**Thesis Title** Value Added Ready-to-eat Intermediate Moisture Fruit Products by Impregnation of *Lactobacillus* spp.

**Author** Miss Hathaitip Rongkom

**Degree** Doctor of Philosophy (Food Science and Technology)

**Thesis Advisory Committee**

Assoc. Prof. Dr. Aphirak Phianmongkhol Advisor
Dr. Tri Indrarini Wirjantoro Co-advisor
Asst. Prof. Dr. Jatuphong Varith Co-advisor

## ABSTRACT

The aim of this study was to develop probiotic fruit products by fortifying beneficial microorganisms in partially-dried fruits using vacuum impregnation (VI) and vacuum drying techniques. In the VI treatment, the effects of vacuum pressure (VP) levels (between 50 and 1013 mbar), impregnation media (whole milk and sucrose solution), types and sizes of fruits and processing times (10 to 20 min) of the VI process on the physicochemical properties of apple, mango and cantaloupe were evaluated, while the factors of pressure levels of vacuum chamber, drying temperatures and drying times were investigated during a drying process of the studied fruits. Collected data showed that the VP levels and impregnation liquid significantly affected the fruit lightness and VI parameters, including water loss (WL), solid gain (SG), volume of fruit occupied by impregnation liquid (X), volumetric deformation of fruit ($\gamma$), fruit porosity ($\varepsilon_r$) and effective porosity ($\varepsilon_e$) ($P<0.05$). At the highest vacuum pressure level of 50 mbar together with sucrose solution, the fruits had the lowest lightness and fruit porosity, but experienced the

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

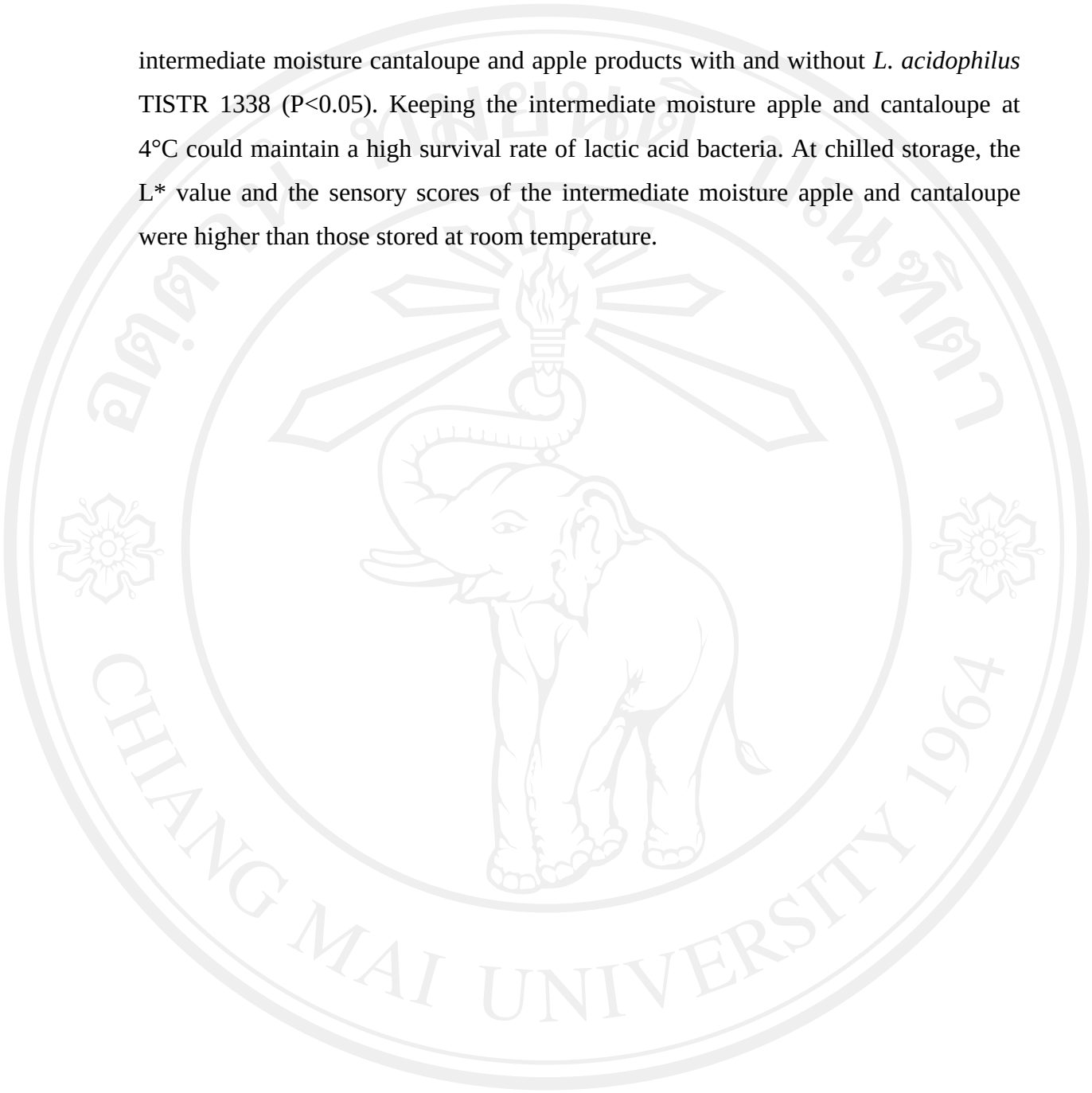
highest WL, $\varepsilon_e$-, $\gamma$- and X-values. At this vacuum level, apple samples had higher in all of the VI parameters than those of cantaloupe and mango. Consequently, the highest VP level and sucrose solution were found to be a better condition to impregnate external solution into the fruit samples. For the effects of fruit sizes and processing times during VI on the physical properties of the vacuum impregnated cantaloupe and apple conducted at 50 mbar with an isotonic sucrose solution, it was found that longer impregnation and relaxation times significantly produced lower $\varepsilon_r$, but higher WL, SG, $\gamma$-, X- and $\varepsilon_e$-values ($P<0.05$). At 20 min of impregnation and relaxation times, the apple samples significantly had higher X-, $\gamma$- and $\varepsilon_e$-values than those of cantaloupe ($P<0.05$). Smaller size of apple significantly produced higher WL, SG, $\gamma$-, X- and $\varepsilon_e$-values than those of the bigger size ($P<0.05$). It was displayed that longer impregnation and relaxation times together with smaller size of fruit would enhance impregnation result.

Following the VI treatment, impregnated apple and cantaloupe were dried in a vacuum dryer. Under the investigated factors, drying temperature and drying time were revealed to give a significant effect on the vacuum drying parameters, including water activity, process yield, moisture content and total sugar content of apple and cantaloupe ($P<0.05$). On the other hand, the vacuum chamber pressure did not produce a significant effect on the vacuum drying parameters of both the studied fruits. The optimal condition to do vacuum drying of apple was using a vacuum chamber pressure at 200 mbar with a drying temperature at 58°C for 9 h, whereas at a vacuum pressure of 107 mbar with a drying temperature of 52°C for 13 h was the optimum drying condition for cantaloupe.

Enrichment of probiotic in apple and cantaloupe was carried out with isotonic sucrose solution or whole milk that contained $10^{10}$ CFU/ml of *Lactobacillus acidophilus* TISTR 1338, *Lactobacillus casei* TISTR 1340 or commercial *L. casei*. After the VI process, fruit samples contained a probiotic amount in the range of $10^7$ to $10^8$ CFU/g, whereas after the vacuum drying operation, the viable number of lactobacilli in the final products increased by one log arithmetic cycle (>$10^9$ CFU/g). The scanning electron micrographs revealed that the *L. acidophilus* TISTR 1338 cells were impregnated into the fruit tissues of apple and cantaloupe. The result of a sensory evaluation showed that the panelists could significantly differentiate the

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

intermediate moisture cantaloupe and apple products with and without *L. acidophilus* TISTR 1338 ($P<0.05$). Keeping the intermediate moisture apple and cantaloupe at 4°C could maintain a high survival rate of lactic acid bacteria. At chilled storage, the L* value and the sensory scores of the intermediate moisture apple and cantaloupe were higher than those stored at room temperature.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

| | | |
|---|---|---|
| **ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์** | การเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งพร้อมบริโภคโดยการเติมจุลินทรีย์แลคโตบาซิลลัส | |
| **ผู้เขียน** | นางสาวหทัยทิพย์ ร้องคำ | |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) | |
| **คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | รองศาสตราจารย์ ดร. อภิรักษ์ เพียรมงคล | อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก |
| | Dr. Tri Indrarini Wirjantoro | อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |
| | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จาตุพงศ์ วาฤทธิ์ | อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งเสริมเชื้อโปรไบโอติก โดยอาศัยกระบวนแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum impregnation (VI)) ก่อนนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum dryer) โดยศึกษาผลของชนิด และขนาดของชิ้นผลไม้, ระดับความดันสุญญากาศ, ชนิดของสารละลาย,ระยะเวลาในการแช่ภายใต้ความดันสุญญากาศ และความดันบรรยากาศของกระบวนการ VI จากนั้นจึงหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการอบแห้งแบบสุญญากาศ โดยศึกษาผลของระดับความดันสุญญากาศ, เวลา และอุณหภูมิ ต่อคุณสมบัติทางเคมี, กายภาพ และประสาทสัมผัสของแอปเปิ้ล, แคนตาลูป และมะม่วง จากการทดลองพบว่าระดับความดันสุญญากาศที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความสว่าง และค่า VI parameters ซึ่งประกอบด้วย WL, SG, X, $\gamma$, $\varepsilon_r$ และ $\varepsilon_e$ ของชิ้นผลไม้ทั้ง 3 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยที่ระดับความดัน 50 มิลลิบาร์ และสารละลายน้ำตาล จะมีค่าความสว่าง, WL, X, $\gamma$ และ $\varepsilon_e$ สูงที่สุด แต่มีค่า $\varepsilon_r$ ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับระดับความดันที่ต่ำกว่า รวมกับการใช้น้ำนมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะเดียวกันพบว่าแอบเปิ้ลมีค่า VI parameters สูงกว่าแคนตาลูป และมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ผลของขนาดชิ้นผลไม้, ระยะเวลาในการแช่ภายใต้ความดันสุญญากาศ และความดันบรรยากาศ โดยใช้ความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์และสารละลายน้ำตาล พบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการแช่ภายใต้ความดันสุญญากาศ และความดันบรรยากาศ ส่งผลให้ชิ้นแอปเปิ้ลและแคนตาลูปมีค่าความพรุนลดลง ในขณะที่ค่า WL, SG, $\gamma$, X และ $\varepsilon_e$ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทางสถิติ($P<0.05$) โดยแอปเปิ้ลมีค่า $\gamma$, X และ $\varepsilon_e$ สูงกว่าแคนตาลูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เช่นเดียวกับการใช้ชิ้นผลไม้ขนาดเล็ก ซึ่งมีค่า WL, SG, $\gamma$, X และ $\varepsilon_e$ สูงกว่าชิ้นผลไม้ขนาดใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากการทดลองนี้กล่าวได้ว่า กระบวนการ VI จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เมื่อใช้ระยะเวลาในการแช่ภายใต้ความดันสุญญากาศ และความดันบรรยากาศ ขั้นตอนละ 20 นาที ร่วมกับชิ้นผลไม้ขนาดเล็ก

จากผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งชิ้นแอปเปิ้ล และแคนตาลูปที่ผ่านกระบวนการ VI พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้อบแห้งส่งผลให้ค่า water activity, เปอร์เซ็นต์ผลผลิต และความชื้นของชิ้นผลไม้ลดลง ในขณะเดียวกันระดับความดันกลับส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อชิ้นผลไม้อบแห้งที่ทำการศึกษาโดยสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศของแอบเปิ้ลคือ ความดัน 200 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ 58°C ระยะเวลา 9 ชั่วโมง และแคนตาลูปคือ ความดัน 107 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ 52°C ระยะเวลา 13 ชั่วโมง ตามลำดับ

ผลของการเติมเชื้อโปรไบโอติก 3 สายพันธุ์คือ *L. Acidophilus* TISTR 1338, *L.casei* TISTR 1340 และ *L. casei* ทางการค้าที่ระดับความเข้มข้น $10^{10}$ CFU/มิลลิลิตร ลงในชิ้นแอปเปิ้ลและแคนตาลูป พบว่าชิ้นผลไม้หลังผ่านกระบวนการ VI มีปริมาณของเชื้อโพรไบโอติกประมาณ $10^7$ ถึง $10^8$ CFU/กรัม ในขณะที่หลังผ่านกระบวนการอบแห้ง ปริมาณเชื้อโพรไบโอติกเพิ่มขึ้นเป็น $10^9$ CFU/กรัม ซึ่งจากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่า *L. acidophilus* สามารถแทรกผ่านรูพรุนของชิ้นแอปเปิ้ล และแคนตาลูปได้ และพบว่าชิ้นผลไม้ที่เติมเชื้อโพรไบโอติกมีความแตกต่างทางประสาทสัมผัสกับชิ้นผลไม้ที่ไม่เติมเชื้อโพรไบโอติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาผลของสภาวะการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์พบว่า ตัวอย่างที่เก็บที่ 4°C มีค่าความสว่าง, การยอมรับจากผู้บริโภค และอัตราการเหลือรอดของ *L. acidophilus* สูงกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องตลอดอายุการเก็บรักษา ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แอปเปิ้ล และแคนตาลูปกึ่งแห้งที่อุณหภูมิ 4°C จึงมีความเหมาะสม และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีกว่าอุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved