

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพของ  
มะนาวพันธุ์แป้นและพันธุ์ตาฮิติ

The Chlorophyll Degradation and Chemical and Morphological Changes in Lime cvs. Paan and Tahiti

นพรัตน์ ทัดมาลา<sup>1</sup> วาริช ศรีละออง<sup>1</sup> สมัคร แก้วสุกแสง<sup>2</sup> ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ<sup>1</sup> และเฉลิมชัย วงษ์อารี<sup>1</sup>  
Nopparat Tatmala<sup>1</sup>, Varit srilaong<sup>1</sup>, Samak Kaewsuksaeng<sup>2</sup>, Nutthachai Pongprasert<sup>1</sup> and Chalermchai Wongs-Aree<sup>1</sup>

Abstract

Lime fruit is an important economic crop grown in Thailand. Mature green fruit is the preferable stage for the consumer due to the fruit's aromatic compounds and exotic flavors. Peel yellowing is the main problem of lime during the postharvest period which limits the marketable life. The objective of this study was to investigate the chlorophyll degradation, chlorophyll-degrading enzymes as chlorophyllase and pheophytinase activities, chemical properties and physical properties of 2 lime cultivars (cvs. Paan and Tahiti) at 25 °C. The results showed that Tahiti lime had slower chlorophyll degradation than Paan lime. The changes of chlorophyll a and b contents, total chlorophyll content, chlorophyllase and pheophytinase activities of Tahiti lime were less than Paan lime. The development period of the peel color changed from green to yellow of Tahiti found was about 24 days; whereas Paan lime was about 18 days. Moreover, Tahiti lime showed the decrease in hue angle values lower than Paan lime. However, Paan lime had more total titratable acidity (TA), total soluble solids (TSS) and total ascorbic acid than Tahiti lime.

**Keywords:** lime, quality, chlorophyll degradation

บทคัดย่อ

มะนาวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในประเทศไทย โดยมะนาวระยะที่เปลือกยังมีสีเขียวเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเนื่องจากมีกลิ่นรสที่หอมเฉพาะตัว สำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะนาวคือการเหลืองของเปลือก ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและมีอายุการวางจำหน่ายที่สั้น การศึกษานี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ในมะนาว 2 สายพันธุ์ คือพันธุ์แป้นและพันธุ์ตาฮิติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามะนาวพันธุ์ตาฮิติมีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ช้ากว่ามะนาวพันธุ์แป้น โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase และ pheophytinase ในมะนาวพันธุ์ตาฮิติมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าในมะนาวพันธุ์แป้น ซึ่งสังเกตได้จากมะนาวพันธุ์ตาฮิติมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองสมบูรณ์ใน 24 วัน ในขณะที่มะนาวพันธุ์แป้นมีการเปลี่ยนสีเปลือกภายใน 18 วัน โดยมะนาวพันธุ์ตาฮิติมีการลดลงของค่า Hue angle ช้ากว่ามะนาวพันธุ์แป้น อย่างไรก็ตามมะนาวพันธุ์แป้นมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณวิตามินซีทั้งหมด มากกว่ามะนาวพันธุ์ตาฮิติ

**คำสำคัญ:** มะนาว, คุณภาพ, การสลายตัวของคลอโรฟิลล์

คำนำ

มะนาวเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยมีการปลูกกันทั่วทุกภาคของประเทศไทยให้โดยในปี พ.ศ. 2550 ให้ผลผลิต 162,747 ตันต่อปี มีมูลค่าของผลผลิต 6,489 ล้านบาท โดยพันธุ์ที่มีการปลูกกันมากได้แก่ พันธุ์แป้น (*Citrus aurantifolia* Swingle) โดยผลผลิตจะออกสู่ตลาดในช่วงเดือนกรกฎาคมจนถึงสิงหาคม (Pranamornkith *et al.*, 2005) สำหรับมะนาวสายพันธุ์ตาฮิติ (*Citrus latifolia* Tan.) จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับมะนาวที่ปลูกในประเทศไทย ซึ่งทำการเก็บเกี่ยวในระยะที่สีเปลือกมีสีเขียวเช่นเดียวกันกับมะนาวพันธุ์แป้น ในปัจจุบันการกำหนดราคาของมะนาวจะขึ้นอยู่กับคุณภาพภายนอกคือสีของเปลือกผลหากสีของเปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจะส่งผลให้ราคาลดลง สำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

<sup>1</sup> Division of Postharvest Technology, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

<sup>2</sup> สาขาพืชศาสตร์ คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93110

<sup>2</sup> Department of Plant Science, Faculty of Technology and Community Development, Thaksin University, Phatthalung 93110

ของผลมะนาวเกิดขึ้นเร็วมาก โดยมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง (Sri-laong *et al.*, 2011) ทำให้มีอายุการวางจำหน่ายที่สั้น ส่งผลกระทบต่อราคาของมะนาวทำให้ราคาต่ำลงอย่างมาก การสูญเสียสีเขียวของเปลือกผลมะนาวมีสาเหตุมาจากการสลายตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) โดยกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ถูกกระตุ้นโดยกิจกรรมเอนไซม์หลักที่เกี่ยวข้องกับกลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้แก่ chlorophyllase และ pheophytinase เป็นต้น (Kaewsuksaeng, 2011) ซึ่งเอนไซม์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยทำให้เกิดการทำลายหรือย่อยโครงสร้างของสารสีคลอโรฟิลล์ก่อให้เกิดการสะสมอนุพันธ์แต่ละชนิด อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาในมะนาวสายพันธุ์ไทยและมะนาวสายพันธุ์ตาดิถีที่เก็บเกี่ยวใหม่ๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าประสงค์เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและเคมี รวมทั้งรูปแบบการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในมะนาว 2 สายพันธุ์ คือสายพันธุ์ไทยและสายพันธุ์ตาดิถี โดยมุ่งเน้น ศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์และการทำบริสุทธิเอนไซม์ chlorophyllase และเอนไซม์ pheophytinase เพื่อทราบถึงคุณลักษณะทางเคมีของเอนไซม์ดังกล่าว

**อุปกรณ์และวิธีการ**

ในการทดลองครั้งนี้ใช้มะนาวพันธุ์แป้น และพันธุ์ตาดิถี ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พื้นที่การศึกษาบางขุนเทียน กรุงเทพฯ หลังจากนั้นทำการคัดเลือกผลมะนาวที่มีขนาดผลใกล้เคียงกัน มีสีเขียวสม่ำเสมอเกือบทั้งผล ไม่มีรอยตำหนิ ลักษณะการเกิดโรค หลังจากนั้นนำมาทำความสะอาด ตัดแต่งขั้วผลให้เรียบร้อย ผึ่งให้แห้ง แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ผลจนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized design) แต่ละการทดลองมี 3 ซ้ำ (ซ้ำละ 10 ผล) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทุกๆ 3 วัน

**ผล**

จากการศึกษาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และคุณภาพของมะนาว 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์แป้น และพันธุ์ตาดิถี โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) พบว่ามะนาวพันธุ์แป้น และพันธุ์ตาดิถี มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด และการเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle ในระหว่างการเก็บรักษาดังกล่าวอย่างต่อเนื่องจนหมดอายุ และในมะนาวพันธุ์ตาดิถีพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า L\* value มีค่าสูงมะนาวพันธุ์แป้น (Figure 1A, B และC) ในขณะที่เดียวกันพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในของมะนาวพันธุ์แป้นมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (Total ascorbic acid) สูงกว่ามะนาวพันธุ์ตาดิถี (Figure 2A, B และC)

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์หรือการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาวพันธุ์ตาดิถีเกิดขึ้นช้ากว่ามะนาวพันธุ์แป้น โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี (Figure 3A, B) และกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase และ pheophytinase (Figure 4A, B) ในมะนาวพันธุ์ตาดิถีมีการเปลี่ยนแปลงต่ำกว่าในมะนาวพันธุ์แป้น ซึ่งสังเกตได้จากมะนาวพันธุ์ตาดิถีมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองสมบูรณ์ใน 24 วัน ในขณะที่มะนาวพันธุ์แป้นมีการเปลี่ยนสีเปลือกภายใน 18 วัน

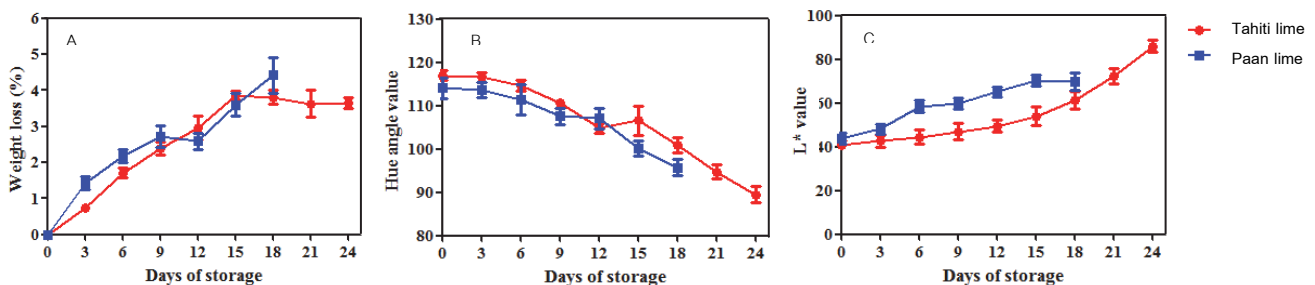


Figure 1 weight loss (A) Hue angle (B) and L\* value (C) of 2 lime cultivars (cvs. Paan and Tahiti) at 25 °C. Data represents ± SE, of three replications.

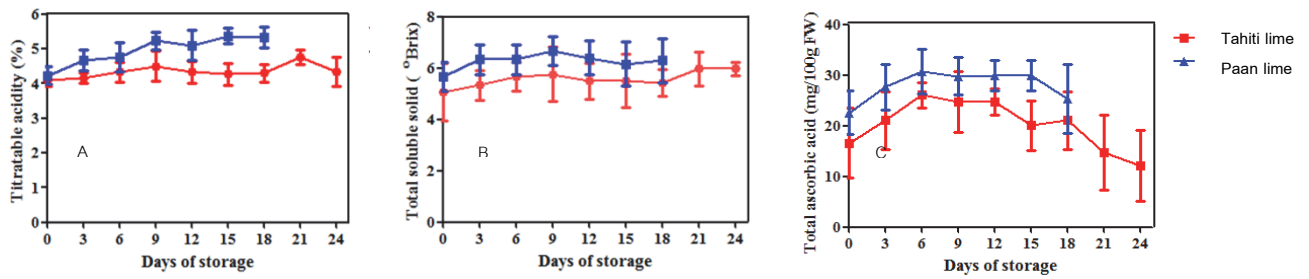


Figure 2 Titratable acidity (A) total soluble solids (B) and total ascorbic acid (C) of 2 lime cultivars (cvs. Paan and Tahiti) at 25 °C. Data represents ± SE, of three replications.

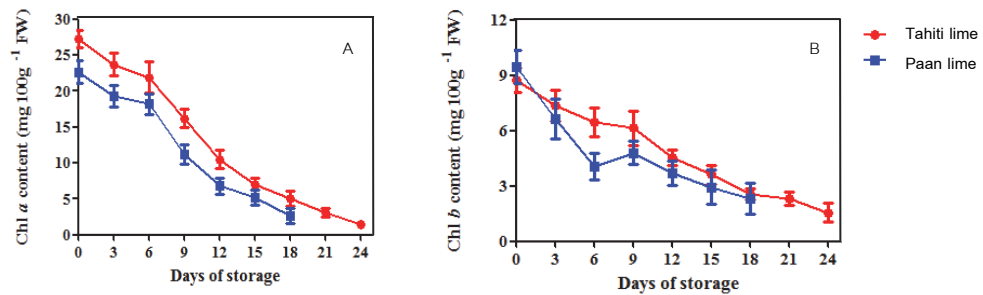


Figure 3 Chlorophyll a (A) and Chlorophyll b (B) content of 2 lime cultivars (cvs. Paan and Tahiti) at 25 °C. Data represents ± SE, of three replications.

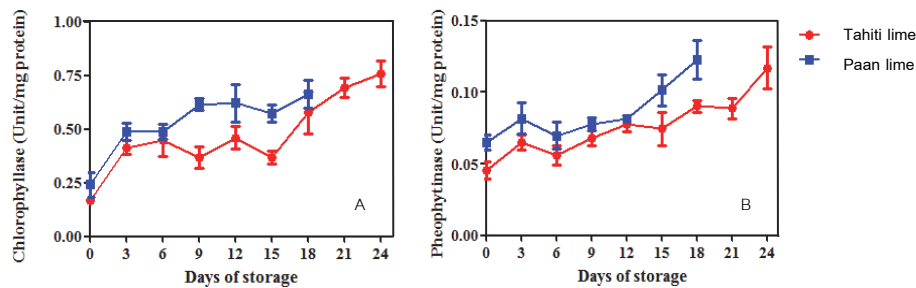


Figure 4 Chlorophyllase activity (A) and Pheophytinase activity (B) content of 2 lime cultivars (cvs. Paan and Tahiti) at 25 °C. Data represents ± SE, of three replications.

### วิจารณ์ผล

จากการศึกษาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในมะนาวพันธุ์แป้น และพันธุ์ต้ายิติ ซึ่งมะนาวพันธุ์ต้ายิติมีการเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่ช้ากว่ามะนาวพันธุ์แป้น เนื่องจากมะนาวพันธุ์ต้ายิติจะมีเปลือกที่หนากว่า และสีเปลือกที่เขียวเข้มกว่ามะนาวพันธุ์แป้น และการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก หรือการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase และ pheophytinase การสูญเสียสีเขียวของเปลือกผลมะนาวมีสาเหตุมาจากการสลายตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) โดยกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ถูกกระตุ้นโดยกิจกรรมเอนไซม์หลักที่เกี่ยวข้องกับกลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้แก่ chlorophyllase, Mg-chelatase, pheophorbide และ Pheophytinase เป็นต้น ซึ่งเอนไซม์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยทำให้เกิดการทำลายหรือย่อยโครงสร้างของสารสีคลอโรฟิลล์ก่อให้เกิดการสะสมอนุพันธ์แต่ละชนิด (Silaong *et al.*, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kaewsuksaeng (2011) ได้ศึกษากิจกรรมเอนไซม์ pheophytinase ในมะนาวพันธุ์ Tahitian (*Citrus latifolia* Tan.) ที่ผ่านการเก็บรักษา โดยนำเข้าจากต่างประเทศ พบว่ากิจกรรมเอนไซม์ pheophytinase มีกิจกรรมที่สูงขึ้น สอดคล้องกับการเหลืองของเปลือกมะนาว โดยมีผลการทดลองเช่นเดียวกันกับการศึกษาในบริวคโครีหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีกิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase สูง ในขณะที่ดอกย่อยสีเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองของช่อดอก (Aiamla-or *et al.*, 2012) และ (Kaewsuksaeng *et al.*, 2010) จากงานวิจัยที่

ผ่านมาจะเห็นได้ว่าเอนไซม์ pheophytinase มีบทบาทสำคัญในกลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในพืชเช่นเดียวกับเอนไซม์ชนิดอื่นๆ

### สรุป

จากการทดลองมะนาวพันธุ์แป้นมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณวิตามินซีทั้งหมด สูงกว่ามะนาวพันธุ์ตาสีติ และในมะนาวพันธุ์ตาสีติมีการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงค่าสี การเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ กิจกรรมเอนไซม์ Chlorophyllase และ Pheophytinase ต่ำกว่า มะนาวพันธุ์แป้น และในมะนาวพันธุ์ตาสีติมีอายุการเก็บรักษานานกว่าพันธุ์แป้นโดยมะนาวพันธุ์แป้นมีอายุการเก็บรักษา 18 วัน และมะนาวพันธุ์ตาสีติมีอายุการเก็บรักษา 24 วัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกที่เกิดขึ้นซ้ำในมะนาวพันธุ์ตาสีติอาจจะขึ้นอยู่กับความเข้มของเปลือกที่มีสีเข้มมากกว่ามะนาวพันธุ์แป้น

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ที่อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือวิทยาศาสตร์

### เอกสารอ้างอิง

- Aiamla-or, S., N. Tetsuya, M. Shigyo and N. Yamauchi. 2012. Pheophytinase activity and gene expression of chlorophyll degrading enzymes relation to UV-B treatment in postharvest broccoli (*Brassica oleracea* L. Italica Group) florets. *Postharvest Biology and Technology* 63: 60–66.
- Kaewsuksaeng, S., N. Yamauchi, Y. Funamoto, S. Aiamla-or, T. Mori, M. Shigyo and S. Kanlayanarat. 2010. "Partially purification of Mg-dechelatase in relation to chlorophyll degradation in broccoli (*Brassica oleracea* L. Italica Group) florets". *Acta Horticulturae* 875: 509 – 514.
- Kaewsuksaeng, S. 2011. Chlorophyll degradation in horticultural crops. *Walailak Journal Science and Technology* 8(1): 9-19.
- Pranmornkith, T., A.J. Mawson and J.A. Heyes. 2005. Effect of CA and alternative postharvest treatments on quality of lime (*Citrus latifolia* Tanaka) fruit. pp. 21–27. *In: Proceedings of 9th International Controlled Atmosphere Research Conference*, July 5–10, 2005, Michigan State University, ISHS.
- Srilaong, V., S. Aiamla-or, A. Soontornwat, M. Shigyo and N. Yamauchi. 2011. UV-B irradiation retards chlorophyll degradation in lime (*Citrus latifolia* Tan.) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 59: 110–112.