อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

หน่อไม้ฝรั่งเกรดบีตูม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 - 1 เซนติเมตร ความยาวหน่อประมาณ 25 เซนติเมตร ที่ไร่ในอำเภอกำแพงแสน 1 แห่ง ที่มีการคัดขนาดเพื่อการส่งออก หรือส่งขายให้กับบริษัทส่งออก โดยหน่อต้องมีรูปร่างตรง ยอดหน่อแน่น ไม่บาน ไม่ช้ำ

2. สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) ของ Merck ประเทศเยอรมัน
2.2 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite, NaOCl) ของ Merck ประเทศเยอรมัน
2.3 เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน O3 Generator รุ่น FS-101 ประเทศญี่ปุ่น
2.4 ตู้ลม หรือตู้ทดสอบ water transmission rate
2.5 เครื่องผนึกสุญญากาศ (vacuum sealer) ยี่ห้อ SUPERVAC รุ่น CK123-10 ประเทศเยอรมัน
2.6 เครื่องผสมก๊าซ (gas mixer) ของบริษัท WITTGAS รุ่น KM100-3M ประเทศเยอรมัน
2.7 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
2.8 เครื่องมือวัด Total soluble solid (hand refractometer)
2.9 เครื่องบดอาหาร (Moullinex)
2.10 เครื่องวัดสี Chromameter รุ่น CR – 300 ของบริษัท Minolta ประเทศญี่ปุ่น
2.11 Gas Chromatograph ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-8A
2.12 Cooling bath
2.13 ห้องเย็น ช่วงอุณหภูมิ 0 – 25°C ควบคุมอุณหภูมิได้ ± 1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90%
2.14 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการหายใจแบบระบบปิด ดังแสดงในภาพที่ 1
2.15 Hot plate

2.16 Hot air oven ยี่ห้อ WTB binder

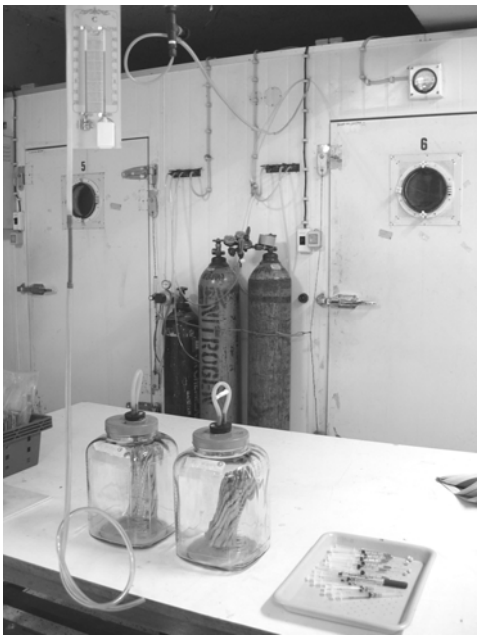
2.17 Thermometer

2.18 ตะแกรงขนาด 30 mesh

2.19 กระดาษฟอยล์

2.20 ถุงพลาสติก

2.21 เครื่องคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์วัดที่ใช้วัดอัตราการหายใจแบบระบบปิด

3. อาหารเลี้ยงเชื้อ สารเคมี และอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์จุลินทรีย์

3.1 หลอดทดลอง

3.2 จานเพาะเชื้อ (Petri dish)

3.3 ตู้บ่มอุณหภูมิของ Memmert ประเทศเยอรมัน

3.4 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ

3.5 Micropipette

3.6 Plate count agar (PCA) ของ Merck ประเทศเยอรมัน

3.7 MacCONKEY agar ของ Merck ประเทศเยอรมัน

3.8 Colony counter

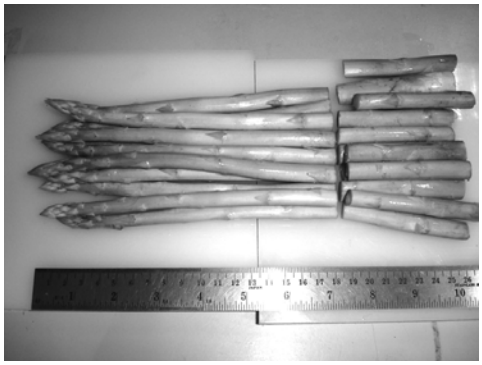
3.9 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.10 เครื่องแก้ว

วิธีการ

1. การล้างหน่อไม้ฝรั่งสดและคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งหลังการล้าง

1.1 หน่อไม้ฝรั่งที่ใช้ในการทดลองคือพันธุ์ UC เบอร์ 309 เกรดบีตูมชนิดหน่อเขียว ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 – 1 เซนติเมตร ความยาวหน่อประมาณ 25 เซนติเมตร นำมาจากแหล่งคัดขนาด เพื่อการส่งออกที่ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม หน่อไม้ฝรั่งเหล่านี้ผ่านการคัดขนาดโดยเกษตรกรผู้ปลูก แล้วนำมาตัดโคนหน่อจนเหลือความยาวหน่อประมาณ 18 เซนติเมตร



ภาพที่ 2 หน่อไม้ฝรั่งเกรดบีตูมหลังจากนำมาตัดโคนเหลือ 18 เซนติเมตร

1.2 ตรวจหาปริมาณเชื้อ Aerobic Plate Count (APC) และ *Escherichia coli* (*E.coli*) เริ่มต้นตามวิธีมาตรฐาน Bacteriological Analytical Manual 2001 รายละเอียดดูในภาคผนวก ก

1.3 นำหน่อไม้ฝรั่งจำนวนประมาณ 1,200 กรัม แบ่งเป็น 4 กลุ่ม มาผ่านการล้างซึ่งมีวิธีการล้างทั้งหมด 3 วิธี วิธีละประมาณ 300 กรัม ได้แก่ การล้างด้วยน้ำประปา, น้ำผสมคลอรีนเข้มข้น 100 ppm, น้ำผสมโอโซนเข้มข้น 0.10 ppm เปรียบเทียบกับการไม่ล้าง (control) ที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 15 นาที วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำวิธีละ 3 ซ้ำ ใช้ลมเป่าให้แห้งที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 15 นาที

1.4 นำตัวอย่างทั้งหมดไปตรวจหาปริมาณเชื้อ APC และ *E.coli* หลังการล้างตามวิธีในภาคผนวก ก เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณเชื้อเริ่มต้น

1.5 นำตัวอย่างเก็บใส่ถุงพลาสติก PE แบบเปิดปากถุงเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 6 วัน

1.6 ตรวจสอบคุณภาพด้านปริมาณเส้นใย และสี ตามมาตรฐาน AOAC (2000) รายละเอียดดูในภาคผนวก ข ในวันที่ 1, 3 และ 6 ของการเก็บรักษา

2. <u>การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซ และคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งในสภาพปรับบรรยากาศ</u>

2.1 เลือกวิธีการล้างหน่อไม้ฝรั่งที่ลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุดจากข้อ 1. มาล้างหน่อไม้ฝรั่งแล้วบรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) ขนาด 23 x 23 cm^2 ความหนา 35 μm ค่าการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน (O_2 permeability) 145.83 $cm^3 \cdot mil/m^2 \cdot hr \cdot atm$, ค่าการแพร่ผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 permeability) 543.54 $cm^3 \cdot mil/m^2 \cdot hr \cdot atm$, ค่าอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate; WVTR) 0.9 $g/m^2 \cdot day$ โดยบรรจุถุงละ 200 กรัม ด้วยเครื่องผนึกสุญญากาศ แล้วปิดผนึก กำหนดให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนเริ่มต้นภายในบรรจุภัณฑ์ มีค่า 21%, 9% และ 70% ตามลำดับ ด้วยเครื่องผสมก๊าซ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

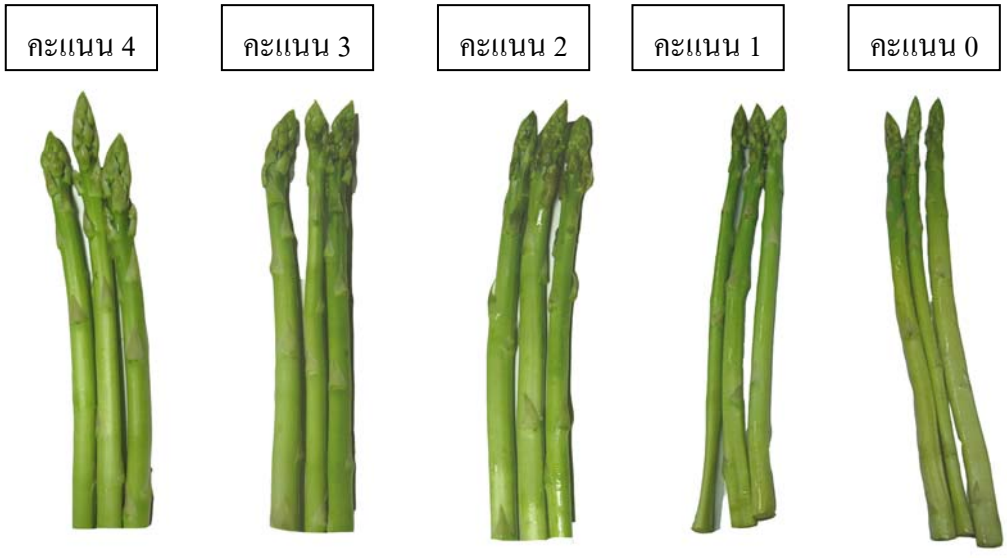
2.2 นำตัวอย่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C วัดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (O_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบรรจุภัณฑ์ หลังบรรจุในวันที่ 1, 2, 5, 7, 9, 12, 15, 20, 23 และ 28 ด้วยเครื่อง Gas chromatograph ซึ่งการวิเคราะห์ O_2 ใช้ column ที่เป็นท่อเหล็กไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 เซนติเมตร ยาว 2.1 เมตร บรรจุด้วย Molecular sieve 5A ตั้งอุณหภูมิของ Detector ที่ 50ºC ส่วนการวิเคราะห์ CO_2 ใช้ TCD (thermal conductivity detector) โดยมี silica gel 60/80 บรรจุใน column ที่เป็นท่อเหล็กไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 เซนติเมตร ยาว 3.1 เมตร ตั้งอุณหภูมิของ Detector ที่ 120ºC โดยใช้ Helium เป็น carrier gas

2.3 ตรวจสอบคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่ง ได้แก่ ปริมาณเส้นใย ตามมาตรฐาน Official Methods of Analysis of AOAC International 2000, ลักษณะสีผิวด้วยเครื่อง Chromameter ในระบบ

Hunter Lab Color Scale ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข และลักษณะภายนอกตามรายละเอียดดังตารางที่ 2 และภาพที่ 3

ตารางที่ 2 รายละเอียดระดับคะแนนที่ใช้ในการอธิบายลักษณะภายนอกของหน่อไม้ฝรั่ง

คะแนน	ความหมาย
0	เสื่อมสภาพ ปลายยอดเน่า และโคนหน่อเหี่ยวย่น ไม่สามารถนำมาซื้อขายได้
1	เสื่อมสภาพมาก มีกลิ่นเน่า และโคนหน่อเริ่มเหี่ยว
2	เริ่มเสื่อมสภาพ ปลายยอดฉ่ำน้ำอย่างเห็นได้ชัด หน่อเริ่มอ่อนตัว เริ่มมีกลิ่นเน่า
3	ดี ปลายยอดเริ่มช้ำเล็กน้อย สภาพทั่วไปยังดีอยู่
4	ดีมาก สภาพสด คล้ายกับเพิ่งเก็บเกี่ยว

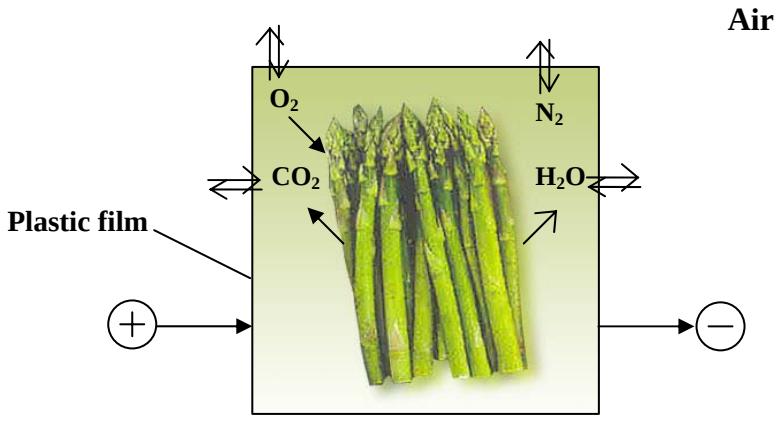


ภาพที่ 3 รายละเอียดลักษณะภายนอกของหน่อไม้ฝรั่งตามระดับคะแนน

3. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นแบบจำลองเชิงอนุพันธ์ธรรมดา (ordinary differential equations)

เมื่อบรรจุหน่อไม้ฝรั่งสดในบรรจุภัณฑ์ ก๊าซออกซิเจนที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์จะถูกใช้ไปในการหายใจ ในขณะเดียวกันก็มีการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการคายน้ำออกมาด้วย ส่งผลทำให้ความดันย่อยของก๊าซทั้งสอง (O_2, CO_2) และความดันย่อยของไอน้ำภายในบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป จึงเกิดการแพร่ผ่านของก๊าซผ่านบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์ จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของก๊าซสูงสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของก๊าซต่ำกว่า นั่นคือ ก๊าซออกซิเจนจะแพร่เข้าสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ จะแพร่ออกสู่ภายนอก โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซในบรรจุภัณฑ์ หาได้จากการทำสมดุลมวลที่เกิดการถ่ายเทในระบบ กำหนดให้ทิศทางของก๊าซที่ผ่านเข้าเป็นบวก และที่ผ่านออกเป็นลบ ตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การถ่ายเทของก๊าซภายในกับภายนอกบรรจุภัณฑ์

3.1.1 สมดุลมวลของก๊าซ

กรณีสมดุลมวลของก๊าซออกซิเจน

อัตราการแพร่ผ่านของ O_2 เข้าสู่ระบบ	—	อัตราการแพร่ผ่านของ O_2 ออกจากระบบ	—	อัตราการใช้ O_2 เนื่องจากการหายใจ	=	อัตราการสะสมของ O_2 ในระบบ	——(9)

กรณีสมดุลมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

อัตราการแพร่ผ่านของ CO_2 เข้าสู่ระบบ	—	อัตราการแพร่ผ่านของ CO_2 ออกจากระบบ	+	อัตราการผลิต CO_2 เนื่องจากการหายใจ	=	อัตราการสะสมของ CO_2 ในระบบ

——(10)

3.1.2 กฎการแพร่ของฟิก (*Fick's diffusion law*) เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นเป็นความดันย่อยตาม *Henry's law* จะได้

$$\dot{m}_B = \frac{\overline{P}A(p_{B1} - p_{B2})}{(x_2 - x_1)} \qquad \text{——(11)}$$

เมื่อ $\dot{m}_B$ = อัตราการแพร่สุทธิของก๊าซผ่านฟิล์ม (kg/s)

$\overline{P}$ = permeability coefficient (mg mil m^{-2} hr^{-1} atm^{-1})

A = พื้นที่ผิวที่เกิดการแพร่ (m^2)

$p_{B1} - p_{B2}$ = ความแตกต่างของความดันย่อยของก๊าซภายนอกกับภายในบรรจุภัณฑ์ (atm)

$(x_2 - x_1)$ = L = ความหนาของฟิล์ม (m)

3.1.3 อัตราการใช้ O_2 เนื่องจากการหายใจ หรือ อัตราการหายใจ (Respiration rate; *r*) Lee *et al.* (1991) ได้เสนอไว้ว่าอัตราการหายใจของผักและผลไม้สดสามารถเขียนได้ด้วยสมการการทำงานของเอนไซม์แบบ Michaelis – Menten ชนิด uncompetitive คือ

$$r = \frac{V_m[O_2]}{K_m + (1 + [CO_2]/K_i)[O_2]} \qquad \text{——(12)}$$

เมื่อ r = อัตราการหายใจ (respiration rate; ml/kg·hr)

V_m = ค่าสูงสุดของอัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบใช้เอนไซม์ (ml/kg·h)

K_m = Michaelis-Menten constant (%)

K_i = Inhibitor constant (%)

$[O_2]$ = ปริมาณก๊าซออกซิเจน (%)

$[CO_2]$ = ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%)

เมื่อแทน 2 พจน์แรกของสมการที่ (9) และ (10) ด้วยสมการที่ (11) และแทนพจน์ที่ 3 ของสมการที่ (9) และ (10) ด้วยสมการที่ (12) จะได้

$$\frac{P_O A(p_{O1} - p_{O2})}{L} - W \cdot \frac{V_m[p_O]}{K_m + [p_O](1 + \frac{[p_C]}{K_i})} = \frac{dv_{O2}}{dt} \qquad \text{———(13)}$$

$$\frac{P_C A(p_{C1} - p_{C2})}{L} + W \cdot \frac{V_m[p_O]}{K_m + [p_O](1 + \frac{[p_C]}{K_i})} = \frac{dv_{CO2}}{dt} \qquad \text{———(14)}$$

เมื่อ v_{O2} = ปริมาตรก๊าซออกซิเจน (ml)

v_{CO2} = ปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ml)

t = เวลา (hr)

W = น้ำหนักของผักในถุงบรรจุ (kg)

L = ความหนาของฟิล์ม (mil)

P_O = O_2 permeability ($cm^3 \cdot mil/m^2 \cdot hr \cdot atm$)

P_C = CO_2 permeability ($cm^3 \cdot mil/m^2 \cdot hr \cdot atm$)

$p_{O1} - p_{O2}$ = ความแตกต่างของความดันย่อยของก๊าซออกซิเจนภายนอกกับภายในบรรจุภัณฑ์ (atm)

$p_{C1} - p_{C2}$ = ความแตกต่างของความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกกับภายในบรรจุภัณฑ์ (atm)

เนื่องจากความดันของระบบต่ำ (= 1 atm) จึงสมมุติให้ก๊าซทั้งสองชนิดประพฤติตัวแบบก๊าซอุดมคติ ซึ่งที่อุณหภูมิและความดันรวมคงที่ จะได้

$$p_A = y_A \cdot P \quad \text{และ} \quad v_A = y_A \cdot V$$

เมื่อ p_A = ความดันย่อยของก๊าซ A (atm)

P = ความดันรวม = 1 atm

v_A = ปริมาตรของก๊าซ A (ml)

V = ปริมาตรรวม (ml)

y_A = เศษส่วนโมลของก๊าซ A (ไม่มีหน่วย)

จัดรูปสมการที่ (13) และ (14) ใหม่ จะได้

$$\frac{dy_O}{dt} = \frac{P_O A(0.21 - y_O)}{VL} - \frac{W}{V} \cdot \frac{V_m[y_O]}{K_m + [y_O](1 + \frac{[y_C]}{K_i})} \qquad \text{———(15)}$$

$$\frac{dy_C}{dt} = \frac{P_C A(0.0003 - y_C)}{VL} + \frac{W}{V} \cdot \frac{V_m[y_O]}{K_m + [y_O](1 + \frac{[y_C]}{K_i})} \qquad \text{———(16)}$$

เมื่อ y_O และ y_C หมายถึงเศษส่วนโมลของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ ตามลำดับ โดยกำหนดให้ที่เวลาเริ่มต้น $y_O(0) = 0.18$ และ $y_C(0) = 0.08$ โดยสมการที่ (15) และ (16) มีตัวแปรที่ใช้ร่วมกัน (y_O และ y_C) จึงต้องใช้วิธี Runge-Kutta อันดับ 4 ในการหาคำตอบของ difference equations ทั้งสองไปพร้อม ๆ กัน โดยวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค1

สำหรับการหาค่าคงที่ปฏิกิริยาของ Michaelis – Menten แบบ uncompetitive หรือค่า V_m, K_m, K_i หาได้จากการทำการทดลองวัดอัตราการหายใจของหน่อไม้ฝรั่งแบบระบบปิด (closed system) ที่อุณหภูมิ 30°C ในรูปของการใช้ก๊าซออกซิเจน (Respiration rate as function of O_2 consumption; r_O) และในรูปของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Respiration rate as function of CO_2 evolution; r_C) โดยใช้ตัวอย่างหน่อไม้ฝรั่งยาว 18 เซนติเมตร ปริมาณ 300 กรัม ใส่ในโหลแก้วที่มีฝาปิดขนาด 6.6 ลิตร ปล่อยอากาศผสมไหลผ่านโหลที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ ตามตารางที่ 3 ด้วยอัตราการไหล 50 l/min. ทิ้งไว้ 90 วินาทีก่อนทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ และปิดฝา ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 60 นาที เก็บตัวอย่างก๊าซนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนเพื่อคำนวณอัตราการหายใจ ตามสมการที่ (9) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยวัดค่าก๊าซด้วยเครื่อง GC จำนวน 3 ครั้งในแต่ละซ้ำ ตามวิธีการของ Lee *et al.* (1991)

r_O หรือ r_C = $\left(\frac{((\text{ผลต่างก๊าซ}/100) \times V) + ((\text{ผลต่างก๊าซ}/100) \times S \times W \times 0.94)}{W \times t} \right) \times 1000$ ———(17)

r_O หรือ r_C	=	อัตราการหายใจในรูปของการใช้ก๊าซออกซิเจน หรือในรูปของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ml /kg·hr)
V	=	ปริมาตรอิสระ (cm^3)
	=	ปริมาตรรวมภายในบรรจุภัณฑ์ – ปริมาตรหน่อไม้ฝรั่ง
S	=	ค่าการละลายน้ำของก๊าซ ที่อุณหภูมิ 30ºC โดยก๊าซออกซิเจนมีค่าการละลาย (S_O) = 0.0059 ml O_2 / ml water, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าการละลาย (S_C) = 0.75 ml CO_2 / ml water
W	=	น้ำหนักผลิตผล (g)
t	=	เวลาที่ใช้ (hr)
0.94	คือ	สัดส่วนของน้ำในหน่อไม้ฝรั่ง (94%)

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการทดลองหาอัตราการหายใจของหน่อไม้ฝรั่ง

Respiration rate as function of O_2 concentration (ใช้ในการหาค่า V_m และ K_m)		Respiration rate as function of CO_2 concentration (ใช้ในการหาค่า K_i)	
$[CO_2]$ (%)	$[O_2]$ (%)	$[CO_2]$ (%)	$[O_2]$ (%)
0	2	1	21
0	5	3	21
0	10	6	21
0	15	9	21
0	21	15	21

เมื่อแปลงสมการที่ (12) ให้อยู่ในรูป linear จะได้

$$\frac{[O_2]}{r} = \frac{K_m}{V_m} + \frac{[O_2]}{V_m} \qquad \text{———(18)}$$

หรือ $$\frac{1}{r} = \frac{1}{V_m} + \frac{K_m}{V_m} \cdot \frac{1}{[O_2]} + \frac{1}{K_i V_m}[CO_2] \qquad \text{———(19)}$$

นำค่าก๊าซที่วัดได้จากการทดลอง Respiration rate as function of O_2 concentration มาหาค่า V_m และ K_m โดยการ plot กราฟระหว่าง [O_2] (%) กับ [O_2] (%)/r หรือที่เรียกว่า Hanes plot ตามสมการที่ (18) จะได้ slope เป็นค่า V_m และจุดตัดแกน y เป็นค่า K_m ส่วนค่าก๊าซที่วัดได้จากการทดลอง Respiration rate as function of CO_2 concentration นำมา plot กราฟระหว่าง [CO_2] (%) กับ 1/r ตามสมการที่ (19) จะได้ slope เป็นค่า K_i

3.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งสดอาศัยหลักการจลนศาสตร์ของเอนไซม์

องค์ประกอบด้านคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งสด ที่มีผลต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภคที่สนใจนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ สี และปริมาณเส้นใย โดยสมมติให้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งเป็นปฏิกิริยาจลนศาสตร์ลำดับที่หนึ่ง (first-order kinetics) ของเอนไซม์ [E] ที่มีสารตั้งต้น [S] ซึ่งสลายตัวไปตามเวลา (t) ที่เพิ่มขึ้น

$$\frac{d[S]}{dt} = -k[S] \qquad \text{———(20)}$$

เมื่อ k = ค่าคงที่ของอัตราการปฏิกิริยา (หน่วยเป็นส่วนกลับของเวลา)

การหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาทำได้โดยสมมติให้เป็นไปตามสมการของ Arrhenius จากการวัดคุณภาพที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดจากการทดลองในข้อที่ 1.6 ที่อุณหภูมิ 10, 15 และ 25°C แล้ว plot กราฟเทียบกับเวลาจะได้ slope เป็นค่า k ที่แต่ละอุณหภูมิ จากนั้น นำมา ln(k) มา plot กับ 1/T (°K) จะได้ slope เป็นค่า activation energy (Ea) และได้อายุการเก็บรักษาแทนค่าในสมการที่ (8)

3.3 การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และสมการทำนายอายุการเก็บรักษา

เปรียบเทียบผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา (สมการที่ 15 และ 16) จากโปรแกรม Quick Basic กับข้อมูลจากการทดลองเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งที่อุณหภูมิ 4ºC ในการทดลองตอนที่ 2 และเปรียบเทียบผลการทำนายอายุการเก็บรักษาของหน่อไม้ฝรั่ง จากสมการที่สร้างในการทดลองตอนที่ 3.2 กับผลการเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งที่อุณหภูมิ 4ºC ด้วยเช่นกัน

4. <u>สถานที่ทำการทดลอง</u>

4.1 ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

4.2 ห้องปฏิบัติการ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

5. <u>ระยะเวลาในการทดลอง</u>

การทดลองครั้งนี้เริ่มตั้นแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2548 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549