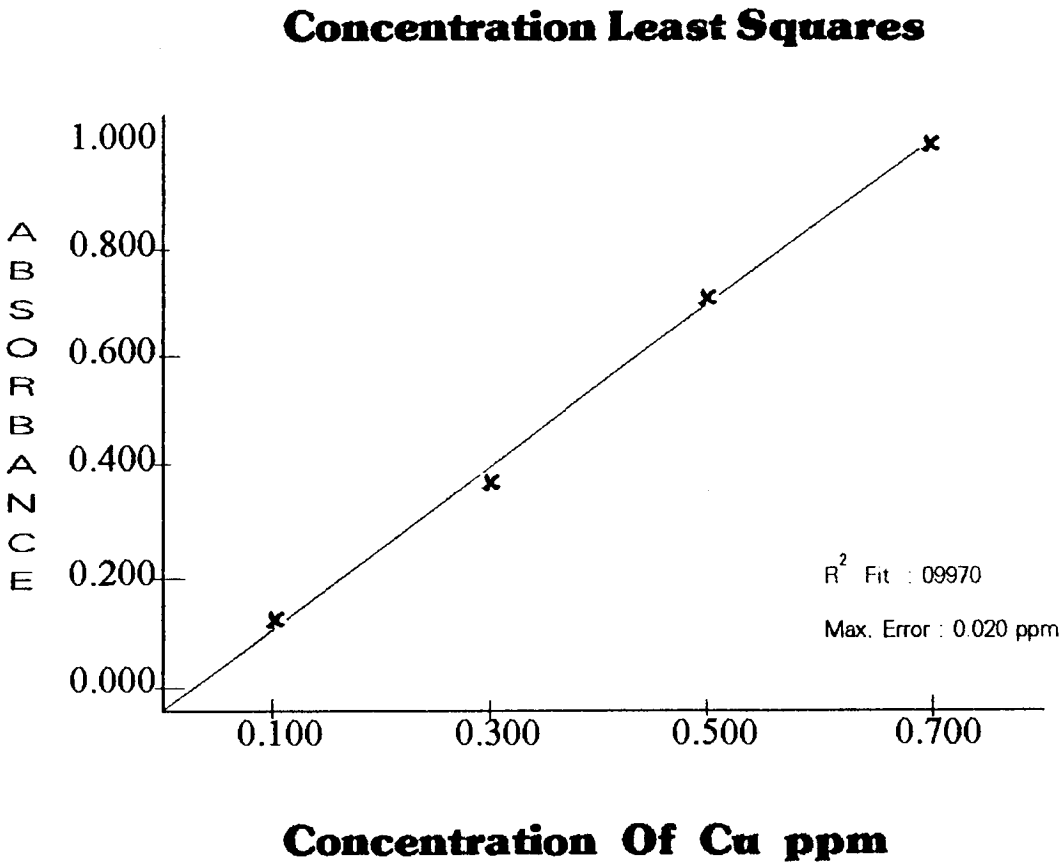
ตารางที่ 3.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก, ทองแดง, สังกะสี, ตะกั่ว

Fe		Cu		Zn		Pb	
C (ppm)	Abs	C (ppm)	Abs	C (ppm)	Abs	C (ppm)	Abs
0.50	0.160	0.10	0.170	0.25	0.065	0.10	0.017
1.00	0.248	0.30	0.395	0.50	0.159	0.30	0.023
1.50	0.423	0.50	0.763	0.75	0.221	0.50	0.030
2.00	0.518	0.70	1.028	1.00	0.311	0.70	0.032

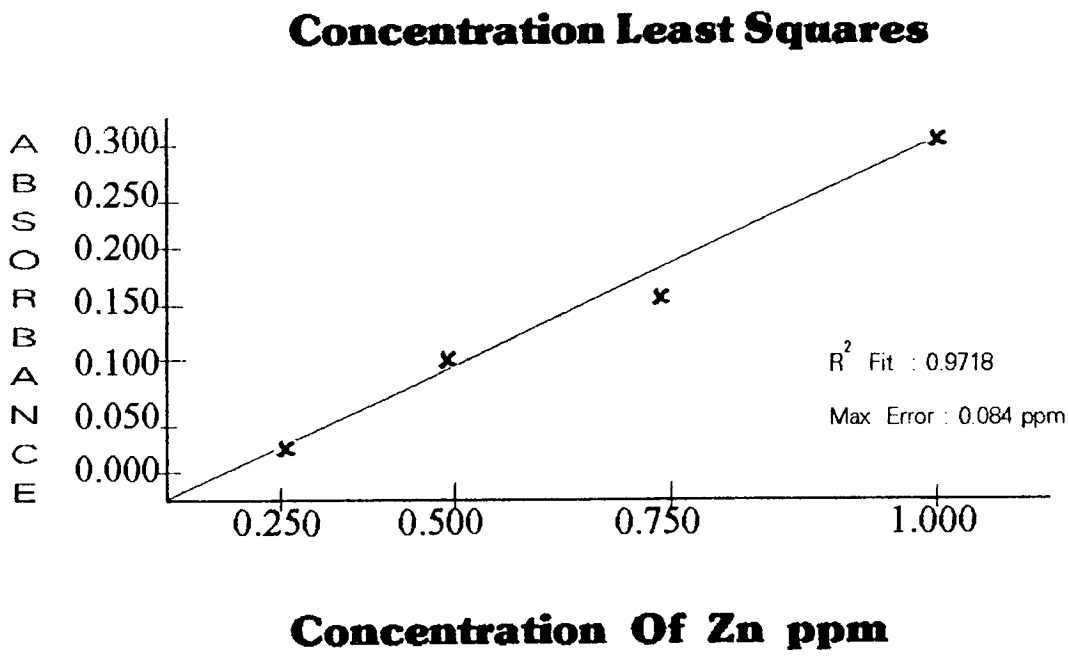
นำข้อมูลจากตารางที่ 3.5 มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) กับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ของแต่ละธาตุจะได้กราฟเป็นเส้นตรง ซึ่งผ่านจุดศูนย์ดังแสดงในรูป 3.4 สำหรับ Fe, Cu, Zn และ Pb ตามลำดับ



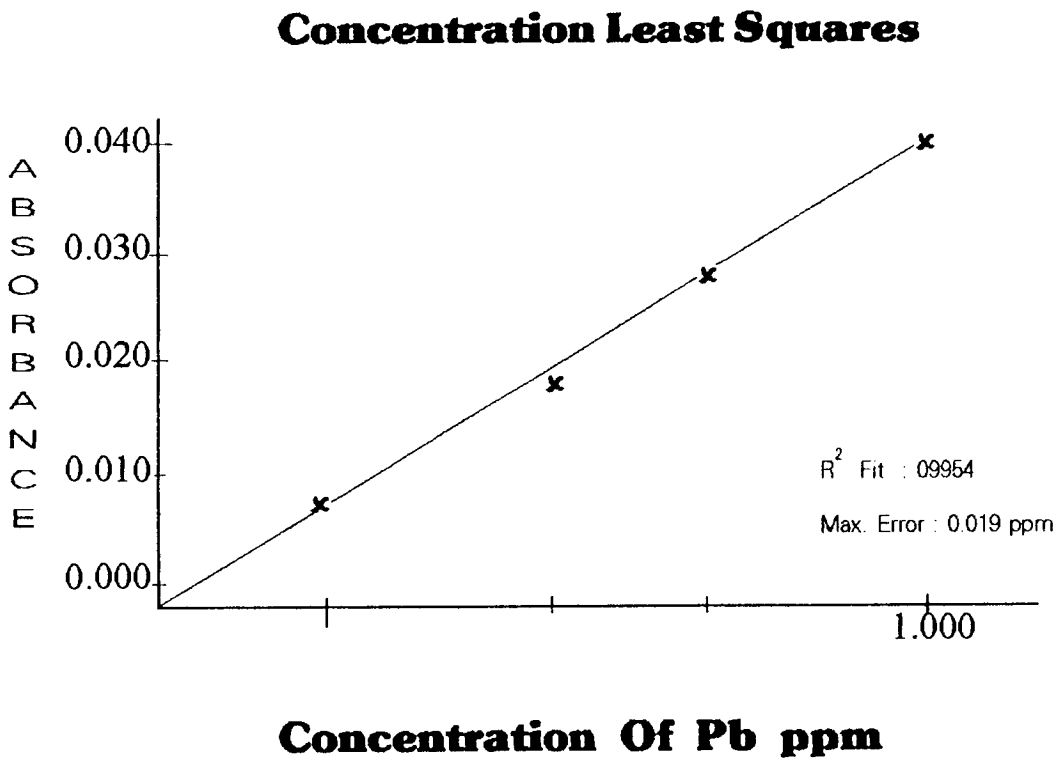
รูปที่ 3.1 แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับเหล็ก



รูปที่ 3.2 แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับทองแดง



รูปที่ 3.3 แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับสังกะสี



รูปที่ 3.4 แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับตะกั่ว

ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fe ในกล้วยตากตัวอย่าง แบบ Dry digest

ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง	น้ำหนักของตัวอย่าง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)	ปริมาณเหล็กในตัวอย่าง (mg/100g)
1	1.0028	0.022	6.962
2	1.0016	0.017	5.379
3	1.0009	0.021	6.645
4	1.0010	0.019	6.012
5	1.0021	0.017	5.379
6	1.0017	0.020	6.329
ช่วงที่พบ			5.379 - 6.962

ตารางที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fe ในกล้วยตากตัวอย่าง แบบ Wet digest

ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง	น้ำหนักของตัวอย่าง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)	ปริมาณเหล็กในตัวอย่าง (mg/100g)
1	1.0008	0.056	1.772
2	1.0016	0.016	5.063
3	1.0009	0.016	5.063
4	1.0010	0.020	6.329
5	1.0021	0.010	3.164
6	1.0017	0.022	6.962
ช่วงที่พบ			1.772 - 6.926

ตารางที่ 3.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Cu ในกล้วยตากตัวอย่าง แบบ Dry digest

ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง	น้ำหนักของตัวอย่าง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)	ปริมาณทองแดงในตัวอย่าง (mg/100g)
1	1.0051	0.019	1.175
2	1.0028	0.020	1.236
3	1.0041	0.025	1.546
4	1.0048	0.017	1.051
5	1.0032	0.022	1.360
6	1.0025	0.020	1.236
ช่วงที่พบ			1.051 - 1.546

ตารางที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Cu ในกล้วยตัวอย่าง แบบ Wet digest

ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง	น้ำหนักของตัวอย่าง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)	ปริมาณทองแดงในตัวอย่าง (mg/100g)
1	1.037	0.010	1.175
2	1.021	0.012	1.360
3	1.017	0.017	1.051
4	1.044	0.011	1.113
5	1.056	0.009	1.793
6	1.029	0.015	1.607
ช่วงที่พบ			1.051 - 1.607

ตารางที่ 3.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Zn ในกล้วยตากตัวอย่าง แบบ Dry digest

ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง	น้ำหนักของตัวอย่าง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)	ปริมาณสังกะสีในตัวอย่าง (mg/100g)
1	1.0030	0.016	4.456
2	1.0041	0.025	6.963
3	1.0029	0.027	7.520
4	1.0019	0.028	7.799
5	1.0052	0.018	5.013
6	1.0007	0.020	5.571
ช่วงที่พบ			4.456 - 7.799

ตารางที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ Zn ในกล้วยตากตัวอย่าง แบบ Wet digest

ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง	น้ำหนักของตัวอย่าง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)	ปริมาณสังกะสีในตัวอย่าง (mg/100g)
1	1.0032	0.050	1.392
2	1.0017	0.042	1.699
3	1.0038	0.039	1.086
4	1.0031	0.047	1.409
5	1.0024	0.010	0.278
6	1.0014	0.026	0.724
ช่วงที่พบ			0.278 - 1.699

ตารางที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Pb กล้วยตากตัวอย่าง แบบ Dry digest

ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง	น้ำหนักของตัวอย่าง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)	ปริมาณตะกั่วในตัวอย่าง (mg/100g)
1	1.0017	0.031	7.848
2	1.0019	0.023	5.822
3	1.0023	0.027	6.835
4	1.0016	0.022	5.569
5	1.0027	0.034	8.607
6	1.0018	0.032	8.101
ช่วงที่พบ			5.822 - 8.060

ตารางที่ 3.13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Pb ในกล้วยตากตัวอย่าง แบบ Wet digest

ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง	น้ำหนักของตัวอย่าง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)	ปริมาณตะกั่วในตัวอย่าง (mg/100g)
1	1.0019	0.021	5.316
2	1.0027	0.020	5.063
3	1.0021	0.022	5.569
4	1.0034	0.026	6.582
5	1.0019	0.027	6.835
6	1.0022	0.030	7.594
ช่วงที่พบ			5.063 - 7.594

การคำนวณหาปริมาณโลหะจากกราฟมาตรฐาน
การคำนวณการหาความชันของกราฟ

$$\text{Slope} = \left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right)$$

จากสมการ $y = mx + c$

แทนค่าในสูตรเพื่อหาค่าปริมาณตะกั่วในสารละลาย

กำหนดให้

y = ค่า absorbance

m = ค่า ความชัน (slope)

x = ค่าปริมาณตะกั่วในสารละลาย

c = จุดตัดหรืออาจมีค่าเป็นศูนย์

การคำนวณไว้ภาคผนวก ก.

บทที่ 4
วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

4.1 ทั่วไป

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพ และวิเคราะห์สารเจือปนในกล้วยตาก โดย หาปริมาณสีเจือปน โดยวิธีทาง Paper Chromatography หาปริมาณน้ำตาล Reducing Sugar และ Invert Sugar โดยวิธี ไทเทรชัน หาค่า pH โดยใช้เครื่อง pH meter และวิเคราะห์หาปริมาณ เหล็ก, ทองแดง, สังกะสี, ตะกั่ว ในกล้วยตากตัวอย่าง โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอฟชันสเปกโตรโฟโตเมตรี โดยวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง ระหว่างเดือนกันยายน 2541 - มกราคม 2542

4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.2.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ

เมื่อนำตัวอย่างกล้วยตากมาศึกษา พบว่า ลักษณะโดยรวมของกล้วยตากทั้ง 6 ตัวอย่าง จะเกิดการเปลี่ยนสีเมื่อระยะเวลาผ่านไป เช่น กล้วยตากชนิดที่อบน้ำผึ้ง จะมีการเปลี่ยนแปลงสีเข้มขึ้นกว่าชนิดที่ไม่อบน้ำผึ้ง เมื่อแกะถุงตัวอย่างกล้วยตากทั้ง 6 ตัวอย่าง พบว่าไม่มีสิ่งใดเจือปน

4.2.2 การวิเคราะห์สีเจือปน

ในการวิเคราะห์สีเจือปนโดยวิธี Paper Chromatrography ทำได้ดังนี้ คือ ชั่งตัวอย่างแล้วนำมากรองแยกสีออก นำสีที่ได้มา spot หาปริมาณสี แล้วทำสีมาตรฐานเปรียบเทียบ จากการ spot พบว่า ตัวอย่างกล้วยที่มีสีน้ำตาลเข้ม คือ จะมีปริมาณสีมากกว่ากล้วยที่มีสีน้ำตาลอ่อน พบว่าเมื่อวิเคราะห์จากค่า R_f แล้ว ปรากฏว่าไม่มีสีผสมอาหารเจือปนอยู่ในกล้วยตาก และเปรียบเทียบจากสีของกล้วยตาก กับสีผสมอาหารมาตรฐาน จะมีปริมาณสีที่ต่างกัน

4.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล พบว่า ปริมาณน้ำตาล Reducing ในเนื้อกล้วย จะมีปริมาณค่อนข้างมาก เนื่องจากมีการสร้างน้ำตาลในเนื้อกล้วยนั่นเอง และน้ำตาลที่มีปริมาณมากอาจจะมาจากการอบด้วยน้ำผึ้ง หรือการอบด้วยน้ำเชื่อม หรือเกิดจากปฏิกิริยา (Browning reactions) (ดูหัวข้อ 1.8.3)

4.2.4 การวัดค่า pH

ค่า pH ของสารระลายกล้วยตากตัวอย่างที่เก็บมาได้จะปรากฏว่าเป็นกรด เมื่อนำตัวอย่างที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เก็บไว้ในตู้แช่แข็ง ตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องจะมีค่า pH ที่ต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บไว้ในตู้แช่แข็ง เพราะในตู้แช่แข็งจะช่วยหยุดยั้งการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ ส่วนตัวอย่างที่อยู่อุณหภูมิห้องจะเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ จึงทำให้มีกรดในผลไม้ ค่า pH ของตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องจึงมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่อยู่ในตู้แช่แข็ง

4.2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ เช่น เหล็ก, ทองแดง, สังกะสีและตะกั่ว ในกล้วยโดยเตรียมตัวอย่าง 2 วิธี คือ วิธีการทำให้เป็นเถ้า (Dry digest) และวิธีย่อยสลายแบบเปียก (Wet digest) พบว่ามีปริมาณโลหะ เหล็ก, ทองแดง, สังกะสีและตะกั่ว อยู่ในช่วง 1.772 - 6.962 mg/100g, 1.051 - 1.607 mg/100g, 0.278 - 7.799 mg/100g, 5.063 - 8.607 mg/100g ตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบกับกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของโลหะในอาหาร จะมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานและสามารถกล่าวได้ว่า กล้วยตากที่มีขายทั่วไปปลอดภัยจากสารพวกโลหะหนัก

4.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อควรระวังในการวิเคราะห์สีเจือปน, การไทเทรชัน, การวัด pH และการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ที่มีปริมาตรน้อย ๆ

1. การวิเคราะห์ปริมาณสีเจือปน ต้องคำนึงถึงการเตรียมตัวทำละลาย (Solvents) ว่าตัวทำละลาย (Solvents) ชนิดไหนเป็นตัวพาสารได้ดี และลักษณะการ Spot สีต้อง Spot เป็นจุดเล็ก ๆ เพราะการที่ Spot จุดใหญ่จะทำให้เกิดเนื้อที่กว้าง

2. การทำไทเทรชันวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล ถ้าปริมาณน้ำตาลในการวิเคราะห์เข้มข้นมากเกินไปจะต้องเจือจาง (Dilute) และคำนวณย้อนกลับ
3. ในการใช้เครื่อง pH meter เมื่อทำการวัดความเป็นกรด, เบส, กลาง ควรจะ Set pH ก่อนทุกครั้งเพราะเครื่องจะได้ไม่เกิดการผิดพลาด ในการเตรียมสารละลายสำหรับวัดค่า pH ควรเตรียมเป็นสารละลายที่เป็นของเหลว ถ้าเป็นของแข็งควรปั่นให้เหลวหรือละเอียดเพื่อให้ electhode อ่านค่าได้ถูกต้อง

4. ในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่มีปริมาณน้อย ๆ ในกล้วยตัวอย่าง มีข้อที่ควรระวังคือ ปัญหาที่เกิดจากการปนเปื้อน (contamination)
5. ในการใช้เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ทุกชิ้น ควรทำความสะอาดก่อนทุกครั้งที่ทำการทดลอง โดยเฉพาะเครื่องมือที่มีการใช้ร่วมกันกับผู้อื่น ในส่วนที่เป็นภาชนะเครื่องแก้ว ภาชนะที่ใช้สัมผัสสารโดยตรงต้องล้างให้สะอาดก่อน เช่น ล้างด้วยกรดโครมิก, กรดไนตริก และตามด้วยน้ำกลั่น ในการวิเคราะห์ทุกครั้งผู้ทดลองจะต้องระวังการเกิดการปนเปื้อนจากผู้ทดลอง ดังนั้นควรทำความสะอาด มือ และร่างกายก่อนทำการทดลอง
6. ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะควรใช้น้ำเย็นที่เป็น deionized water ซึ่งผ่านกระบวนการ ion exchange มาแล้ว ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งเมื่อทำการวิเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

1. กุลยา จันทร์อรุณ, **"กรรมวิธีในการผลิตแป้งกล้วยผงและอาหารผงสำหรับสัตว์ส่วนต่าง ๆ ของกล้วย"**, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี , สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม, พิษณุโลก, 2537.
2. เฉลิมพร ทองพูน " **การหาปริมาณ Fe, Pb, Zn, Cd, Cu, Mn ในน้ำตัวอย่างโดยวิธี Atomic Absorption Spectroscopy** " ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2534.
3. นวลศรี รักอริยะธรรม "**เคมีในชีวิตประจำวัน**", ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2538.
4. ประวิตร ชูศิลป์ **"ปฏิบัติการอินทรีย์เคมี"** , ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม, พิษณุโลก, 2528.
5. รัชนี ตัณฑะพานิชกุล **"เคมีอาหาร"** , ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2534
6. ศิวาพร ศิวเวชช "**วัตถุเจือปนอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร**", ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2535.
7. สุรีย์ นานาสมบัติ "**การเสียของกล้วยตากและการเก็บรักษาในสภาพควบคุมความชื้นสัมพัทธ์**" วิทยาศาสตร์การอาหาร , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ 2534.
8. แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. **Principles and techniques of Insturmental** Analysis. พิมพ์ครั้งที่ 1, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2535.
9. ธวัชชัย ศรีวิบูรณ์ **"เคมีวิเคราะห์ 2"** ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
10. เบจมาศ ศิลาย้อย ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2534
11. สวัสดิ์ วีรเดชะ B.S. Agr, Cerd. Foot & Biologicol Chem, 2534

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

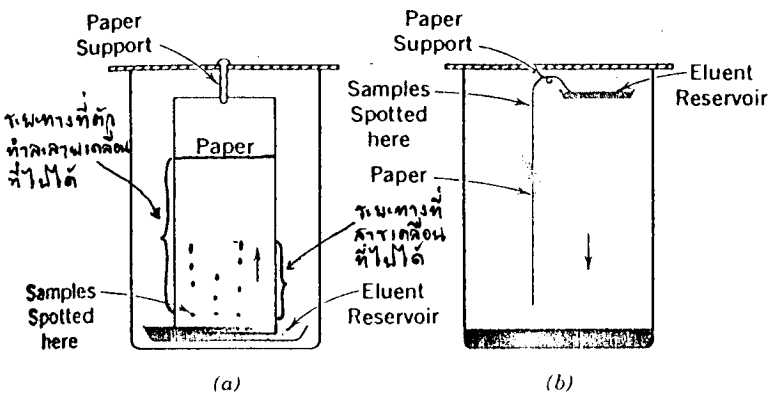
1. การคำนวณหาค่า Retardation factor

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{Retardation} = \frac{\text{ระยะทางที่สารเคลื่อนที่ไปได้}}{\text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ไป}}$$

$$\text{ค่า } R_f = \frac{5.4}{10}$$

$$\text{ค่า } R_f = 0.54$$



a) แสดงวิธีการดีเวลลอปแบบขึ้น (ascending development)

b) แสดงวิธีการดีเวลลอปแบบลง (descending development)

2. การคำนวณหาค่าปริมาณน้ำตาล Reducing และ Invert Sugar

2.1 การคำนวณหาปริมาณน้ำตาล (Reducing Sugar)

ให้นำค่าเฉลี่ยที่ทำการไทเทรชัน ที่ได้ไปเทียบกับตารางผนวกที่ 1 และตารางผนวกที่ 2 (ในภาคผนวก ข.)

2.2 การคำนวณหาปริมาณน้ำตาล (Invert Sugar)

จากตัวอย่างกล้วย 10 กรัม มีสารละลายน้ำตาล 100 ml

ในการคำนวณจะได้ว่า ในตัวอย่าง10 กรัม มีปริมาณน้ำตาล 100 ml

เมื่อเปรียบเทียบจากตารางภาคผนวก ข. เท่ากับ 36.93 ml

จะได้ปริมาณน้ำตาล = 140.2 mg/100g

<u>สรุปได้ว่า</u>

จากตัวอย่างกล้วย 10 กรัม จะได้ปริมาณน้ำตาล = 140.2 mg/100g

ถ้า ตัวอย่างกล้วย 1 กรัม จะได้ปริมาณน้ำตาล $= \frac{140.2 \times 2}{10}$ mg/100g

$= 14.02$ mg/100g

3 วิธีการคำนวณหาปริมาณโลหะ

ตัวอย่าง เช่น การหาปริมาณ Fe ในกล้วยตากตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)	ปริมาณเหล็กในตัวอย่าง (mg/100g)
1	1.0010	0.026	2.603
2	1.0009	0.035	3.542
3	1.0006	0.029	2.910
4	1.0012	0.018	1.809
5	1.0008	0.040	4.016
6	1.0014	0.031	3.127
ช่วงที่พบ			1.809 - 4.016

คำนวณหาค่าปริมาณเหล็กในตัวอย่าง จะได้จากการคำนวณหาความชัน (Slope) ของกราฟ

$$\text{Slope} = \left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - x_1}\right)$$

จากสมการ

$$\boxed{y = mx + c}$$

โดยให้

y = ค่า Absorbance

m = ค่าความชัน (Slope)

x = ค่าปริมาณตะกั่วในสารตัวอย่าง

c = จุดตัดหรืออาจมีค่าเป็นศูนย์

ตัวอย่าง

$$\text{Slope} = \left(\frac{0.227 - 0}{0.750 - 0} \right)$$

ค่า Slope = 0.302

นำไปแทนค่าจาก สมการ

$$\boxed{y = mx + c}$$

$$0.10 = 0.302X$$

$$= \frac{0.0010 \times 100}{0.3020} \quad \text{mg / 100 g}$$

$$= 0.33 \quad \text{mg / 100 g}$$

เพราะฉนั้น ปริมาณเหล็กในตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 0.33 mg / 100 g

ภาคผนวก ข.

ตารางผนวกที่ 1 Invert Sugar Table สำหรับการใช้ Mixed fehline's solution 10 ลบ.ซม.

ml of sugar solution required	Solutions containing besides Invert sugar: No sucrose		1 g sucrose per 100 ml		5 g sucrose per 100 ml		10 g sucrose per 100 ml		25 g sucrose per 100 ml	
	Invert sugar factor*	mg Invert sugar per 100 ml	Invert sugar factor*	mg Invert sugar per 100 ml	Invert sugar factor*	mg Invert sugar per 100 ml	Invert sugar factor*	mg Invert sugar per 100 ml	Invert sugar factor*	mg Invert sugar per 100 ml
15	50·5	336	49·9	333	47·6	317	46·1	307	43·4	289
16	50·6	316	50·0	312	47·6	297	46·1	288	43.4	271
17	50·7	298	50·1	293	47·6	280	46·1	271	43·4	255
18	50·8	282	50·1	278	47·6	264	46·1	256	43.3	240
19	50·8	267	50·2	264	47·6	250	46·1	243	43·3	227
20	50·9	254·5	50·2	251·0	47·6	238·0	46·1	230·5	43·2	216
21	51·0	242·9	50·2	239·0	47·6	226·7	46·1	219·5	43·2	206
22	51·0	231·8	50·3	228·2	47·6	216·4	46·1	209·5	43·1	196
23	51·1	222·2	50·3	218·7	47·6	207·0	46·1	200·4	43·0	187
24	51·2	213·3	50·3	209·8	47·6	198·3	46·1	192·1	42·9	179
25	51·2	204·8	50·4	201·6	47·6	190·4	46·0	184·0	42·8	171
26	51·3	[illegible]	50·4	193·8	47·6	183·1	46·0	176·9	42·8	164
27	51·4	190·4	50·4	186·7	47·6	176·4	46·0	170·4	42·7	158
28	51·4	183·7	50·5	180·2	47·7	170·3	46·0	164·3	42·7	152
29	51·5	177·6	50·5	174·1	47·7	164·5	46·0	158·6	42·6	147
30	51·5	171·7	50·5	168·3	47·7	159·0	46·0	153·3	42·5	142
31	51·6	166·3	50·6	163·1	47·7	153·9	45·9	148·1	42·5	137
32	51·6	161·2	50·6	158·1	47·7	149·1	45·9	143·4	42·4	132
33	51·7	156·6	50·6	153·3	47·7	144·5	45·9	139·1	42·3	128
34	51·7	152·2	50·6	148·9	47·7	140·3	45·8	134·9	42·2	124
35	51·8	147·9	50·7	144·7	47·7	136·3	45·8	130·9	42·2	121
36	51·8	143·9	50·7	140·7	47·7	132·5	45·8	127·1	42·1	117
37	51·9	140·2	50·7	137·0	47·7	128·9	45·7	123·5	42·0	114
38	51·9	136·6	50·7	133·5	47·7	125·5	45·7	120·3	42·0	111
39	52·0	133·3	50·8	130·2	47·7	122·3	45·7	117·1	41·9	107
40	52·0	130·1	50·8	127·0	47·7	119·2	45·6	114·1	41·8	104
41	52·1	127·1	50·8	123·9	47·7	116·3	45·6	111·2	41·8	102
42	52·1	124·2	50·8	121·0	47·7	113·5	45·6	108·5	41·7	99
43	52·2	121·4	50·8	118·2	47·7	110·9	45·5	105·8	41·6	97
44	52·2	118·7	50·9	115·6	47·7	108·4	45·5	103·4	41·5	94
45	52·3	116·1	50·9	113·1	47·7	106·0	45·4	101·0	41·4	92
46	52·3	113·7	50·9	110·6	47·7	103·7	45·4	98·7	41·4	90
47	52·4	111·4	50·9	108·2	47·7	101·5	45·3	96·4	41·3	88
48	52·4	109·2	50·9	106·0	47·7	99·4	45·3	94·3	41·2	86
49	52·5	107·1	51·0	104·0	47·7	97·4	45·2	92·3	41·1	84
50	52·5	105·1	51·0	102·0	47·7	95·4	45·2	90·4	41·0	82

*mg of invert sugar corresponding to 10 ml of Fehling's solution.

ที่มา : Pearson (1976)

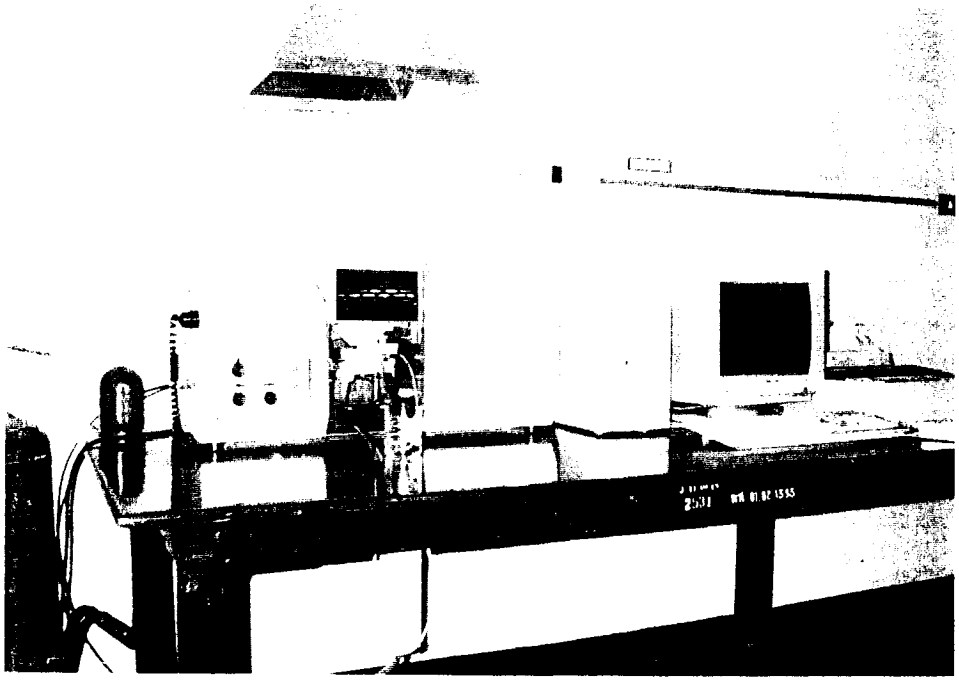
การเสียของกล้วยตากและการเก็บรักษาในสภาพควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (หน้า 137)

ตารางผนวกที่ 2 Invert Sugar Table สำหรับการใช้ Mixed fehling's solution 25 ลบ.ซม.

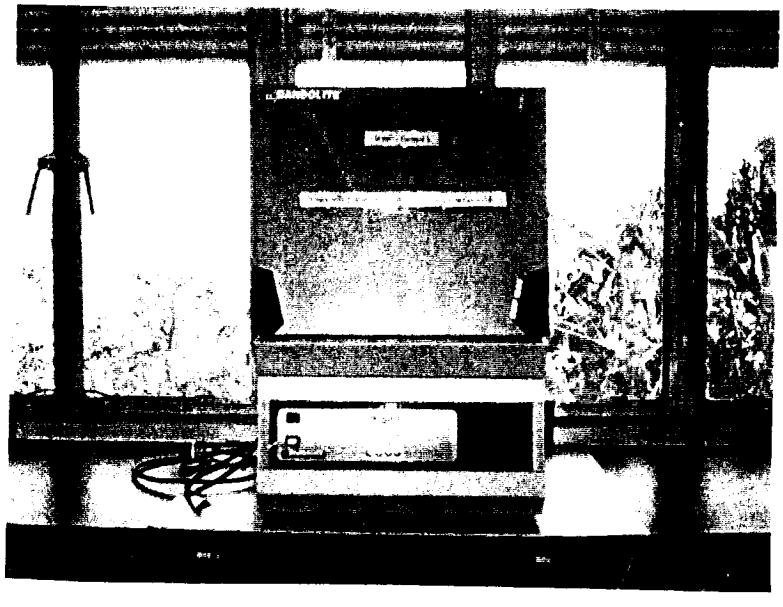
ml of sugar solution required	Solutions containing besides invert sugar: No sucrose		1 g sucrose per 100 ml	
	Invert sugar factor*	mg Invert sugar per 100 ml	Invert sugar factor*	mg Invert sugar per 100 ml
15	123·6	824	122·6	817
16	123·6	772	122·7	767
17	123·6	727	122·7	721
18	123·7	687	122·7	682
19	123·7	651	122·8	646
20	123·8	619·0	122·8	614·0
21	123·8	589·5	122·8	584·8
22	123·9	563·2	122·9	558·2
23	123·9	528·7	122·9	534·0
24	124·0	516·7	122·9	512·1
25	124·0	496·0	123·0	492·0
26	124·1	477·3	123·0	473·1
27	124·1	459·7	123·0	455·6
28	124·2	443·6	123·1	439·6
29	124·2	428·3	123·1	424·4
30	124·3	414·3	123·1	410·4
31	124·3	401·0	123·2	397·4
32	124·4	388·7	123·2	385·0
33	124·4	377·0	123·2	373·4
34	124·5	366·2	123·3	362·6
35	124·5	355·8	123·3	352·3
36	124·6	346·1	123·3	342·5
37	124·6	336·8	123·4	333·5
38	124·7	328·1	123·4	324·7
39	124·7	319·7	123·4	316·4
40	124·8	311·9	123·4	308·6
41	124·8	304·4	123·5	301·2
42	124·9	297·3	123·5	294·1
43	124·9	290·5	123·5	287·3
44	125·0	284·1	123·6	280·9
45	125·0	277·9	123·6	274·7
46	125·1	272·0	123·6	268·7
47	125·1	266·3	123·7	263·1
48	125·2	260·8	123·7	257·7
49	125·2	255·5	123·7	252·5
50	125·3	250·6	123·8	247·6

*mg of invert sugar corresponding to 25 ml of Fehling's solution.

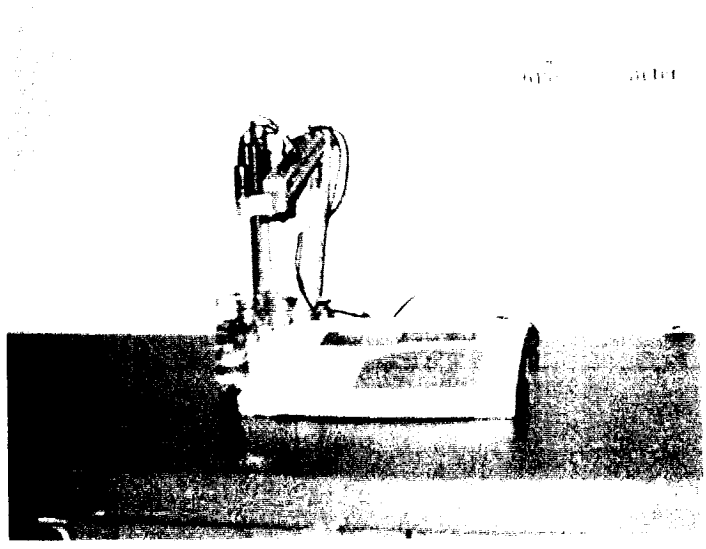
ที่มา : Pearson (1976)



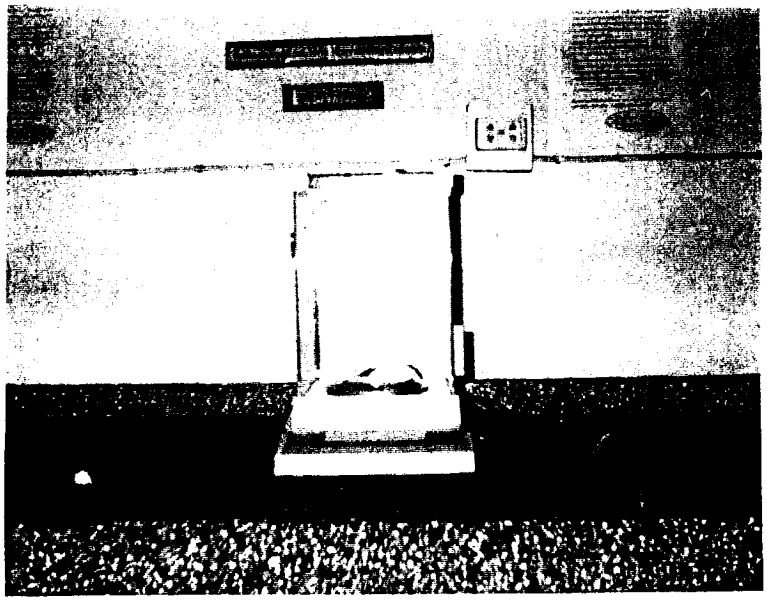
รูปที่ ผ 1 Atomic Absorption Spectroscopy , AAS



รูปที่ ผ.2 เตาเผา



รูปที่ ผ.3 เครื่องวัด pH meter



รูปที่ ผ.4 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Scientific)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายเฉลิมพร ทองพูน

วัน เดือน ปีเกิด 16 ธันวาคม 2512

สถานที่เกิด อ. เมือง จ.เพชรบูรณ์

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลเพชรบูรณ์

สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนเพชรพิทยาคม จ.เพชรบูรณ์ ปีการศึกษา 2527

สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเพชรพิทยาคม จ.เพชรบูรณ์ ปีการศึกษา 2530

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2534

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี) จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2539

ประสบการณ์ในการทำงาน

นักวิชาการมาตรฐาน 3 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพ ปี พ.ศ. 2335 – 2536

การทำงานปัจจุบัน อาจารย์ 1 ระดับ 5 ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม อ. เมือง จ. พิษณุโลก