Agricultural Sci. J. 39 : 3 (Suppl.) : 62-65 (2008) ว. วิทย. กษ. 39 : 3 (พิเศษ) : 62-65 (2551)

# การถ่ายเทมวลในเนื้อแก้วมังกร (Hylocereus undatus) ด้วยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน
# Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Dragon Fruit Flesh (Hylocereus undatus)

**ยงยุทธ เฉลิมชาติ[1]และ พิชญา บุญประสม[1]**
Yongyut Chalermchat[1] and Pichaya Boonprasom[1]

**Abstract**

Mass transfer during osmotic dehydration of dragon fruit flesh was studied. Dragon fruits with commercial maturity that had average total soluble solids to titratable acidity ratio equal to 46.65 were used in the experiment. Dragon fruit flesh were cut into a rectangular shape with a dimension of 5×5×5 cm, then osmotically dehydrated in the solution of sucrose, sodium chloride, calcium chloride, potassium sorbate, and potassium metabisulphite in the amount of 55, 2, 0.15, 0.25, and 0.25 grams, respectively in 100 grams of water for 5 hours at the temperature of 30, 40 and 50 °C. It was found that the moisture contents of dragon fruit flesh decreased rapidly at the first 30 minutes and slowly decreased when the time increased. The solution temperature significantly had an effect on the moisture content ($p<0.05$). Water diffusivity increased with increased temperature and had a value of $6.45\times10^{-10} \pm 0.48\times10^{-10}$, $7.17\times10^{-10} \pm 0.32\times10^{-10}$ and $10.02 \times10^{-10} \pm 1.88\times10^{-10}$ $m^2/s$ for 30, 40 and 50 °C respectively. Arrhenius model could be used to describe the effect of temperature on the diffusivities. The results showed that the temperature of the osmotic solution significantly increased solids gain percentage, and water loss percentage ($p<0.05$)

**Keywords:** Osmotic dehydration, Dragon fruit, Water diffusivity, Arrhenius, Water loss

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการถ่ายเทมวลสารในเนื้อแก้วมังกรด้วยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน โดยนำผลแก้วมังกรที่มีความสุกเชิงการค้า โดยมีอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เฉลี่ยเท่ากับ 46.65 หั่นเนื้อแก้วมังกรเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 5×4×1 เซนติเมตร และแช่ในสารละลายที่ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมซอร์เบต และโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ เท่ากับ 55, 2, 0.15, 0.25 และ 0.25 กรัม ตามลำดับในน้ำ 100 กรัม เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิของสารละลาย 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณความชื้นของเนื้อแก้วมังกรลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก และค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ เมื่อระยะเวลานานขึ้น โดยที่อุณหภูมิของสารละลายมีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการทดลอง พบว่า สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำออกจากเนื้อแก้วมังกรมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นและมีค่าเท่ากับ $6.45\times10^{-10} \pm 0.48\times10^{-10}$,$7.17\times10^{-10} \pm 0.32\times10^{-10}$ และ $10.02\times10^{-10} \pm 1.88\times10^{-10}$ ตารางเมตรต่อวินาที สำหรับอุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และผลของอุณหภูมิต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและของแข็งเป็นไปตามแบบจำลองของ Arrhenius การแช่เนื้อแก้วมังกรในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

**คำสำคัญ**: ออสโมติกดีไฮเดรชัน, แก้วมังกร, สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ, Arrhenius, การสูญเสียน้ำ

## คำนำ

แก้วมังกร (dragon fruit, *Hylocereus spp.* ) เป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างมากในปัจจุบัน ชาวจีนจัดว่าแก้วมังกรเป็นผลไม้แห่งโชคลาภ การปลูกแก้วมังกรในประเทศไทยโดยเฉพาะในเขตภาคเหนือมีการขยายตัวสูงมาก ทำให้ผลผลิตที่ได้มีจำนวนมากและส่งผลต่อราคาที่ต่ำลง ดังจะเห็นได้จากราคาแก้วมังกรที่มีขายกันอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคม 2549 ที่ผ่านมา มีราคาประมาณกิโลกรัมละ 50 บาท ซึ่งหากเปรียบเทียบกับเมื่อหลายปีที่แล้วจะเห็นว่าราคาตกต่ำลงเรื่อยๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของพืชผลทางการเกษตร ดังนั้นหากได้มีการนำเอาแก้วมังกรมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ก็จะช่วยเพิ่มมูลค่า

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[1] Department of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry /Postharvest Technology Innovation Center, Chiangmai University, Chiangmai 50200

ลดปริมาณแก้วมังกรที่รับประทานสดในท้องตลาด ทำให้ราคาขายแก้วมังกรสดสูงขึ้น การอบแห้งเป็นกรรมวิธีการแปรรูปผลไม้วิธีหนึ่งที่มีความสำคัญ และใช้กันอย่างแพร่หลาย ผลไม้อบแห้งเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศ โดยทั่วไปการผลิตผลไม้อบแห้งแบบดั้งเดิมใช้ความร้อนสูงและเวลานานเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียสี กลิ่น รสธรรมชาติ และทำให้เนื้อสัมผัสแข็ง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ด้อยคุณภาพ จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการทำแห้งด้วยการใช้สารละลายออสโมติก เพื่อลดความชื้นในอาหารขั้นต้นก่อนที่จะนำไปอบแห้งด้วยลมร้อนและเป็นการปรับปรุงรสชาติของผลไม้ได้อีกด้วย สารละลายออสโมติกเป็นสารที่ใช้เพื่อเพิ่มแรงดันออสโมติกให้สารละลาย ในแง่ของการถ่ายเทมวล เมื่อแรงดันออสโมติกภายนอกเซลเพิ่มมากกว่าแรงดันออสโมติกของสารละลายภายในเซล น้ำจะแพร่ออกจากเซล ขณะที่ตัวถูกละลายจะแพร่เข้าสู่เซล ทั้งนี้เป็นตามกฎการแพร่ของฟิก เนื่องจากระบบจะต้องพยายามรักษาสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ สารละลายออสโมติกจะต้องมีค่าปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) ต่ำ เป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค มีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ไม่มีพิษ ไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหาร โดยทั่วไปสารออสโมติกที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส แลคโตส กลูโครส และฟรุกโตส เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำตาลแอลกอฮอล์ เช่น กลีเซอรอล และเกลือโซเดียมคลอไรด์ เนื่องจากกระบวนการลดความชื้นด้วยสารละลายออสโมติกเกี่ยวข้องโดยตรงกับการถ่ายมวลของโมเลกุลน้ำและโมเลกุลของแข็ง การศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการความชื้นในกระบวนการทำแห้งด้วยสารละลายออสโมติก รวมทั้งเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในเนื้อแก้วมังกร

## อุปกรณ์และวิธีการ

นำผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาวที่มีความสุกเชิงการค้า โดยมีอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เฉลี่ยเท่ากับ 46.65 หั่นเนื้อแก้วมังกรให้เป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 5×4×1 เซนติเมตร สุ่มตัวอย่างเนื้อแก้งมังกรบางส่วนไปหาความชื้นด้วยวิธีปฐมภูมิ (primary method) และหา ของแข็งที่ละลายได้ ตัวอย่างแก้วมังกรทุกชิ้นจะถูกนำไปชั่งเพื่อทราบน้ำหนักก่อนการแช่ จากนั้นแช่ตัวอย่างแก้วมังกรลงในสารละลายออสโมติกซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมซอร์เบต และโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ เท่ากับ 55, 2, 0.15, 0.25 และ 0.25 กรัม ตามลำดับ ในน้ำ 100 กรัม เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิของสารละลาย 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส โดยที่สารละลายมีการกวนตลอดเวลาที่ความเร็วรอบของใบพัดเท่ากับ1000 รอบต่อนาที ทำการสุ่มชิ้นแก้วมังกรออกมาทุกๆ 20 นาที เพื่อวิเคราะห์หาความชื้นและของแข็งที่เปลี่ยนแปลง

## ผล

### 1. ผลของอุณหภูมิต่อความชื้นและของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

เมื่อแช่ตัวอย่างแก้วมังกรลงในสารละลายออสโมติกที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส แล้วจับเวลาสุ่มตัวอย่างขึ้นมาวัดความชื้นและของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ที่เวลาต่างๆ พบว่า ความชื้นในตัวอย่างแก้วมังกรลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วงเวลา 30 นาทีแรก และค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ ในเวลาต่อมา นอกจากนี้ยังพบอีกว่า อุณหภูมิส่งผลต่อความชื้น กล่าวคือ เมื่อแช่ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นของแก้วมังกรจะต่ำลง แต่เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในตัวอย่างแก้วมังกร จะพบว่า ปริมาณดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Figure 1)

### 2. ผลของอุณหภูมิต่อค่าการสูญเสียน้ำและsolid gain

ค่าการสูญเสียน้ำ (water loss) คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักน้ำที่ลดลงในตัวอย่างที่เวลาใดๆต่อน้ำหนักของตัวอย่างที่เวลาเริ่มต้น จากการทดลอง พบว่า water loss มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่อเวลาในการแช่นานขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นได้อีก แสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมงแล้ว ยังมีน้ำเหลืออยู่ในตัวอย่างอีกมาก ทั้งนี้เนื่องจากแก้วมังกรมีน้ำค่อนข้างมาก และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของของแข็งพบว่า ปริมาณของแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการแช่เพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของของแข็ง

### 3. ผลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่

สัมประสิทธิ์การแพร่ของโมเลกุลที่แพร่ตามกฎข้อที่สองของฟิกนั้นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างมากเนื่องจากเป้นค่าที่บ่งบอกถึงอัตราเร็วในการแพร่ของโมเลกุล หากค่าสัมประสิทธิ์การแพร่มีค่าสูง ย่อมจะทำให้การลดความชื้นด้วยสารละลายออสโมติกเร็วมากขึ้น สัมประสิทธิ์การแพร่สามารถหาได้จากการทดลอง เมื่อพล๊อตกราฟระหว่างแกนตั้ง ซึ่งเป็นอัตราส่วนความชื้น (หรืออัตราส่วนของแข็ง) ในสเกลแบบล็อก กับ เวลา ในแกนนอนในสเกลแบบเส้นตรง และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่หาได้จากความชันของเส้นตรงจากกราฟดังกล่าว ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 1 (Table 1)

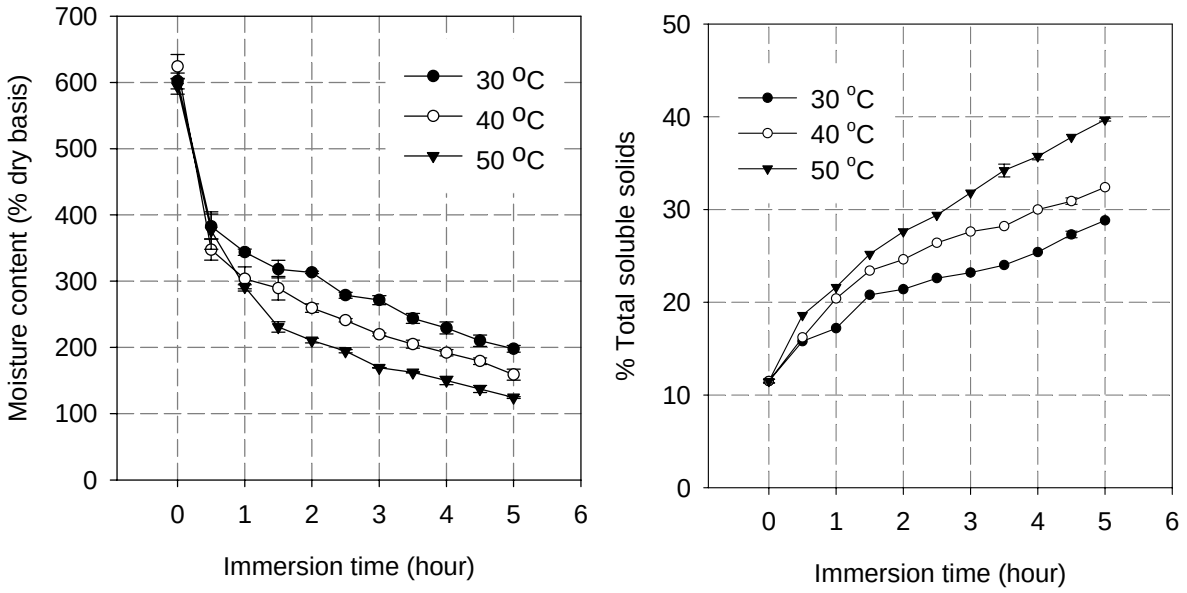


Figure 1 Changes in moisture content and total soluble solids in dragon fruit flesh during osmotic dehydration

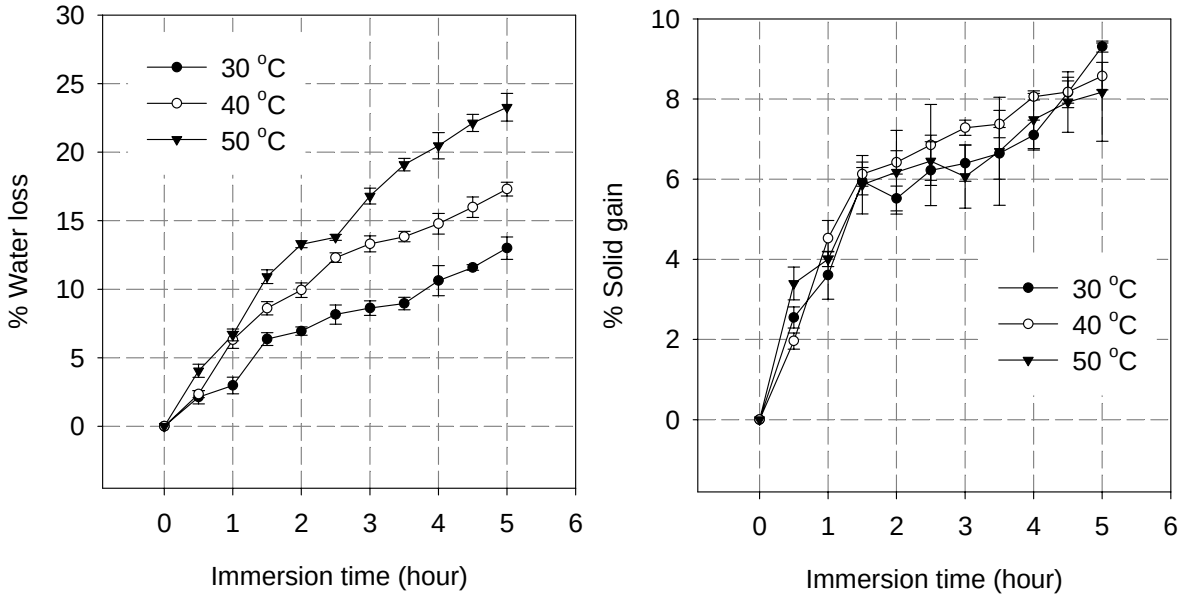


Figure 2 Water loss and solid gain in dragon fruit flesh during osmotic dehydration

Table 1 Calculated diffusivities of water and solids in dragon fruit flesh

| Temperature (°C) | Calculated diffusivities ($m^2/s$) | |
|---|---|---|
| | Water | Solids |
| 30 | $6.448\times10^{-10} \pm 0.485\times10^{-10}$ | $4.200\times10^{-10} \pm 0.203\times10^{-10}$ |
| 40 | $7.173\times10^{-10} \pm 0.324\times10^{-10}$ | $4.708\times10^{-10} \pm 0.181\times10^{-10}$ |
| 50 | $10.022\times10^{-10} \pm 1.879\times10^{-10}$ | $5.457\times10^{-10} \pm 0.194\times10^{-10}$ |

## วิจารณ์ผล

จากการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทมวลของน้ำและของแข็งในเนื้อแก้วมังกร โดยพิจารณาผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่เนื้อแก้วมังกรในสารละลายออสโมติก พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น น้ำจะถูกกำจัดออกจากเนื้อเยื่อแก้วมังกรเพิ่มขึ้นขณะที่ของแข็งจะสามารถแพร่เข้าสู่เนื้อแก้วมังกรเพิ่มขึ้น ผลของอุณหภูมิต่อการถ่ายเทมวลสังเกตได้จากค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ใน Table 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์การแพร่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สัมประสิทธิ์การแพร่จะมีค่าสูงขึ้นด้วย ชี้ให้เห็นว่า การลดความชื้นจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นหากทำการแช่ที่อุณหภูมิสูง ในการทดลองครั้งนี้ปริมาตรของสารละลายออสโมติกเมื่อเทียบกับปริมาตรของตัวอย่างแก้วมังกรจะมีค่าสูงมากเพียงพอที่จะกล่าวได้ว่า ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง นอกจากนี้ เมื่อวิเคราะห์ถึงผลของอุณหภูมิตามแบบจำลองของ Arrhenius พบว่า แบบจำลองดังกล่าวสามารถนำมาใช้อธิบายได้ดี ซึ่งกราฟที่ได้จากการพล็อตระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ เป็นเส้นตรง โดยที่มีค่า $R^2$ เท่ากับ 0.6948 และ 0.9152 สำหรับ น้ำและของแข็งตามลำดับ

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในการสนับสนุนทุนวิจัยและคณะอุตสาหกรรมเกษตรในการสนับสนุนในด้านเครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

Aguilera, J.M. and Stanley, D.W. 1990. Microstructural Principles of Food Processing & Engineering, Elsevier, New York.

Carslaw, H.S. and Jaeger, J.C. 1959. Conduction of Heat in Solids. Clarendon Press, Oxford.

Crank, J. 1975. The Mathematics of Diffusion. Clarendon Press, Oxford.

Lewis, M.J. 1990. Physical Properties of Foods and Food Processing Systems, Ellis Horwood, New York.

Rastogi, N.K., K.S.M.S. Raghavarao, K. Niranjan and D. Knorr. 2002. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. Trends in Food Science & Technology, 13, 48-59.