Agricultural Sci. J. 37 : 5 (Suppl.) : 62-65 (2006) ว. วิทย. กษ. 37 : 5 (พิเศษ) : 62-65 (2549)

การสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสดโดยอาศัยการคำนวณจากโมเดลคณิตศาสตร์อย่างง่าย

The Utilization of Simple Mathematical Model in Developing Equilibrium Modified Atmosphere inside The package of Fresh Produce

อศิรา เฟื่องฟูชาติ[1] วรรณี ฉินศิริกุล[1] นพดล เกิดดอนแฝก[1]
ตติยา ตรงสถิตกุล[1] สรญา พิบูลกุลสัมฤทธิ์[1] เสาวภา ไชยวงศ์[1] และ วาณี ชนเห็นชอบ[2]
Asira Fuongfuchat[1], Wannee Chinsirikul[1], Noppadon Kerddonfag[1]
Tatiya Trongsatitkul[1], Soraya Phiboonkulsumrit[1], Saowapa Chaiwong[1], and Vanee Chonhenchob[2]

Abstract

Development of equilibrium modified atmosphere (EMA) inside the permeable package containing respiring commodities such as fresh fruits and vegetables demands careful regulation of various inter-related factors. Therefore, mathematical model based on simple gas transport and metabolic kinetics was utilized to predict the composition of respiring gases, i.e., oxygen and carbon dioxide, inside the package. Optimization of package configuration and film selection/development to attain EMA condition from high permeable films can be achieved using the model. The simple mathematical model used was found to efficiently predict gas composition inside the EMA package of 4 selected Thai vegetables. Moreover, the model calculation was in good agreement with the results of packing test of Chinese broccoli in high permeable film that the produce can generate its own EMA (11.5%oxygen and 3.5% carbon dioxide). Shelf life of Chinese broccoli in such EMA condition can be extended to 24 – 36 days at 5 – 7°C without a sign of withering. However, quality of plant material and storing condition has been found to complicate the results.

Keyword: Equilibrium modified atmosphere, packaging and mathematic model

บทคัดย่อ

การสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล หรือ EMA ภายในถุงบรรจุของผลิตผลสด จะต้องอาศัยการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ อย่างครอบคลุมและถี่ถ้วน ดังนั้นจึงมักมีการนำโมเดลคณิตศาสตร์ที่มีพื้นฐานทางจลน์ศาสตร์ของก๊าซรวมทั้งเมตาโบลิซึมของผลิตผลมาใช้ เพื่อช่วยในการทำนายสัดส่วนของ O_2 และ CO_2 ภายในถุงบรรจุ โมเดลดังกล่าวจึงช่วยให้ออกแบบลักษณะการบรรจุ รวมไปถึงการพัฒนาและเลือกฟิล์มพลาสติกได้อย่างเหมาะสมในการสร้าง EMA เมื่อใช้ฟิล์มพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านของก๊าซสูง โมเดลคณิตศาสตร์อย่างง่ายที่นำมาใช้นั้นพบว่า มีประสิทธิภาพในการทำนายองค์ประกอบของก๊าซภายในถุงบรรจุสำหรับผลิตผลไทยที่เลือกศึกษาจำนวน 4 ชนิด ยิ่งไปกว่านั้นการคำนวณโดยอาศัยโมเดลดังกล่าว ยังสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบบรรจุผักคะน้าในถุงบรรจุที่มีค่าการซึมผ่านของก๊าซสูง โดยที่ผักคะน้าสามารถสร้าง EMA ได้ โดยมีองค์ประกอบของก๊าซเป็น 11.5%O_2 และ 3.5%CO_2 อีกทั้งยังพบว่า EMA ดังกล่าวส่งผลให้การเก็บรักษาของผักคะน้าที่ 5 – 7°C ได้นานขึ้นจนถึง 24 – 36 วันโดยแทบไม่สูญเสียน้ำ อย่างไรก็ตามคุณภาพของผลิตผลที่นำมาศึกษาและสภาวะในการเก็บรักษาอาจส่งผลให้ผลการศึกษาคลาดเคลื่อนได้

คำสำคัญ: สภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล, บรรจุภัณฑ์, และโมเดลคณิตศาสตร์

คำนำ

ภาชนะบรรจุแบบสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere, EMA) พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลสดได้ (Beaudry 1999 และ Gorny 2003) โดยองค์ประกอบของก๊าซที่แตกต่างจากบรรยากาศปกติสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพและกระบวนการหายใจของผลิตผลสด โดยทั่วไป EMA ที่มี1 – 5%O_2 และ 2 – 10%CO_2 เหมาะสมกับการเก็บรักษาผักและผลไม้สด (Mir and Beaudry 2002) ผลิตผลสดหลังการเก็บ

[1] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
[1] National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Ministry of Science and Technology
[2] ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] Department of Packaging Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University

เกี่ยวจะยังคงหายใจโดยมีการใช้ O_2และคาย CO_2 จึงส่งผลให้ภายในภาชนะบรรจุมีปริมาณ O_2 ลดต่ำลงและมี CO_2 เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่ต้องการในการเก็บรักษา ดังนั้นการสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงด้วยแนวคิดนี้ที่เรียกว่า EMA จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือราคาแพงในการสร้างก๊าซผสมเพื่อการบรรจุ อย่างไรก็ตามในการสร้าง EMA โดยผลิตผลเองนั้นจะต้องอาศัยการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมดุลระหว่างกระบวนการหายใจและการซึมผ่านก๊าซ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสมดุลดังกล่าวได้แก่ อัตราการหายใจของผลิตผล น้ำหนักบรรจุ ค่าการซึมผ่านก๊าซ พื้นที่ผิวของภาชนะ head space รวมถึงอัตราส่วนของก๊าซต่างๆ ภายในภาชนะบรรจุ (Yam and Lee 1996) เมื่อมีปัจจัยหลากหลายมาเกี่ยวข้อง จึงมักมีการนำสมการและโมเดลทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการทำนายองค์ประกอบของก๊าซภายในภาชนะบรรจุเพื่อช่วยในการออกแบบการบรรจุ สมการและโมเดลคณิตศาสตร์ที่ได้มีการนำมาใช้นั้นพบว่าอยู่ในรูปของทั้งสมการเชิงประจักษ์ (empirical equation) (Jacxsens et al. 1999 และ Beaudry et al. 1992) และโมเดลเชิงจลนพลศาสตร์ (kinetics models) (Jacxsens et al. 2000 Lee et al. 1996 และ Cameron 1994) การวิจัยที่ดำเนินการนี้มุ่งที่จะพัฒนาถุงบรรจุและแผ่นฟิล์มที่มีค่าการซึมผ่านของก๊าซสูงเพื่อเป็นภาชนะบรรจุแบบ EMA สำหรับผลิตผลสดของไทย จึงได้นำสมการคณิตศาสตร์อย่างง่ายที่มีพื้นฐานจากจลน์ศาสตร์ของก๊าซมาใช้ เพื่อช่วยในการพัฒนาและเลือกใช้ฟิล์มที่พัฒนาขึ้นให้เหมาะสม อีกทั้งยังศึกษาถึงข้อจำกัดของการใช้โมเดลคณิตศาสตร์เพื่อพัฒนาโมเดลได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ผลิตผลที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ กะเพรา ข้าวโพดฝักอ่อน คะน้า พริกแดงใหญ่พันธ์ Big Hot และโหระพา ได้ผ่านกระบวนการเตรียมตามมาตรฐานเพื่อการส่งออก (HACCP และ RSI) และส่งมาถึงห้องปฏิบัติการด้วยรถห้องเย็นภายใน 24 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยว อัตราการหายใจของผลิตผลแต่ละชนิดได้จากการติดตามปริมาณ O_2 และ CO_2 ในโถที่ปิดสนิทด้วย Pack Check O_2/CO_2 gas analyzer, Mocon ส่วนถุงบรรจุได้จากฟิล์มพลาสติกซึ่งมีค่าการซึมผ่านก๊าซสูงที่พัฒนาขึ้นในโครงการ ได้แก่ B4 C4 C5 และ C9 โดยทำการบรรจุเป็นถุงแบบปิดผนึกด้วยความร้อน ทำการทดสอบ O_2 และ CO_2 transmission rate (OTR และ CO_2-TR) ของฟิล์มพลาสติกด้วย Oxtran T2/21 และPermatran CT4/40, Mocon ตามลำดับ

ในส่วนของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซภายในภาชนะบรรจุ ได้อาศัยการพิจารณาสมดุลเชิงมวลของอัตราการใช้ O_2 หรือการผลิต CO_2 โดยกระบวนการหายใจ และอัตราการซึมผ่านของก๊าซ อัตราการหายใจของผลิตผลสดนั้น โดยทั่วไปแล้วสามารถแสดงในรูปของสมการแบบ enzyme kinetics (Fonseca et al. 2002) อย่างไรก็ตามในการพัฒนาโมเดลอย่างง่ายนี้ ได้ใช้อัตราการหายใจในรูปของค่าคงที่ที่คำนวณมาจากสมการสำหรับการทดสอบอัตราการหายใจแบบระบบปิด ส่วนอัตราการผ่านเข้าออกของฟิล์ม เนื่องจากฟิล์มที่ใช้มีคุณสมบัติแบบ hydrophobic และมีค่าอุณหภูมิเสมือนแก้วห่างจากอุณหภูมิการใช้งาน ดังนั้นสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้สามารถนำมาจากพื้นฐานของ Fick's law และ ideal solution จึงได้สมการคณิตศาสตร์อย่างง่ายในการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซในถุงบรรจุสำหรับแผ่นฟิล์มที่พัฒนาขึ้นดังนี้

$$\frac{\Delta[Gas]_{inside}}{\Delta t} = \frac{RT}{PV}(J_{film,Gas}.S_{film}) - R_{Gas}.W \qquad (1)$$

โดยที่ $[Gas]_{inside}$ เป็นปริมาณก๊าซที่อยู่ในภาชนะบรรจุในรูปของ mole fraction t เป็นเวลาการเก็บรักษา R เป็นค่าคงที่ของก๊าซ T เป็นค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ P เป็นความดันบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ V เป็นปริมาตรของก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์หรือ head space อัตราการผ่านเข้าออกฟิล์มอยู่ในรูปของฟลักซ์ของก๊าซ ($J_{film,Gas}$) ที่ผ่านพื้นที่ผิว S_{film} และอัตราการใช้หรือผลิตก๊าซจากกระบวนการหายใจอยู่ในรูปของอัตราการหายใจ R_{Gas} ของผลิตผลที่มีน้ำหนัก W ในการคำนวณดังกล่าวมีข้อสมมุติที่ว่าปริมาณของ N_2 ภายในบรรจุภัณฑ์มีค่าคงที่ (78.1%) อัตราการหายใจของผลิตผลเป็นค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ การซึมผ่านของก๊าซแต่ละชนิดเป็นอิสระต่อกัน และปริมาณของไอน้ำในระบบไม่ส่งผลต่อการคำนวณ การคำนวณใช้โปรแกรม MS excel โดยกำหนดว่า EMA จะต้องเกิดขึ้นภายใน 2 วัน โมเดลคณิตศาสตร์ดังกล่าวได้นำมาใช้ในการกำหนดปัจจัยต่างๆ ในเบื้องต้น เช่น รูปแบบการบรรจุ ชนิดของฟิล์มที่ใช้ น้ำหนักบรรจุ และอุณหภูมิการเก็บรักษา เพื่อกำหนดลักษณะบรรจุและชนิดฟิล์มที่ใช้อย่างเหมาะสม นอกจากนั้นแล้ว ได้ทำการศึกษาการบรรจุผลิตผลในถุงจากฟิล์มที่มีค่าการซึมผ่านก๊าซสูงที่ได้พัฒนาขึ้นโดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับถุงที่ใช้บรรจุเพื่อจำหน่ายในท้องตลาด ทำทดสอบคุณภาพของชุดตัวอย่างอย่างน้อย 3 ซ้ำแต่ละชุดด้วยสมบัติดังนี้ (1) ปริมาณ O_2 และ CO_2 ภายในถุง โดยเครื่อง Pack Check O_2/CO_2 gas analyzer, Mocon (2) การสูญเสียน้ำหนัก (4) %RH โดยเครื่อง Digitron RH meter 2080RP (5) ความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนที่สะสมในบรรจุภัณฑ์ โดยเครื่อง ethylene detector, BI-ON ETH, Bioconservacion สำหรับโหระพาและกระเพรา (3) ลักษณะภายนอก เช่น ใบเหลือง ใบร่วง

ผลและวิจารณ์

อัตราการหายใจของผลิตผลแสดงในตารางที่ 1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่ใช้ในการกระจายสินค้าประเภทผลิตผลสดคือ 5 – 7°C ยกเว้นกะเพราและโหระพาที่ใช้อุณหภูมิ 10 – 12°C เพื่อเลี่ยงอาการสะท้านหนาว

Table 1 Respiration rate of selected Thai fresh vegetables

Commodities	Weight (g)	Head Space (cm^3)	Temperature (°C)	R (mg CO_2/kg.hr)	RQ (mass)
"Big Hot" Chili	100 ± 2	840 ± 2	5 – 7	18.4 ± 0.8	0.70 ± 0.04
Baby Corn	105 ± 5	850 ± 2	5 – 7	49.4 ± 4.4	0.94 ± 0.08
Chinese Broccoli	320 ± 2	3,350 ± 50	5 – 7	19.5 ± 0.7	0.66 ± 0.03
Holy Basil	40 ± 5	930 ± 15	10 – 12	96.8 ± 7.9	1.10 ± 0.08
Thai Basil	40 ± 5	930 ± 15	10 - 12	35.8 ± 2.1	1.18 ± 0.04

OTR และ CO_2-TR ของฟิล์มพลาสติกที่พัฒนาขึ้นในโครงการแสดงในตารางที่ 2 โดยค่าที่แสดงนี้เป็นการทดสอบที่อุณหภูมิ 23°C อย่างไรก็ตาม ได้ทำการทดสอบให้ครอบคลุมอุณหภูมิในการใช้งานจริงคือ 5 – 30°C โดยอาศัยค่าคงที่จากการคำนวณด้วยสมการของอะรีห์เนียส (Arrhenius equation) ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 1 มาใช้ในการคำนวณ

Table 2 OTR and CO_2-TR of high permeable films at 23°C and 0%RH

Film	Thickness (μm)	OTR (cm^3/m^2.day.atm)	CO_2-TR (cm^3/m^2.day.atm)	β
B4	30 ± 3.5	16,500 ± 350	43,000 ± 1,200	2.6 ± 0.4
C4	25± 1.5	16,000 ± 260	45,000 ± 900	2.8 ± 0.3
C5	27± 2.0	12,000 ± 300	35,000 ± 600	2.9 ± 0.3
C9	26± 2.0	8,000 ± 50	16,000 ± 300	2.0 ± 0.2

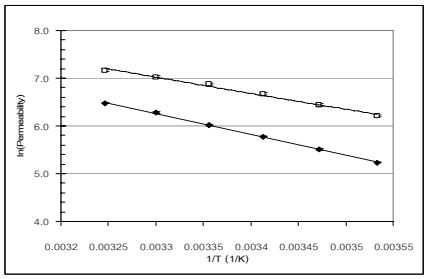

Figure 1 O_2 and CO_2 permeation of "C5" film as a function of absolute temperature; solid symbol: O_2 permeation, open symbol: CO_2 permeation and solid line: gas permeation according to Arrhenius equation.

ความถูกต้องและแม่นยำในการคำนวณของโมเดลคณิตศาสตร์อย่างง่ายที่ใช้ได้ทำการทดสอบเป็น 2 แนวทางคือทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากบทความทางวิชาการและจากการทดสอบบรรจุ ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าการใช้โมเดลดังกล่าวสามารถทำนายองค์ประกอบของก๊าซภายในภาชนะบรรจุได้อย่างดี แต่ยังพบความคลาดเคลื่อนในช่วงกว้าง อย่างไรก็ตามข้อมูลดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาและเลือกใช้ฟิล์มให้เหมาะสมกับผลิตผลสดได้

Table 3 $\%O_2$ and $\%CO_2$ inside the packages of fresh produces at equilibrium state: experimental data and predicted value

Commodities/Bag	Storage T. (°C)	Experimental Data		Predicted Value		Remark
		$\%O_2$	$\%CO_2$	$\%O_2$	$\%CO_2$	
200 g Blue berries/Clean-Plas Film	15	5	5	4.7	4.7	Song et al. 2002
470 g Tomato/VF71 Package	10	3	10.5	3.0	10.8	Hayakawa et al. 1975
50 g "Big Hot" Chili/B4 (4x4.5 inch)	5 – 7	15.6 ± 0.7	2.4 ± 0.5	14.5	2.4	
50 g "Big Hot" Chili/C9 (4x4.5 inch)	5 – 7	17.4 ± 0.5	1.5 ± 0.6	15.5	3.1	
50 g Baby Corn/B4 (4x4.5 inch)	5 – 7	0.7 ± 0.5	5.0 ± 1.5	0	7.4	
200 g Thai Basil/C9 (8x17 inch)	10 – 12	6.0 ± 1.1	7.1 ± 1.7	6.6	7.2	
200 g Thai Basil/C9 (10x17 inch)	10 – 12	7.1 ± 1.2	4.8 ± 0.9	8.5	6.0	

Note: RH inside the packages > 95%, ethylene concentration inside the packages of Thai basil < 0.5 ppm (within 7 days).

ในการทดสอบบรรจุผักคะน้า ได้นำสมการคณิตศาสตร์อย่างง่ายมาใช้ในการเลือกชนิดฟิล์มดังแสดงผลการบรรจุในตารางที่ 4 จากการคำนวณพบว่าฟิล์ม C4 และ C5 เหมาะสมในการบรรจุผักคะน้าที่มีน้ำหนักบรรจุ 500 กรัมโดยใช้ถุงขนาด 8 x 12 นิ้ว ซึ่งพบว่าฟิล์มดังกล่าวสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 24 วันโดยแทบจะไม่สูญเสียน้ำ ขณะที่ฟิล์ม C9 และถุงบรรจุที่ใช้ในการจำหน่ายโดยทั่วไปมีอายุการเก็บรักษาได้เพียง 14 และ 1 วันตามลำดับ โดยใช้การสูญเสียน้ำหนัก > 2% เป็นเกณฑ์ จากนั้นได้ทำการทดสอบการบรรจุในฟิล์ม C5 ซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้งพบว่าอายุการเก็บรักษาของผักคะน้าอยู่ในช่วง 24 - 36 วัน

Table 4 EMA condition inside 8 x 22 inch bags containing 500 g Chinese broccoli storing under refrigeration at 5 – 7 °C

Film	Predicted Value		Reach eqb.	Experimental Data		Shelf life
	$\%O_2$	$\%CO_2$	within 2 days	$\%O_2$	$\%CO_2$	(day)
C4	12.2	3.6	✓	12.8 ± 1.5	3.0 ±. 0.2	24
C5	9.2	3.8	✓	11.5 ± 0.8	3.5 ± 0.2	24
C9	12.1	5.9	X	12.0 ± 1.2	5.2 ± 0.3	14
Commercial*	21.0	0	X	21.0	0	1

Note: RH inside the packages > 95%, shelf life was identified by <2% weight loss and greeness
* PE bag with 280 holes with diameter of 3/16 inch

อย่างไรก็ตาม พบว่าคุณภาพของผลิตผล รวมถึงสภาวะในการเก็บรักษาอาจส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้ อาทิเช่น ผักบุ้งเมื่อเก็บในถุงที่สร้าง EMA ซึ่งมี 12.8%O_2 และ 2.5%CO_2 ที่อุณหภูมิ 8°C พบว่ามีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 วัน ซึ่งไม่แตกต่างจากถุงพลาสติกที่ใช้ปกติ การเก็บรักษาในถุง EMA นั้นแม้พบว่าแทบจะไม่สูญเสียน้ำแต่พบอาการน้ำตาลที่ก้านของยอดอย่างรุนแรง ส่วนกะเพราและโหระพาที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดตามมาตรฐานพบว่า EMA ที่เกิดขึ้นจะมี 4%O_2 และ 5%CO_2 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า EMA ที่แนะนำสำหรับผักสด (Mir-Beaudry 2002) แต่ในการทดสอบบรรจุพบว่าอายุการเก็บรักษาได้เพียงแค่ 6 วันซึ่งไม่แตกต่างจากถุงที่ใช้โดยทั่วไป อีกทั้งยังพบเชื้อราในบางถุงส่งผลให้ผลการทดสอบมีค่าแปรปรวนสูง ขณะที่โหระพาที่ผ่านการเก็บเกี่ยวและการทำความสะอาดที่เป็นไปตามมาตรฐานพบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ถึง 12 วัน

สรุป

โมเดลคณิตศาสตร์อย่างง่ายที่มีพื้นฐานจากจลน์ศาสตร์ของก๊าซสามารถใช้ในการทำนายองค์ประกอบของก๊าซภายในถุงบรรจุของผลิตผลสดเพื่อการออกแบบการบรรจุ รวมไปถึงการพัฒนาและเลือกใช้ฟิล์มพลาสติกที่มีการซึมผ่านของก๊าซสูงเพื่อการบรรจุผลิตผลสดของไทยได้ การทดสอบบรรจุผักคะน้าในถุงจากฟิล์มที่มีการซึมผ่านของก๊าซสูงที่พัฒนาขึ้นในโครงการนั้นพบว่าสามารถสร้าง EMA ที่มี 11 - 13%O_2 และ 3 - 3.5%CO_2 และสามารถยืดอายุผักคะน้าได้นานถึง 24 – 36 วัน ที่อุณหภูมิ 5 – 7°C อย่างไรก็ตามพบว่าคุณภาพของผลิตผลและสภาวะในการเก็บรักษาที่เหมาะสมยังเป็นปัจจัยสำคัญอีกด้วย

คำขอบคุณ

ผลิผลสดที่ผ่านกระบวนการเตรียมตามมาตรฐานการส่งออกได้รับความเอื้อเฟื้อจากบริษัท กำแพงแสน คอมเมอร์-เชียล จำกัด การศึกษาครั้งนี้เป็นส่นหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

Beaudry, R.M., A.C. Cameron, A. Shirazi and D.L. Dostal-Lange. 1992. Modified-Atmosphere Packaging of Blueberry Fruit: Effect of Temperature on Package O_2 and CO_2. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 436 – 441.

Beaudry, R.M. 1999. Effect of O2 and CO2. Partial Pressure on Selected Phenomena Affecting Fruit and Vegetable Quality. Postharvest Biol. Technol. 15: 293 – 303.

Cameron, A. C., R.M. Beaudry, N.H. Banks, and M.V. Yelanich. 1994. Modified-Atmosphere Packaging of Blueberry Fruit: Modeling Respiration and Package Oxygen Partial Pressures as A Function of Temperature. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119: 534 – 539.

Fonseca, S.C., F.A.R. Oliveira, and J.K. Brecht. 2002. Modeling Respiration Rate of Fresh Fruits and Vegetables for Modified Atmosphere Packages: A Review. J. Food Eng., 52: 99 - 119.

Gorny, J.R., 2003. Packaging Design for Fresh-cut Produce. International Fresh-cut Produce Association.

Henig T.S. and S.G. Gilbert. 1975. Computer Analysis of the Variables Affecting Respiration and Quality of Produce Packaged in Polymeric Film. J. Food Sci. 40: 1033 – 1035.

Jacxsens, L., F. Devlieghere, and J. Debevere. 1999. Validation of A Systematic Approach to Design Equilibrium Modified Atmosphere Packages for Fresh-Cut Produce. Lebensm.-Wiss.U-Technol. 32: 425 – 432.

Jacxsens, L., F. Devlieghere, T. De Rudder, and J. Debevere. 2000. Design Equilibrium Modified Atmosphere Packages for Fresh-Cut Vegetable Subjected to Changes in Temperature. Lebensm.-Wiss.U-Technol. 33: 178 - 187.

Lee D.S., Y. Song and K.L. Yam. 1996. Application of An Enzyme Kinetics Based Respiration Model to Permeable System Experiment of Fresh Produce. J. Food Eng. 27: 297 – 310.

Mir, N., and R.M. Beaudry. 2002. Ch14. Modified Atmosphere Packaging, In Agricultural Handbook No 66: The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. K.C. Gross, C.Y. Wang and M. Saltveit, eds., USDA.

Song, Y., N. Vorsa and K.L. Yam. 2002. Modeling Respiration-Transpiration in A Modified Atmosphere Packaging System Containing Blueberry. J. Food Eng.. 53: 103 – 109.

Yam, K.L., and D.S. Lee. 1996. Ch3. Design of Modified Atmosphere Packaging for Fresh Produces, In Active Food Packaging, M.L. Rooney, ed. Chapman & Hall. NY. 55 – 73.