บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 ห้องลดอุณหภูมิเฉียบพลันชนิดผ่านอากาศเย็น(Forced-air cooling)

วิธีการลดอุณหภูมิเฉียบพลันชนิดผ่านอากาศเย็นทำได้โดยการดูด หรือเป่าอากาศเย็นเข้าไปในช่องว่างตรงกลาง (tunnel) ระหว่างแถวของภาชนะบรรจุ ด้านบนและด้านหน้าของช่องว่างถูกปิดด้วยแผ่นพลาสติก (polythene cover) ส่วนด้านหลังมีพัดลมดูดอากาศออกทำให้ความดันของอากาศด้านหน้าและด้านหลังของภาชนะบรรจุจะแตกต่างกัน มีการไหลเวียนของอากาศผ่านช่องว่างระหว่างภาชนะบรรจุและแทรกตัวเข้าไปตามรูด้านข้างของภาชนะบรรจุ นำเอาความร้อนออกไปจากผลิตผล ทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดลง อัตราการลดลงของอุณหภูมิเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปริมาตรของอากาศที่ไหลผ่าน เมื่อผลิตผลเย็นลงถึงจุดที่ต้องการแล้ว จะต้องลดหรือหยุดการไหลเวียนของอากาศ เพราะถ้าไม่ลดหรือหยุดการไหลเวียนของอากาศจะทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำได้ ลักษณะของห้องลดอุณหภูมิเฉียบพลันชนิดผ่านอากาศเย็น ดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ห้องลดอุณหภูมิเฉียบพลันชนิดผ่านอากาศเย็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

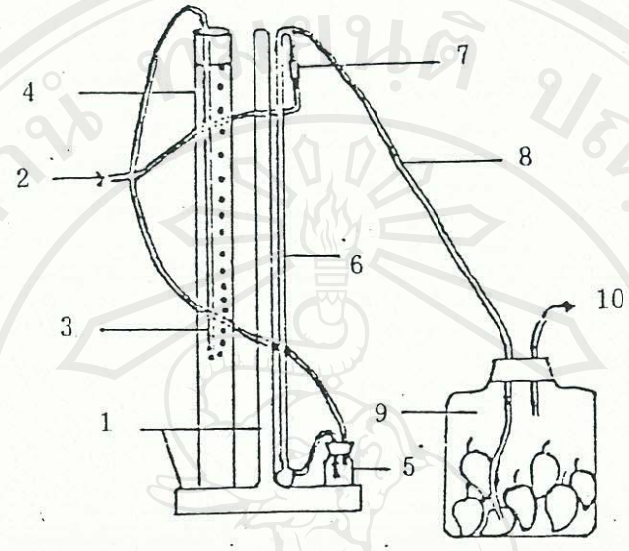
3.1.2 ชุดแผงควบคุมการไหลของอากาศ (air flow board)

ชุดแผงควบคุมการไหลของอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย

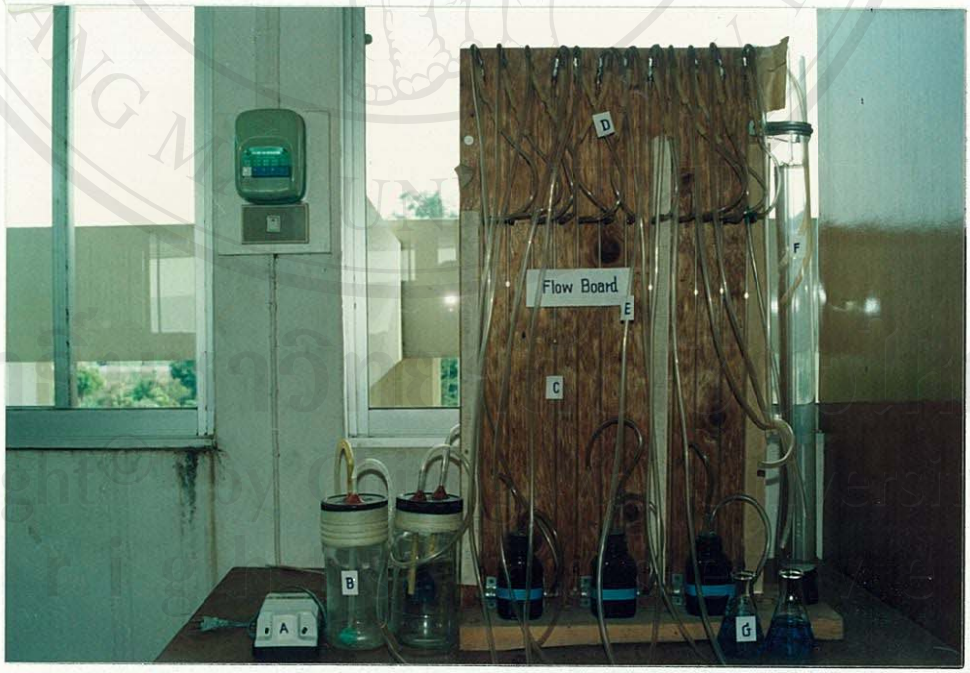
1. แผงและฐานไม้
2. ทางอากาศเข้า
3. หลอดแก้วระบายอากาศ
4. หลอดแก้วใหญ่บรรจุน้ำเต็ม
5. ขวดแก้วบรรจุน้ำ
6. หลอดแก้วแสดงระดับความดัน
7. หลอดคาปิลลารี่ (capillary tube)
8. หลอดนำกาซ
9. ภาชนะบรรจุผลิตผล
10. ทางอากาศออก

หลักการทำงานของแผงควบคุมการไหลของอากาศ คือ เมื่อให้อากาศจากเครื่องปั๊มลม ผ่านเข้าทางช่องอากาศเข้า (2) อากาศจะแยกเป็น 3 ทาง คือ ผ่านไปเข้าสู่น้ำในหลอดแก้วระบายอากาศ (3) หรือผ่านเข้าไปในขวดแก้วบรรจุน้ำ (5) หรือออกไปทางหลอดคาปิลลารี่ (7) แล้วออกสู่ภาชนะบรรจุผลิตผล(9) กรณีอากาศที่ผ่านเข้ามามีแรงดันต่ำอากาศส่วนใหญ่จะไหลไปทางหลอดคาปิลลารี่เพราะไม่สามารถดันน้ำในหลอดแก้วระบายอากาศ(3) หรือในขวดแก้ว(5) ได้ แต่เมื่อเพิ่มความดันของอากาศที่ผ่านเข้ามาให้มากขึ้นอากาศจะออกทางหลอดคาปิลลารี่ไม่ทัน เพราะมีช่องขนาดเล็ก อากาศจะดันน้ำในหลอดแก้วระบายอากาศ (3) ให้ต่ำลง และดันน้ำในขวดแก้ว (5) ขึ้นไปตามหลอดแก้วแสดงระดับความดัน (6) ซึ่งจะสูงเท่ากับความดันของอากาศที่ผ่านเข้ามาในขณะนั้น ถ้าความดันอากาศเพิ่มขึ้นจะดันน้ำในหลอดแก้ว (3) ให้ต่ำลงจนเห็นเป็นฟองอากาศออกมา ซึ่งน้ำในหลอดแก้วแสดงระดับความดัน (6) จะมีระดับสูงสุด เพราะว่าอากาศส่วนเกินจะเล็ดลอดออกไปทางปลายหลอดแก้วระบายอากาศ (3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงชุดแผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ



ภาพที่ 3 ชุดแผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.3 ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ (air flow meter)

ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย

1 ทางอากาศเข้า

2 บิวเรท (burette)

3 ลูกยางบีบ

4 ขวดบรรจุน้ำสบู่

5 สายยาง

หลักการทำงานคือ เมื่อต่อสายยางที่มีอากาศผ่านจากคาปิลลารี่ในชุดแผงควบคุมอัตราการไหลเข้ากับชุดวัดอัตราการไหลของอากาศแล้ว เมื่อบีบลูกยางให้น้ำสบู่ไหลขึ้นไปปิดทางอากาศออก ขณะที่อากาศไหลจากหลอดคาปิลลารีเข้าสู่บิวเรทอากาศจะดันน้ำสบู่ให้เป็นฟองไหลขึ้นไปตามบิวเรท วัดอัตราการไหลของอากาศโดยจับเวลาการเคลื่อนที่ของฟองสบู่แล้วคำนวณเป็นอัตราการไหลของอากาศมีหน่วยเป็น มิลลิลิตรต่อนาที

3.1.4 เครื่อง Gas Chromatograph (GC)

GC เป็นเครื่องมือสำหรับแยกสารผสมที่ระเหยเป็นกาซได้ผ่านตัวแยกที่เรียกว่า Stationary phase ถ้าตัวแยกเป็นของแข็ง จะเรียกขบวนการแยกนี้ว่า Gas Solid Chromatography (G.S.C) ถ้าตัวแยกเป็นของเหลว จะเรียกว่า Gas Liquid Chromatography(G.L.C) สำหรับส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องGas Chromatograph คือ

- Carrier gas เป็นกาซที่ใช้พาสารตัวอย่างจาก Injector port ไปสู่ column และออกไปสู่ detector สำหรับ carrier gas ที่นิยมใช้กันทั่ว ๆ ไป เช่น กาซไฮโดรเจน ฮีเลียม (Helium) ไนโตรเจน และอาร์กอน (Argon)

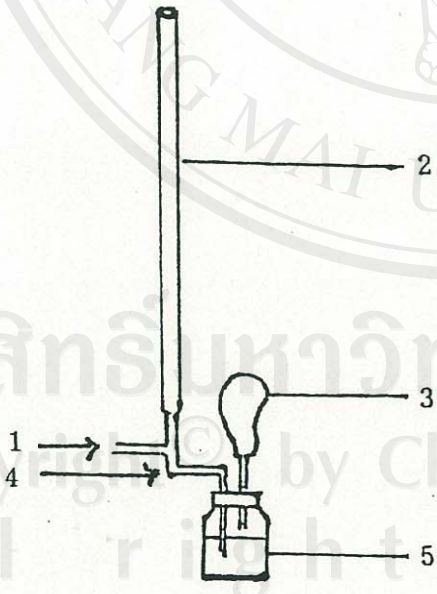
- Injector port เป็นส่วนที่จะฉีดสารตัวอย่างด้วย gas syringe เพื่อนำเข้าสู่ column โดยผ่านยางกันรั่ว (septum) injector port นี้จะต้องมีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปซึ่งเป็นของเหลวกลายเป็นกาซทันที และต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของ column ประมาณ 10 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- Column ประกอบไปด้วย ท่อซึ่งบรรจุสารแยก (Stationary phase) โดยที่ปลายด้านหนึ่งของ column จะติดกับ injector port และปลายอีกด้านหนึ่งติดกับ detector ในการแยกสารที่มีจุดเดือดสูง จำเป็นต้องให้ความร้อนกับ column เพื่อทำให้สารนั้นเป็นไออยู่ตลอดเวลา ดังนั้น column จึงต้องอยู่ในตู้ให้ความร้อน ซึ่งเรียกว่า Oven

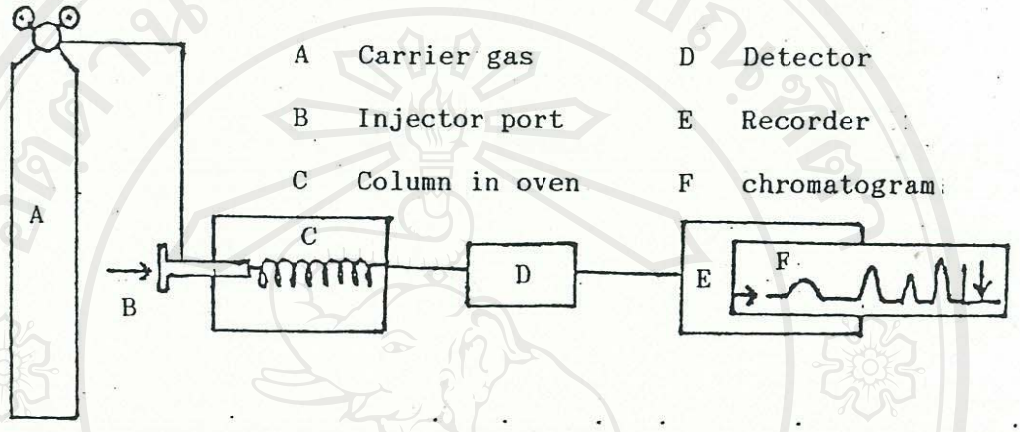
- Detector เป็นส่วนที่ทำการวัดสารตัวอย่างที่แยกโดย column และเคลื่อนที่โดย carrier gas ซึ่ง detector ต้องมีความร้อนพอที่จะทำให้สารตัวอย่างที่ผ่านเข้ามาให้ระเหยได้และผ่านออกไปไม่ให้ตกค้างอยู่ใน detector ซึ่งdetectorที่นิยมใช้กันมากที่สุดมี 2 ชนิด คือ Thermal conductivity detector(TCD) และ Flame ionization detector(FID)

สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้เครื่อง Gas chromatograph ของบริษัท Shimadzu โดยใช้ Shimadzu micro computerized GC9A เป็น detector และใช้ Chromatopac C-R 3A เป็น recorder ดังแสดงในภาพที่ 5 และ 6

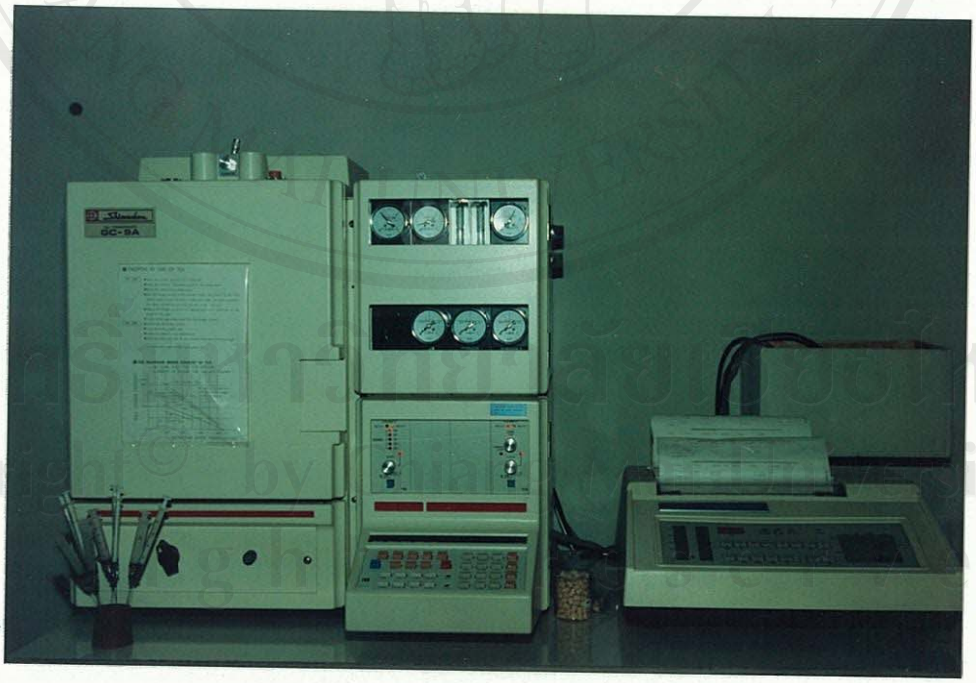


ภาพที่ 4 แผนภาพแสดงชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่อง Gas chromatograph



ภาพที่ 6 เครื่อง Gas chromatograph

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.5 เครื่อง รีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer)

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ ชนิดมือถือ (Atago Hand Refractometer) ซึ่งอ่านค่าตั้งแต่ 0-32 องศาบริกซ์ (°brix) สำหรับวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids,TSS) มีหน่วยวัดเป็น องศาบริกซ์

3.1.6 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบ สเปคโตรนิค-20 (Spectonic-20) ของบริษัท Bausch and Lomb สำหรับอ่านค่าดูดกลืนแสง(absorbance) ในการหาปริมาณคลอโรฟิลล์

3.1.7 ห้องเย็นที่ใช้เก็บรักษา

ห้องเย็นที่ใช้สำหรับการเก็บรักษาผลิตผลใช้ห้องเย็นที่ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่งของโครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่

3.1.8 พลาสติกที่ใช้ห่อผักกาดหอมห่อ

- โพลีเอทธิลีน (Polyethylene,PE) ความหนา 0.04 มิลลิเมตร
- โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC) ของบริษัท เอ็มแรป (M Wrap)

3.1.9 ถังกาซที่ใช้ทำการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศ(Controlled Atmosphere)

- ถังกาซไนโตรเจนบริสุทธิ์ และชุดควบคุม (regulator)
- ถังกาซออกซิเจนบริสุทธิ์ และชุดควบคุม
- ถังกาซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ และชุดควบคุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.10 ถุงพลาสติกชนิดหนา

ใช้ถุงพลาสติกขนาด 76.0 x 101.5 เซนติเมตร สำหรับบรรจุผลิตผลในการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศ

3.1.11 เครื่องดูดอากาศ (vacuum pump)

ใช้สำหรับดูดอากาศภายในถุงพลาสติกออกในการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศ

3.1.12 โกร่งบด

ใช้สำหรับการบดผักกาดหอมห่อเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์

3.1.13 เครื่องกรองแบบ suction pump

ใช้สำหรับกรองผักกาดหอมห่อที่บดแล้วในสารละลายอะซีโตน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์

3.1.14 เครื่องปั่นชนิด Sapcentrifuge 3

ใช้สำหรับปั่นเอาน้ำคั้นผักกาดหอมห่อ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซี และปริมาณเกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้

3.1.15 กระบอกฉีดยา

ใช้สำหรับดูดกาซภายในถุงบรรจุผักกาดหอมห่อแล้วนำไปฉีดเข้าเครื่อง Gas chromatoghaph เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์และกาซเอทธิลีน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะใช้กระบอกฉีดยา ขนาด 1.0 และ 2.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้เข็มฉีดยาชนิด Hypodermic needle No. 25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.16 เทอร์โมมิเตอร์ รุ่น Minitherm HI 8053 ของบริษัท Hanna Instruments

ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิในการศึกษาการลดอุณหภูมิหลังเก็บเกี่ยว

3.1.17 เครื่องแก้ว

- บีกเกอร์ (beaker)
- ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)
- ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)
- กระบอกตวง (cylinder)
- บิวเรท (burette)
- ปิเปต (pipette)
- กรวยกรอง (filtering glass funnel)
- หลอดหยด (dropper)
- แท่งแก้วสำหรับคน (stirrer)

3.2 สารเคมีและการเตรียมสารเคมี

3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการหาวิตามินซี

- กรดเมตาฟอสฟอริค (Metaphosphoric acid) ความเข้มข้น 3 เปอร์เซนต์

เตรียมโดยชั่งกรดเมตาฟอสฟอริค (ของบริษัท Merck) มา 15 กรัม ใส่ในบีกเกอร์แล้วเติมglacial acetic acid ลงไป 40 มิลลิลิตร แล้วเทใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร เขย่าจนละลายหมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 มิลลิลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- 2,6- ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล (2,6-Dichlorophenol indophenol) ความเข้มข้น 0.0025 เปอร์เซนต์

เตรียมโดยชั่ง 2,6-dichlorophenol indophenol(ของบริษัท Merck) มา 50 มิลลิกรัม เติมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ลงไป 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เมื่อสาร 2,6-dichlorophenol indophenol ละลายหมดแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 200 มิลลิลิตร แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในที่มืด (ขวดสีชา) ปิดฝาให้สนิท และเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ

- กรดแอสคอร์บิค มาตรฐาน

เตรียมโดยชั่งกรดแอสคอร์บิค (ของบริษัท AJAX Chemicals) มา 100 มิลลิกรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริคลงไปเล็กน้อย เขย่าให้กรดแอสคอร์บิคละลายจนหมดแล้วใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบด้วยสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริค สารละลายกรดแอสคอร์บิคที่ได้มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิลิตร

3.2.2 <u>สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้</u>

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide,NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (normal,N)

เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ของบริษัท Merck) มา 4.0 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่นแล้วเทใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

- ฟีนอพธาลีน (phenolphthalein) ความเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์

เตรียมโดยชั่งฟีนอพธาลีน (ของบริษัท Merck) 1 กรัม ใส่ลงบีกเกอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทธิลอัลกอฮอร์ 60 มิลลิลิตร เขย่าจนฟีนอพธาลีนละลายหมด แล้วเทใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบด้วยน้ำกลั่น

3.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการหาคลอโรฟิลล์

- สารละลายอะซีโตน (Acetone) ความเข้มข้น 80 เปอร์เซนต์ เตรียมโดยใช้อะซีโตน (ของบริษัท Merck) 800 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3.3 สถานที่ทำการวิจัย

3.3.1 ศูนย์พัฒนาหนองหอย อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

3.3.2 ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง โครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่

3.3.3 ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง โครงการหลวง กรุงเทพมหานคร

3.3.4 ห้องปฏิบัติการพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.3.5 ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.4 วิธีการทดลอง

การศึกษาวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 งานทดลอง คือ

3.4.1 งานทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาผลของการลดอุณหภูมิหลังเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักกาดหอมห่อ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design ,CRD) มี 3 กรรมวิธีๆ ละ 20 ซ้ำ โดยใช้ผักกาดหอมห่อซ้ำละประมาณ 20 กิโลกรัม กรรมวิธีที่ 1 คือ ลดอุณหภูมิด้วยวิธีผ่านอากาศเย็น อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส นานประมาณ 5 ชั่วโมง แล้วขนส่งโดยรถห้องเย็นอุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส กรรมวิธีที่ 2 คือ ไม่ได้ทำการลดอุณหภูมิ แล้วขนส่งโดยรถห้องเย็นอุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซล-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซียส และกรรมวิธีที่ 3 คือ ไม่ได้ลดอุณหภูมิ แล้วขนส่งโดยรถบรรทุกธรรมดา จากศูนย์พัฒนาหนองหอย อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ มายังฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง โครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่ และขนส่งต่อจากฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง จังหวัดเชียงใหม่ ไปยังฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง โครงการหลวง กรุงเทพมหานคร การประเมินคุณภาพ ทำโดยการวิเคราะห์หา

ก. เปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนัก (% Weight loss) ในระหว่างการขนส่ง โดยแบ่งผักกาดหอมห่อ 10 ซ้ำ ศึกษาที่ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง จังหวัดเชียงใหม่ และอีก 10 ซ้ำศึกษาที่ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง กรุงเทพมหานคร ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$A = \frac{(B-C)}{B} \times 100$$

โดยที่ A คือ เปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนักที่ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง จังหวัดเชียงใหม่ หรือ กรุงเทพมหานคร

B คือ น้ำหนักเริ่มต้นของผักกาดหอมห่อก่อนทำการลดอุณหภูมิ

C คือ น้ำหนักของผักกาดหอมห่อภายหลังการขนส่งที่ชั่งได้ที่ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง จังหวัดเชียงใหม่ หรือ กรุงเทพมหานคร

ข. เปอร์เซนต์น้ำหนักที่ขายได้ (% Salable weight) ภายหลังการขนส่ง โดยแบ่งผักกาดหอมห่อ มา 10 ซ้ำ ศึกษาที่ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง จังหวัดเชียงใหม่ และอีก 10 ซ้ำ ศึกษาที่ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง กรุงเทพมหานคร ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$X = \frac{Z}{Y} \times 100$$

โดยที่ X คือ เปอร์เซนต์น้ำหนักที่ขายได้ที่ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง จังหวัดเชียงใหม่ หรือกรุงเทพมหานคร

Y คือ น้ำหนักเริ่มต้นของผักกาดหอมห่อก่อนที่ทำการลดอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Z คือ น้ำหนักของผักกาดหอมห่อหลังจากตัดแต่งพร้อมขายที่ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง จังหวัดเชียงใหม่ หรือกรุงเทพมหานคร

ค. ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นจากภายนอก โดยแบ่งผักกาดหอมห่อ 10 ซ้ำ ศึกษาที่ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง จังหวัดเชียงใหม่ และอีก 10 ซ้ำ ศึกษาที่ฝ่ายคัดบรรจุและจัดส่ง กรุงเทพ-มหานคร โดยตรวจสอบอาการที่พบจากภายนอก เช่น อาการเหี่ยว ช้ำ เน่า และอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา

3.4.2 งานทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาสภาพการเก็บรักษาที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักกาดหอมห่อ วางแผนการทดลองแบบแฟคเตอเรียล (Factorial in CRD) มี 3 X 3 X 2 กรรมวิธี (อุณหภูมิ X วัสดุที่ใช้ห่อ X การควบคุมบรรยากาศ) ทำการทดลองกรรม-วิธีละ 3 ซ้ำ และใช้ผักกาดหอมห่อ 40 หัว เป็น 1 ซ้ำ จัดเตรียมผักกาดหอมห่อโดยการห่อแต่ละหัวด้วยพลาสติกโพลีเอทธีลีน โพลีไวนิลคลอไรด์ และไม่ได้ห่อ

3.4.2.1 ในสภาพบรรยากาศปกติ นำผักกาดหอมห่อทั้งที่ห่อด้วยพลาสติกทั้งสองชนิดและไม่ห่อ มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) ตรวจสอบผลการทดลองทุกๆ 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน

3.4.2.2 ในสภาพที่ควบคุมบรรยากาศ นำผักกาดหอมห่อทั้งที่ห่อด้วยพลาสติกทั้งสองชนิดและไม่ห่อ บรรจุในลังพลาสติกขนาด 38 x 57 x 30 เซนติเมตร แล้วใส่ลงในถุงพลาสติกขนาดใหญ่และหนา ปิดปากถุงให้สนิทเจาะรูถุงพลาสติกโดยใช้โลหะที่มีลักษณะเป็นรูกลวงตรงกลางและมีแผ่นโลหะและแผ่นยางปิดทับให้สนิท ด้านนอกจะใช้สายยางต่อออกมา ดูดเอาอากาศภายในถุงพลาสติกให้หมดโดยใช้เครื่องดูดอากาศ แล้วจึงทำการปรับสภาพอากาศภายในถุงพลาสติกให้มีกาซออกซิเจน 2.5 เปอร์เซนต์ และกาซคาร์บอนไดออกไซด์ 2.5 เปอร์เซนต์ และใช้กาซไนโตรเจนผสมให้ครบ 100 เปอร์เซนต์ การผสมกาซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ทำโดยเชื่อมถังกาซแต่ละชนิดที่มีตัวควบคุม (regulator) ติดอยู่ เข้ากับแผงควบคุมการไหลที่มีหลอดคาปิลลารี่ ซึ่งมีการไหลของอากาศเป็น 97.5 2.5 และ 2.5 เปอร์เซนต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(วัดโดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ) จากนั้นนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 10 องศา-เซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เปลี่ยนกาซทุกๆ 3 วัน และตรวจสอบผลการทดลองทุกๆ 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน การประเมินคุณภาพ ทำโดยวิเคราะห์หา

ก. เปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนัก คำนวณได้จาก สูตร

$$A = \frac{(B - C)}{B} \times 100$$

โดยที่ A คือเปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนัก

B คือน้ำหนักเริ่มต้นก่อนเก็บรักษา

C คือน้ำหนักที่ชั่งก่อนตัดแต่งทุก ๆ 3 วัน

ข. เปอร์เซนต์น้ำหนักที่ขายได้ คำนวณได้จาก สูตร

$$X = \frac{Z}{Y} \times 100$$

โดยที่ X คือเปอร์เซนต์น้ำหนักที่ขายได้

Y คือน้ำหนักเริ่มต้นก่อนเก็บรักษา

Z คือน้ำหนักที่ชั่งหลังตัดแต่งพร้อมขาย

ค. ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ ทำโดยโดยชั่งผักกาดหอมห่อมา 50 กรัม ปั่นด้วยเครื่องปั่น Sapcentrifuge 3 ใช้หลอดหยดดูดน้ำคั้นผักกาดหอมห่อแล้วหยดลงบนแผ่นปริซึมของเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ อ่านค่าการหักเหของแสงเป็นองศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ง. การวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซี ใช้วิธีการของ Kuxel and Jakovjevic (1963) โดยชั่งผักกาดหอมห่อมา 50 กรัม ปั่นด้วยเครื่องปั่น Sapcentrifuge 3 วัดปริมาตรน้ำคั้นที่ได้ ให้เท่ากับ c มิลลิลิตร ใช้ปิเปตดูดน้ำคั้นผักกาดหอมห่อมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริค 12.5 มิลลิลิตร นำไปไตเตรทกับสารละลาย dichlorophenol indophenol มาตรฐานจนถึงจุดยุติ บันทึกปริมาตรdyeที่ใช้ให้เท่ากับ b มิลลิลิตร ทำนองเดียวกันดูดสารละลายกรดแอสคอร์บิคมาตรฐานมา 5 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริค 12.5 มิลลิลิตร นำไปไตเตรทกับสารละลาย dichlorophenol indophenolมาตรฐานจนถึงจุดยุติ วัดปริมาตรdyeที่ใช้ให้เท่ากับa มิลลิลิตร นำไปคำนวณหาปริมาณวิตามินซี

สารละลาย dichlorophenol indophenol มาตรฐาน a มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดแอสคอร์บิค 5 มิลลิกรัม

ดังนั้นสารละลาย dichlorophenol indophenol มาตรฐาน 1 มิลลิลิตร จะทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดแอสคอร์บิค 5/a มิลลิกรัม

สารละลาย dichlorophenol indophenol มาตรฐาน b มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดแอสคอร์บิค 5b/a มิลลิกรัม

น้ำคั้นผักกาดหอมห่อ 5 มิลลิลิตร	มีปริมาณกรดแอสคอร์บิค	5b/a	มิลลิกรัม
น้ำคั้นผักกาดหอมห่อ c มิลลิลิตร	มีปริมาณกรดแอสคอร์บิค	5bc/5a	มิลลิกรัม
ถ้าให้ผักกาดหอมห่อ 50 กรัม	มีปริมาณน้ำคั้น	c	มิลลิลิตร
ผักกาดหอมห่อ 50 กรัม	มีปริมาณกรดแอสคอร์บิค	bc/a	มิลลิกรัม
ผักกาดหอมห่อ 100 กรัม	มีปริมาณกรดแอสคอร์บิค	2bc/a	มิลลิกรัม

หรือปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 2bc/a มิลลิกรัม/100 กรัมเนื้อเยื่อ

จ. ปริมาณของกรดที่ไตเตรทได้ โดยชั่งผักกาดหอมห่อมา 50 กรัม ปั่นด้วยเครื่องปั่น Sapcentrifuge 3 วัดปริมาตรน้ำคั้นที่ได้ ให้เท่ากับ a มิลลิลิตร ดูดน้ำคั้นผักกาดหอมห่อ 10 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แล้วหยดฟีนอฟธาลีน ลงไป 2 - 3 หยด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นอินดิเคเตอร์ (indicator) แล้วจึงไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน ที่ใช้ในการไตเตรท แล้วคำนวณเปอร์เซนต์กรดที่ไตเตรทได้ในรูปของกรดมาลิค (malic acid) ตามสูตรดังนี้

$$\text{Titrable acidity} = \frac{\text{normality of NaOH x equi.wt of acid x titer}}{10\ (\text{wt. of sample used})}$$

โดยที่ Titrable acidity คือ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (เปอร์เซนต์)

normality of NaOH เท่ากับ 0.1 N

equi. wt of acid คือ น้ำหนักกรัมสมมูลย์ของกรด

titer คือ ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรท

wt. of sample used คือ น้ำหนักของผักกาดหอมห่อที่ใช้ในการไตเตรท

ฉ. ปริมาณของคลอโรฟิลล์ ใช้วิธีของ Whitham et al. (1971)โดยใช้ผักกาดหอมห่อหนัก 1 กรัม บดในโกร่งบด ขณะทำการบดให้เติมอะซีโตน 80 เปอร์เซนต์ ลงไปเล็กน้อย เมื่อบดละเอียดให้กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 1 ด้วยเครื่องกรองแบบ suction pump ล้างและปรับปริมาตรด้วยอะซีโตนให้ได้ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ในกระบอกตวง นำสารละลายที่กรองแล้วใส่ในหลอด cuvette นำไปวัดค่าดูดกลืนของแสง (optical density,OD) ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปคโตนิค -20 บันทึกค่าที่ได้แล้วนำไปคำนวณ ตามสูตร

$$\text{คลอโรฟิลล์ เอ} = (12.7(OD663) - 2.69\ (OD645)) \times \frac{V}{1000 \times W}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์ บี} = (22.9(OD645) - 4.68\ (OD663)) \times \frac{V}{1000 \times W}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่ V คือปริมาตรของสารละลายที่นำมาหาปริมาณคลอโรฟิลล์

W คือน้ำหนักของผักกาดหอมห่อที่นำมาสกัดคลอโรฟิลล์

OD คือค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่องสเปคโตนิค -20 ที่ความยาวคลื่นที่กำหนด

ช. อัตราการหายใจ การวัดอัตราหายใจทำโดยการวัดปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผักกาดหอมห่อคายออกมา โดยใช้เครื่อง Gas chromatograph

นำผักกาดหอมห่อมาชั่งน้ำหนักก่อนบรรจุลงในลังพลาสติกขนาด 37.5 x 57x 30.5 เซนติเมตร บันทึกน้ำหนักของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในแต่ละลังพลาสติกเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการหายใจ แล้วใส่ในถุงพลาสติกขนาดใหญ่และหนาปิดปากถุงให้สนิท เจาะรู 2 รู ตรงข้ามกัน โดยมีโลหะกลวงและมีแผ่นโลหะกับแผ่นยางปิดทับป้องกันการรั่วของกาซ โลหะกลวงที่ติดกับภาชนะบรรจุผักกาดหอมห่อ ด้านหนึ่งจะต่อเชื่อมกับแผงควบคุมการไหลที่มีอัตราการไหลของอากาศเท่ากันผ่านออกมาจากคาปิลลารี่สู่ภาชนะผลิตผล โลหะกลวงอีกอันหนึ่งจะต่อสายยางยาวประมาณ 30 เซนติเมตร สำหรับเป็นทางออกของกาซที่จะนำมาวัดกาซคาร์บอนไดออกไซด์และกาซเอทธิลีน

การวัดปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำโดยใช้กระบอกฉีดยาขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เสียบเข้าบริเวณสายยางที่เป็นทางออกของกาซ แล้วดูดอากาศออกมา 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และนำมาฉีดเข้าเครื่อง Gas chromatograph ที่ Injector port ซึ่งมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ผ่านเข้า Stainless column ความยาว 1.5 เมตร ซึ่งบรรจุสาร Porapak R อุณหภูมิของ Oven 50 องศาเซลเซียส โดยมีกาซฮีเลียมเป็น Carrier gas อัตราการไหล 60 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ Thermal conductivity detector ที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งจะอ่านค่าออกมาเป็นปริมาณของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์ แล้วนำมาคำนวณตามวิธีการดังนี้

ให้อัตราการไหลของอากาศผ่านผลิตผล X มิลลิลิตร/นาที

ถ้า 1 ชั่วโมง จะมีอากาศผ่าน 60X มิลลิลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศ เท่ากับ 60X มิลลิลิตร/ชั่วโมง

ให้กาซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่ผ่านผลิตผลออกมามีความเข้มข้นเท่ากับ Y เปอร์เซนต์

ดังนั้นในอากาศ 60X มิลลิลิตร จะมีคาร์บอนไดออกไซด์ $\frac{60XY}{100}$ มิลลิลิตร

คาร์บอนไดออกไซด์ $\frac{60XY}{100}$ มิลลิลิตร จะหนัก $\frac{60XY}{100}$ x (Conversion figure)

(หน่วยเป็น มิลลิกรัม)

ถ้าน้ำหนักของผลิตผลที่ใช้หนัก Z กิโลกรัม

แสดงว่า ผลิตผล Z กิโลกรัม ผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (60XY) x (Conversion figure) มิลลิกรัม ใน 1 ชั่วโมง

ดังนั้น อัตราการหายใจ เท่ากับ $\frac{60XY}{100Z}$ (Conversion figure)

(หน่วยเป็น มิลลิกรัม/กิโลกรัม/ชั่วโมง หรือ มก.CO_2/กก./ชม.)

การหา Conversion figure

กาซ 1 กรัมโมล มีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ 0 °C 1 บรรยากาศ

กาซ CO_2 1 กรัมโมล หนัก 44 กรัม

กาซ CO_2 22400 มิลลิลิตร หนัก 44000 มิลลิกรัม

กาซ CO_2 1 มิลลิลิตร หนัก $\frac{44000}{22400}$ = 1.977 มิลลิกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\text{หรือ เท่ากับ} \quad \frac{(273)}{(T)} \times \frac{(P)}{(760)} \times 1.9769$$

โดยที่ P คือ ความดันบรรยากาศขณะนั้น ๆ

T คือ อุณหภูมิขณะนั้น (องศา K)

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า Conversion figure ที่อุณหภูมิต่างกัน ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

°C	Conversion figure	°C	Conversion figure
0	1.977	15	1.870
2.5	1.959	20	1.842
5.0	1.941	25	1.811
10.0	1.901	30	1.781
12.5	1.890	35	1.752

ช. การวัดปริมาณของกาซเอทธิลีน โดยใช้กระบอกฉีดยาขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดูดอากาศออกมา 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากสายยางที่เป็นทางออกของกาซ แล้วนำมาฉีดเข้าเครื่อง Gas chromatograph ที่ Injector port ซึ่งมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ผ่านเข้า Stainless column ความยาว 1.5 เมตร ซึ่งบรรจุสาร Activated Aluminar อุณหภูมิของ Oven 60 องศาเซลเซียส โดยมีกาซไนโตรเจนชนิด Oxygen Free Nitrogen (OFN)เป็น Carrier gas อัตราการไหล 70 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ Flame ionization detector ที่มีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งจะอ่านค่าออกมาเป็นปริมาณของกาซเอทธิลีนเป็นตัวเลขมีหน่วยเป็น ส่วนต่อล้าน แล้วนำมาคำนวณตามวิธีการดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\text{ปริมาณของกาซเอทธิลีน} = \frac{\text{ปริมาณกาซเอทธิลีนที่อ่านได้} \times \text{อัตราการไหลของกาซ}}{\text{น้ำหนักที่ใช้}}$$

(หน่วยเป็น ไมโครลิตร/กิโลกรัม/ชั่วโมง หรือ $\mu l\ C_2H_4$/กก./ชม.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved