



การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการเสื่อมสภาพของ ใบเฟินนาคราชหลังเก็บเกี่ยว

Biochemical Changes during Frond Senescence of Rabbit's Foot Fern (*Davallia* sp.) Postharvest

เพียงภัสสร โค้ววิลัยแสง, มณฑินี ธีรารักษ์*

ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Piangpassorn Kowwilaisaeng, Montinee Teerarak*

Department of Plant Production Technology, School of Agricultural Technology,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

Received 27 April 2021; Received in revised 5 July 2021; Accepted 2 August 2021

บทคัดย่อ

ใบเฟินนาคราช (*Davallia* sp.) นิยมนำมาตกแต่งแจกันร่วมกับดอกไม้ แต่ใบเฟินนาคราชมีอายุสั้นเพียง 5 ถึง 7 วัน การวิจัยในครั้งนี้จึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราชหลังการเก็บเกี่ยว โดยคัดเลือกใบเฟินที่มีสีเขียวและสดสำหรับใช้ในการทดลองและนำไปปักแจกันในน้ำกลั่น บันทึกน้ำหนักสด ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และมาลอนไดอัลดีไฮด์ ในระหว่างการเสื่อมสภาพของใบเฟิน โดยแบ่งเป็น 5 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ใบมีสีเขียวและสด (เริ่มต้นการทดลอง) ใบเริ่มมีสีเหลือง 25 เปอร์เซ็นต์ ใบมีสีเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ ใบแห้งและสูญเสียความเขียว 75 เปอร์เซ็นต์ และระยะที่ 5 ใบแห้งและสูญเสียความเขียว 100 เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละระยะขึ้นอยู่กับการพัฒนาของใบเฟินระหว่างการปักแจกัน ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักของเฟินลดลงอย่างต่อเนื่อง ในระยะที่ 3-5 พบปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่า ใบเฟินระยะที่ 1 พบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่ำกว่าใบเฟินระยะที่ 2-5 และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่วัยที่ 3 ถึงการเสื่อมสภาพในระยะที่ 5 ผลการศึกษาแสดงว่าการเสื่อมสภาพของเฟินนาคราชมีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และการลดลงของน้ำหนักสด ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

คำสำคัญ: เฟินนาคราช; การเสื่อมสภาพ; คลอโรฟิลล์; ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์; มาลอนไดอัลดีไฮด์

Abstract

Rabbit's foot fern (*Davallia* sp.) is often used to decorate the vase and flower arrangements. However, the longevity is very short and just 5 to 7 days. This study investigated the biochemical changes during frond senescence in rabbit's foot fern after harvest. Freshness and green fronds (stage 1) were used in this experiment and were held in a vase containing distilled water. During frond development and senescence, fresh weight, chlorophyll, carotenoid, H_2O_2 and malondialdehyde content were monitored. Development of rabbit's foot fern was divided into 5 stages viz., stage 1 – freshness and green frond (at the beginning of the experiment), stage 2 – yellow frond area of 25%, stage 3 – yellow frond area of 50%, stage 4 – desiccation and chlorosis on 75 % of frond area and stage 5 – desiccation and chlorosis on 100% of frond area, depending on their development during the vase period. The results showed that the fresh weight of fronds continuously decreased at all stages during the vase period. The frond showed a significantly lower chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoid content at stages 3–5. In addition, fronds in stage I showed lower malondialdehyde content than in stages 2–5, and H_2O_2 content showed a rapid increase at stages 3 until senescence (stage 5). The results suggested that the rabbit's foot fern senescence was related to the rise of malondialdehyde and H_2O_2 content and the decrease of fresh weight, chlorophyll, and carotenoid content.

Keywords: Rabbit's foot fern; Senescence; Chlorophyll; Hydrogen peroxide; Malondialdehyde

1. บทนำ

การเสื่อมสภาพของใบไม้หลังการเก็บเกี่ยวเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น การขาดน้ำ หรือการที่ก้านใบคุดน้ำได้น้อย เนื่องจากมีเชื้อจุลินทรีย์ที่มาจากภาชนะหรือน้ำในภาชนะไม่สะอาด เข้าไปอุดตันท่อลำเลียงน้ำของพืช [1] หรืออาหารจากท่อลำเลียงอาหารไหลออกมาจากบริเวณรอยตัดของก้านใบเป็นอาหารให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตเข้าไปอุดตันก้านใบไม่ได้ ส่วนการเหลืองของใบเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในใบ ซึ่งโมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกสร้างขึ้นและสลายตัวอยู่ตลอดเวลา แต่ในระหว่างการเสื่อมสภาพใบ การสลายตัวของคลอโรฟิลล์จะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าจึงทำให้สีเขียวหายไป การสลายตัวของคลอโรฟิลล์จึงบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพ [2] การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เกิดจากไฮโดรเจนเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ และทำให้

เกิดสาร pheophytin โดยการแตกออกของหมู่ไพทอล ซึ่งจะเกิด chlorophyllides เนื่องจากเอนไซม์ chlorophyllase และปฏิกิริยาออกซิเดชัน [3] ไซโตโคนินเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทชะลอการเสื่อมสภาพของใบ โดยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ กระตุ้นการพัฒนาของคลอโรพลาสต์ ทำให้การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ช้าลง และยังช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์โปรตีน และอาร์เอ็นเอ [4] นอกจากนี้ไซโตโคนินแล้วยังพบว่าทำให้ gibberellic acid (GA_3) จากภายนอกสามารถชะลอการเสื่อมสภาพ และช่วยรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ [5] สาเหตุการเสื่อมสภาพของใบอีกประการหนึ่งคือ เมื่อพืชเผชิญกับสภาวะเครียดจะเกิดการเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระในกลุ่ม reactive oxygen species (ROS) [6] เนื่องจากกระบวนการหายใจระดับเซลล์ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนที่มากเกินไป ทำให้อิเล็กตรอนเหล่านี้ไป

รวมตัวกับน้ำหรือออกซิเจนจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระ กลุ่มอนุมูลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ superoxide anion ($O_2^{\bullet-}$) hydroxyl radical ($\bullet OH$) hydroperoxyl radical (HO_2^{\bullet}) alkylperoxyl radical (RO_2^{\bullet}) alkoxy radical (RO^{\bullet}) และ carbonate ion (CO_3^{2-}) อนุมูลอิสระออกซิเจนเป็นสารที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเยื่อหุ้มเซลล์ และเกิดความเสียหายต่อโมเลกุลที่สำคัญ ทั้งกรดนิวคลีอิก รงควัตถุ กรดไขมัน และโปรตีนส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ [7, 8] คลอโรพลาสต์เป็นแหล่งผลิตอนุมูลอิสระออกซิเจนที่สำคัญ เนื่องจากมี superoxide radicals ($O_2^{\bullet-}$) และ singlet oxygen (1O_2) เกิดจากสถานการณ์รีดอกซ์ไม่สมดุลระหว่างการส่งอิเล็กตรอนในคลอโรพลาสต์ในสถานะที่มีความเครียด [9] อนุมูลอิสระออกซิเจนเกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของพืช แต่อัตราการผลิตอนุมูลอิสระออกซิเจนและความเสียหายของเซลล์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องนั้นจะเพิ่มขึ้นในสถานะที่พืชเผชิญความเครียด เมื่อพืชเกิดการเสื่อมสภาพ เซลล์ที่เสื่อมสภาพจะผลิตอนุมูลอิสระออกซิเจนเพิ่มขึ้น เมื่อพืชได้รับความเครียดจากสภาพต่างๆ จะสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารออกซิไดส์และเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระได้ง่าย ผลิตอย่างต่อเนื่องในกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนที่ไม่โทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ การให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากภายนอกส่งเสริมการเสื่อมสภาพของพืช [10] Hung และ Kao (2004) [11] พบว่าการชักนำการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในพืช

เฟินนาคราช (*Davallia* sp.) จัดอยู่ในวงศ์ Davalliaceae ลำต้นเป็นเหง้าสีน้ำตาลอ่อนและมีเกล็ดสีน้ำตาลปกคลุม ใบ (fronds) มีสีเขียวเข้มเป็นใบประกอบแบบขนนก 3 ชั้น ก้านใบสีเขียวแกมน้ำตาลยาว 15-20 เซนติเมตร แผ่นใบมีรูปร่างสามเหลี่ยมกว้าง 25-30 เซนติเมตร ยาว 30-40 เซนติเมตร ปลายใบแหลม โคนรูปกลม ขอบใบหยักฟันเลื่อย ใบย่อยมีลักษณะคล้ายสามเหลี่ยมหน้าจั่วแตกออกเป็นคู่เอียงกัน ใบย่อยคู่ล่างมี

ขนาดใหญ่ที่สุด ใบที่สร้างสปอร์จะหยักเว้าลึกกว่าใบที่ไม่สร้างสปอร์ พบอับสปอร์เป็นจุดอยู่ที่ปลายเส้นใบเรียงตามขอบใบทางด้านหลังใบ อับสปอร์เมื่ออ่อนมีสีเหลืองเมื่อแก่มากขึ้นมีสีน้ำตาลอ่อน [12] ใบเฟินนาคราชหลังการเก็บเกี่ยวมีอายุสั้นเพียง 5 ถึง 7 วัน เมื่อใบหมดอายุจะเหลืองเหี่ยวแห้งไปทั้งใบ [13] ลักษณะการใช้งานใบเฟินนาคราชในประเทศนิยมใช้ร่วมในการแจกันดอกไม้ จัดช่อร่วมกับดอกกล้วยไม้หรือไม้ตัดดอกอื่นๆ ตลอดจนการใช้ร่วมกับดอกไม้ในจัดตกแต่งสถานที่ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีระหว่างการเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราชหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อเป็นแนวทางในการยืดอายุใบเฟินนาคราชหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมใบเฟินนาคราช

ใบเฟินที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ซื้อมาจากสวนเฟินในจังหวัดเชียงใหม่ ขนส่งมาห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ภายในเวลา 48 ชั่วโมง คัดเลือกใบเฟินนาคราชที่มีขนาดใบกว้าง 25 ± 3 เซนติเมตร และยาว 30 ± 3 เซนติเมตร ก้านใบยาว 20 ± 3 เซนติเมตร ใบมีความสมบูรณ์ มีสีเขียวสด ไม่พบการเสื่อมสภาพ นำใบเฟินนาคราชที่คัดเลือกแล้ว มาล้างทำความสะอาด ตัดก้านใบยาว 15 เซนติเมตร โดยวัดความยาวเริ่มจากใบล่างสุดของใบเฟินและตัดเฉียง 45 องศา นำไปปักแจกันใต้น้ำกลั่นในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วยพาราฟิล์ม และไม่มีมีการเปลี่ยนน้ำกลั่นตลอดการทดลอง โดยวางที่อุณหภูมิห้อง 26 ± 3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 7 เปอร์เซ็นต์ บันทึกการเปลี่ยนแปลงสีใบจากสีเขียวเป็นสีเหลือง การเหี่ยวและบิดงอ เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของสารชีวเคมีในระหว่างการปักแจกัน ตามการเสื่อมสภาพของใบเฟินที่ปรากฏแบ่งเป็น 5 ระยะ แต่ละระยะมีความ

แตกต่างกันอย่างชัดเจน (รูปที่ 1) ดังนี้

- ระยะที่ 1 ใบสมบูรณ์ไม่พบการเสื่อมสภาพ (ใบมีสีเขียว) และเป็นระยะที่นำมาใช้ปักแจกัน
- ระยะที่ 2 ใบเริ่มมีสีเหลือง 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ
- ระยะที่ 3 ใบมีสีเหลืองและเขียว 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ
- ระยะที่ 4 ใบแห้งและใบสูญเสียความเขียว 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ
- ระยะที่ 5 ใบแห้งและใบสูญเสียความเขียว 100 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ

2.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของใบเฟินนาคราชระหว่างปักแจกัน

บันทึกจำนวนวันของการปักแจกันเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสีใบจากสีเขียวเป็นสีเหลือง หรืออาการใบเหี่ยว ตามระยะการเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราช

2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราช

บันทึกน้ำหนักสดแต่ละใบในวันแรกที่ปักแจกัน บันทึกน้ำหนักตามระยะการเสื่อมสภาพ และคำนวณการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราช แสดงหน่วยเป็นร้อยละ

$$\text{น้ำหนักใบเฟินนาคราช (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักใบเฟินระหว่างปักแจกัน}}{\text{น้ำหนักใบเฟินก่อนปักแจกัน}} \times 100$$



Figure 1 Senescence of rabbit’s foot fern (*Davallia sp.*) frond postharvest, viz., stage 1 – freshness and green frond (at the beginning of experiment), stage 2 - yellow frond area of 25%, stage 3 – yellow frond area of 50%, stage 4 – desiccation and chlorosis on 75% and stage 5 – desiccation and chlorosis on 100% of frond area

2.4 การศึกษาการดูดน้ำของใบเฟินนาคราชในระหว่างปักแจกัน

บันทึกปริมาณน้ำที่ใบเฟินนำไปใช้ตามระยะการเสื่อมสภาพ และรายงานผลรวมการดูดน้ำในระหว่างการปักแจกัน มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร/ใบ

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ดัดแปลงจากวิธีของ Lichtenthaler และ Wellburn (1983) [14] และ Topcu และคณะ (2015) [15] โดยเก็บตัวอย่างใบเฟินตามระยะการเสื่อมสภาพ ตัดใบเฟินนาคราชทั้งใบ (หลีกเลี่ยงเส้นกลางใบ) เป็นชิ้นเล็กๆ ผสมรวมกัน ชั่งใบเฟินที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก 0.1 กรัม และบดใน

โกร่งให้ละเอียดในด้วยอะซิโตน 80 เปอร์เซ็นต์ นำไปสกัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง ปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิเมตร นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470, 647 และ 663 นาโนเมตร นำไปคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ มีหน่วยเป็น $\mu\text{g/g}$ (DW)

2.6 การเกิด lipid peroxidation

วิเคราะห์การเกิด lipid peroxidation จากปริมาณมาลอนไดออลดีไฮด์ ตามวิธีของ Heath และ Packer [16] โดยเก็บตัวอย่างใบเฟินตามระยะการเสื่อมสภาพ ตัดใบเฟินนาคราชทั้งใบ (หลีกเลี่ยงเส้นกลางใบ) เป็นชิ้นเล็กๆ ผสมรวมกัน ซึ่งใบเฟินที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก 0.5 กรัม และบดในโกร่งให้ละเอียดใส่สารละลายใน trichloroacetic acid (TCA) 0.1 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิตร นำไปหมุนเหวี่ยง 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เก็บสารละลายส่วนใสใส่หลอดใหม่ นำสารละลายส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิตรเติมสาร thiobarbituric acid (ละลายใน TCA 20 เปอร์เซ็นต์) เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 4 มิลลิตร และเติม butylated hydroxytoluene ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำไปแช่น้ำแข็งทันที นาน 30 นาที เมื่อครบกำหนดนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 6,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร นำไปคำนวณหาค่าปริมาณมาลอนไดออลดีไฮด์ มีหน่วยเป็น nmol/g (FW)

2.7 การศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

วิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามวิธีของ Velikova และคณะ (2000) [17] โดยเก็บตัวอย่างใบเฟินตามระยะการเสื่อมสภาพ ตัดใบเฟินนาคราชทั้งใบ (หลีกเลี่ยงเส้นกลางใบ) เป็นชิ้นเล็กๆ ผสมรวมกัน ซึ่งใบเฟินที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก 0.5 กรัม และบดในโกร่งให้ละเอียดใส่สารละลายใน trichloroacetic acid 0.1 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิตร นำไปหมุนเหวี่ยง 12,000 รอบต่อนาที ที่

อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เก็บสารละลายส่วนใสใส่หลอดใหม่ นำสารละลายส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิตรเติม phosphate buffer pH 7 ปริมาตร 1 มิลลิตร และเติมสารละลาย potassium iodide ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิตร นำสารละลายวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 390 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คำนวณปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีหน่วยเป็น nmol/g (FW)

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ใบ วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) ทางสถิติและความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Tukey's Studentized Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการวิจัย

3.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของใบเฟินนาคราชระหว่างปักแจกัน

เมื่อนำใบเฟินนาคราชปักแจกันในน้ำกลั่น และสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก เริ่มต้นจากใบเฟินที่มีสีเขียวและสด จนกระทั่งใบมีสีเหลือง เที่ยว และบิดงอ ผลการศึกษาระยะเวลาในการเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราช พบว่า เมื่อนำใบเฟินนาคราชระยะที่ใบมีสีเขียวสด (ระยะที่ 1) ปักแจกันในน้ำกลั่น เริ่มเกิดการเสื่อมสภาพโดยเกิดอาการใบสีเหลือง 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ (ระยะที่ 2) ในวันที่ 6 วัน หลังการปักแจกัน ต่อมาใบเฟินนาคราชแสดงอาการเที่ยว และใบเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ (ระยะที่ 3) ภายในเวลา 8 วัน เมื่อใบเฟินนาคราชแสดงอาการเที่ยวแห้งและสูญเสียความเขียว 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ (ระยะที่ 4) ใช้เวลา 9 วัน จนกระทั่งใบเฟินนาคราชเสื่อมสภาพเข้าสู่ระยะที่ 5 ใบเฟินนาคราชมีลักษณะใบเที่ยวแห้ง บิดงอ และใบเสื่อมสภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 11 หลังการปักแจกัน (ตารางที่ 1)

Table 1 Vase period and visible changes in each of the stages of frond development and senescence in rabbit's foot fern (*Davallia* sp.)

Stages	Appearances	Vase period (days)
1	Freshness and green frond	0
2	Yellow frond area of 25%	6
3	Yellow frond area of 50%	8
4	Desiccation and chlorosis on 75% of frond area	9
5	Desiccation and chlorosis on 100% of frond area	11

3.2 การดูแลและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราชระหว่างปักแจกัน

การสูญเสียน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราชเพิ่มขึ้นตามการเสื่อมสภาพของใบเฟิน เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราชในระยะที่ 3 ลดลงแตกต่างจากระยะเริ่มต้นการทดลองและน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราชลดลงอย่างมากเมื่อใบเสื่อมสภาพจากระยะที่ 4 (ใบสูญเสียความเขียว 75

เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ) ถึงระยะที่ 5 (ใบเฟินเสื่อมสภาพไปทั้งใบ) (ตารางที่ 2) และจากผลการศึกษาดังกล่าวที่ 2 ยังพบว่าใบเฟินนาคราชหลังปักแจกันมีอัตราการดูดน้ำสะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ระยะที่ 2 ไปจนถึงระยะที่ 4 และอัตราการดูดน้ำสะสมเริ่มคงที่เมื่อใบเฟินเสื่อมสภาพมากขึ้นจากระยะที่ 4 ไปถึงระยะที่ 5 แสดงให้เห็นว่าก้านใบเฟินนาคราชดูดน้ำน้อยลง และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดไม่สัมพันธ์กับการดูดน้ำของใบเฟินนาคราช

Table 2 Weight changes and accumulated water uptake during frond development and senescence of rabbit's foot fern (*Davallia* sp.)

Stages	Weight changes (%)	Accumulated water uptake (mL/frond)
1	100 ± 0 ^a	0 ± 0 ^d
2	95.90 ± 4.79 ^{ab}	37.47 ± 1.73 ^c
3	88.48 ± 7.11 ^{bc}	41.14 ± 1.00 ^b
4	84.05 ± 2.60 ^c	56.25 ± 1.00 ^a
5	58.15 ± 2.08 ^d	58.33 ± 1.15 ^a
	*	*
CV (%)	4.82	8.9

Means ± S.D. with different superscript letters in the same column (a-d) indicate significant differences (p<0.05)

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเริ่มต้นของใบเฟินนาคราชระยะที่ 1 เป็นระยะที่เริ่มต้นการปักแจกัน (ใบที่มีสีเขียวสด) เท่ากับ $2633.0 \pm 403.00 \mu\text{g/g}$ (DW) เมื่อใบเฟินนาคราชเริ่มเสื่อมสภาพเข้าสู่ระยะที่ 2-3 ใบมีสีเหลือง 25-50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงแตกต่างจากระยะที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1751.9 ± 332.20 และ $1273.3 \pm 301.15 \mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ ในระยะต่อมาปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใบเฟินนาคราชเสื่อมสภาพมากขึ้นถึงระยะที่ 4 และระยะที่ 5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 960.1 ± 20.21 และ $872.9 \pm 12.65 \mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ใบเฟินนาคราชเมื่อเริ่มเสื่อมสภาพเข้าสู่ในระยะที่ 2 พบปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มสูงขึ้นกว่าทุกระยะการเสื่อมสภาพ ในขณะที่ใบเฟินนาคราชในระยะที่ 1 3 4 และ 5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเท่ากับ 520 ± 62.25 516.22 ± 93.05 343.05 ± 34.93 และ $366.35 \pm 46.37 \mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากปริมาณคลอโรฟิลล์บีของใบเฟินนาคราชในระยะเริ่มการทดลอง (ตารางที่ 3)

ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมทั้งหมดของใบเฟินนาคราชต่อน้ำหนักแห้งในระยะที่ 1 และ 2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่แตกต่างกัน พบปริมาณคลอโรฟิลล์รวมทั้งหมด 3153.1 ± 342.21 และ $2598.1 \pm 270.14 \mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ เมื่อใบเฟินเริ่มเกิดการเสื่อมสภาพมากขึ้น ถึงระยะที่ 3-5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงจากระยะที่ 1-2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์รวมทั้งหมดของใบเฟินนาคราชในระยะ 3 4 และ 5 เท่ากับ 1789.5 ± 376.67 1303.1 ± 41.69 และ $1239.2 \pm 58.18 \mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ใบเฟินนาคราชระยะเริ่มต้นการทดลองมีปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ $5285.8 \pm 212.53 \mu\text{g/g}$ (DW) เมื่อใบเฟินนาคราชเริ่มเกิดการเสื่อมสภาพถึงระยะที่ 2 ใบมีสีเหลือง 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นกว่าในทุกะยะของการเสื่อมสภาพ ในระยะที่ 3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงแต่ไม่แตกต่างจากระยะที่ 1 และ 4 แต่ปริมาณแคโรทีนอยด์ ลดลงมากที่สุดในระยะที่ 5 พบปริมาณแคโรทีนอยด์ $3384.2 \pm 156.00 \mu\text{g/g}$ (DW) (ตารางที่ 3)

Table 3 Chlorophyll and carotenoid content during frond development and senescence of rabbit's foot fern (*Davallia* sp.)

Stages	Photosynthetic pigment content ($\mu\text{g/g}$ (DW))			
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Carotenoid
1	2633 ± 403.00^a	520 ± 62.25^b	3153.1 ± 342.21^a	5285.8 ± 212.53^b
2	1751.9 ± 332.20^b	846.17 ± 100.69^a	2598.1 ± 270.14^a	7869.8 ± 155.73^a
3	1273.3 ± 301.15^{bc}	516.22 ± 93.05^b	1789.5 ± 376.67^b	4753.5 ± 507.32^{bc}
4	960.1 ± 20.21^d	343.05 ± 34.93^b	1303.1 ± 41.69^b	4149.7 ± 422.88^{cd}
5	872.9 ± 12.65^d	366.35 ± 46.37^b	1239.2 ± 58.18^b	3384.2 ± 156.00^d
	*	*	*	*
CV (%)	18.01	13.92	12.88	6.4

Means \pm S.D. with different superscript letters in the same column (a-d) indicate significant differences ($p < 0.05$)

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในใบเฟินนาคราช

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในใบเฟินนาคราชหลังปักแจกัน พบว่าใบเฟินนาคราชในระยะที่ 2-5 มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์มากกว่าในระยะเริ่มต้นการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ใบเฟินนาคราชระยะที่ 2-5 มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 2) ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์พบว่า ใบเฟินนาคราชตั้งแต่ระยะ

ที่ 1-3 มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้นเมื่อใบเฟินเสื่อมสภาพในระยะที่ 4 และระยะที่ 5 โดยพบว่าเฟินในระยะที่ 1 พบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ 48.22 ± 10.68 nmol/g (FW) และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 7.26 ± 1.72 nmol/g (FW) เมื่อเฟินเสื่อมสภาพมากขึ้นจนถึงระยะที่ 5 พบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ 72.90 ± 4.41 nmol/g (FW) และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 143.09 ± 14.82 nmol/g (FW) (รูปที่ 2)

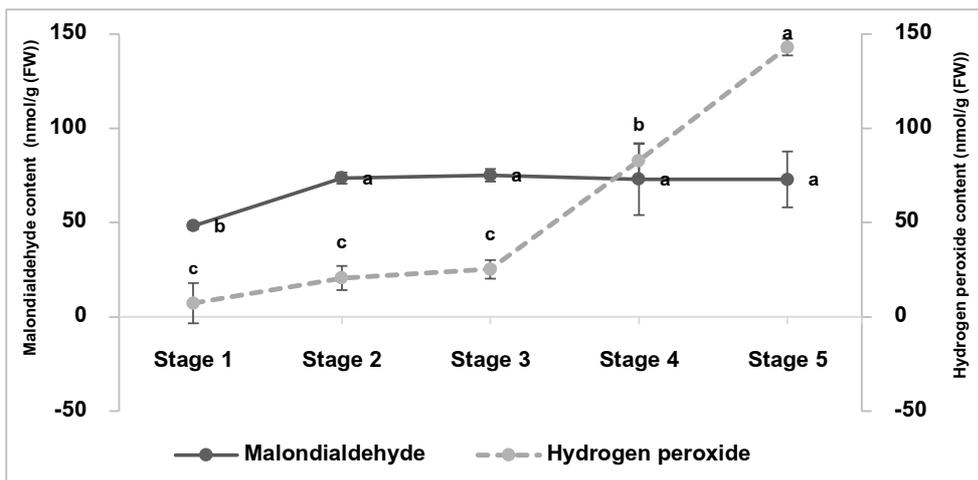


Figure 2 Malondialdehyde and hydrogen peroxide content during frond development and senescence of Rabbit's foot fern (*Davallia* sp.)

4. วิจัยณ์และข้อเสนอแนะ

เมื่อเริ่มต้นปักแจกันใบเฟินนาคราชมีอัตราการดูดน้ำสะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ระยะที่ 2 ไปจนถึงระยะที่ 4 และอัตราการดูดน้ำสะสมเริ่มคงที่เมื่อใบเฟินเสื่อมสภาพมากขึ้นจากระยะที่ 4 ไปถึงระยะที่ 5 ใบเฟินนาคราชดูดน้ำลดลงอาจมีสาเหตุจากอุดตันของท่อลำเลียง จากการศึกษาของ Fujino และ Reid (1983) [18] พบว่าเฟิร์นก้านดำที่ปักแจกันในน้ำกลั่น มีการอุดตันของท่อลำเลียงน้ำจากสิ่งที่มีลักษณะคล้ายเจลที่เกิดจากการสลายตัวของผนังเซลล์ ประกอบด้วย เซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส เพกติน และโปรตีน และการอุดตันของเชื้อจุลินทรีย์อาจเป็นสาเหตุให้เฟินเสื่อมสภาพและมีอายุการปักแจกันสั้นลงได้ [19] ส่วนน้ำหนักใบเฟินนาคราชลดลงอย่างต่อเนื่อง และยังพบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดไม่สัมพันธ์กับการดูดน้ำของใบเฟินนาคราช ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด ยังขึ้นอยู่กับรักษาสมดุลระหว่างการดูดน้ำและการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ [20] การลดลงของน้ำหนักใบเฟินอาจเป็นผลจากการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ จึงทำให้ใบเฟินสูญเสียน้ำหนักสด และแสดงอาการใบเหี่ยวและบิด ในระหว่างการเสื่อมสภาพของใบ

เฟินพบปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์แอลลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเฟินเสื่อมสภาพมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์มีมากกว่าการสร้างจึงทำให้สีเขียวหมดไป [2] การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในใบขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ฮอร์โมนในใบ ซึ่งได้แก่ ไซโตไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และ ABA การขาดน้ำ และแสง [21] ฮอร์โมนพืชมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวในการชะลอการเสื่อมสภาพ และการรักษาระดับของปริมาณของคลอโรฟิลล์ การให้สารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น ไซโตไคนิน และจิบเบอเรลลินกับไม้ตัดใบทำให้ใบเหลืองช้าลงอย่างชัดเจน [22, 23] นอกจากคลอโรฟิลล์ที่มีปริมาณลดลงแล้ว ยังพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมอยู่ในใบเฟินลดลงเมื่อเฟินเสื่อมสภาพมากขึ้นด้วยเช่นกัน แคโรทีนอยด์ทำหน้าที่เก็บเกี่ยวพลังงานแสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง และทำหน้าที่ป้องกันคลอโรฟิลล์จากการถูกทำลายออกซิเดชันจากแสง [22] เนื่องจากแคโรทีนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ [24] การลดลงของแคโรทีนอยด์ในใบเฟินอาจทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง และทำให้เกิดความเสียหายของเซลล์จากอนุมูลอิสระ การสูญเสียแคโรทีนอยด์ของพืชภายหลังเก็บเกี่ยวเกิดขึ้นในระหว่างการเสื่อมสภาพ แต่ในช่วงแรกของการเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราช ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้น อาจเกิดได้จากการปรับตัวทางสรีรวิทยาของพืชเนื่องจากสภาวะเครียด [25]

เมื่อใบเฟินนาคราชเสื่อมสภาพยังพบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Hung และ Kao (2004) [11] พบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่งเสริมการเสื่อมสภาพของพืช ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นสูงเป็นพิษต่อเซลล์ และบ่งบอกว่าพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากออกซิเดชัน [26] การสะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในใบเฟิน อาจเนื่องจากการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ catalase หรือเอนไซม์ perox-

idase เป็นเอนไซม์ที่สลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ให้เป็นน้ำและออกซิเจน [27] เมื่อศึกษาปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์เป็นผลผลิตที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ พบว่าใบเฟินที่ยังไม่เสื่อมสภาพ (ระยะที่ 1) มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่ำกว่าใบที่เกิดการเสื่อมสภาพ อนุมูลอิสระออกซิเจนสามารถทำความเสียหายในโมเลกุลขนาดใหญ่ภายในเซลล์ เช่น ไขมัน โปรตีน และสารพันธุกรรม ส่งผลให้เกิด lipid peroxidation ความเสียหายของเซลล์ และการตายของเซลล์ เนื่องจากกลไกการต้านอนุมูลอิสระในใบพืชลดลง [28] การเกิด lipid peroxidation มีความเกี่ยวข้องกับการผลิตอนุมูลอิสระออกซิเจนเพิ่มขึ้น เช่น อนุมูล superoxide อนุมูล hydroxyl รวมถึงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [29] โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลจะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของการเกิด lipid peroxidation ที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ [30] การเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราชอาจมีความเกี่ยวข้องกับการเกิด lipid peroxidation ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ ทำให้ใบไม่เกิดการเสื่อมสภาพโดยความสมบูรณ์ของโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ลดลง [7, 8, 31] อย่างไรก็ตามใบเฟินที่แสดงอาการเสื่อมสภาพในระยะที่ 2-5 มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์คงที่ อาจเกี่ยวข้องกับแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบในเฟินและมีความสามารถในการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation โดยจับกับอนุมูล lipid peroxyl จึงมีผลยับยั้งหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ในการเพิ่มปริมาณอนุมูลอิสระ [32] ทำให้รักษาระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ให้คงที่ เนื่องจากอนุมูล lipid peroxyl มีบทบาทสำคัญที่ทำให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปลูกโซ่ในการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันจากอนุมูลอิสระ [33, 34] ดังนั้น แคโรทีนอยด์จึงมีบทบาทสำคัญในการปกป้องเยื่อหุ้มเซลล์

5. สรุปผลการวิจัย

ใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในน้ำกลั่นเมื่อใบแสดงอาการใบเหลือง 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ เริ่มพบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น และปริมาณคลอโรฟิลล์แอลลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อใบเฟินนาคราชแสดงอาการใบเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ พบการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น ต่อมาเมื่อใบเฟินนาคราชเสื่อมสภาพมากขึ้น เกิดอาการใบแห้งใบสูญเสียความเขียว 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ เริ่มพบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น และเมื่อใบเฟินเริ่มเข้าสู่การเสื่อมสภาพทั้งใบ ก้านใบเฟินดูดน้ำน้อยลง ดังนั้น ลักษณะการเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราช คือ สีของใบเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและใบแห้ง ร่วมกับอาการใบเหี่ยวและบิดงอ การเสื่อมสภาพของเฟินนาคราชมีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และการลดลงของน้ำหนักสดและปริมาณคลอโรฟิลล์ ส่วนแนวทางการใช้สารส่งเสริมคุณภาพสำหรับยืดอายุปักแจกันใบเฟินนาคราช ควรมีสวนผสมที่ประกอบด้วย สารควบคุมการเจริญโตของพืชบางชนิด เช่น สารในกลุ่มไซโตไคนินจะช่วยทำให้ใบเหลืองช้าลงหรืออาจใช้ร่วมกับสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ เพื่อป้องกันอูตันของทอลำเลี้ยงน้ำเนื่องจากเซลล์ของจุลินทรีย์สามารถดูดตันทอลำเลี้ยงน้ำ หรือสารที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นมาดูดตันทอลำเลี้ยงน้ำ ส่งผลให้ก้านใบเฟินดูดน้ำได้ดีและชะลอการเหี่ยวของใบ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.) ผ่านทางงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2564

7. References

- [1] Suisuwan, C., 1995, Postharvest Technology of Cut Flower and Cut Foliage. Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 266 p. (in Thai)
- [2] Ferrante, A. and Francini, A., 2006, Ethylene and leaf senescence, pp. 51-67, In Khan, N.A. (Ed.), Ethylene Action in Plants, Springer, Berlin.
- [3] Gossauer, A. and Engel N., 1996, Chlorophyll catabolism-structures, mechanisms, conversions, J. Photochem. Photobiol. B, Biol. 32(3): 141-151.
- [4] Baker, J.E., 1983, Plant Growth Regulating Chemical, CRC-Press, New York, 191 p.
- [5] Rosenvasser, S., Mayak, S. and Friedman, H., 2006, Increase in reactive oxygen species (ROS) and in senescence-associated gene transcript (SAG) levels during dark-induced senescence of Pelargonium cuttings, and the effect of gibberellic acid. Plant Sci. 170: 873-879.
- [6] Prochazkova, D. and Wilhelmova, N., 2007, Leaf senescence and activities of the antioxidant enzymes, Biol. Plant. 51(3): 401-406.
- [7] Kumar, N., Pal, M. and Srivastava, G.C., 2009, Proline metabolism in senescing rose petals (*Rosa hybrida* L. "first red"), J. Hortic. Sci. Biotechnol. 84(5): 536-540.
- [8] Kumar, V., Shriram, V., Nikam, T.D., Jawali, N. and Shitole, M.G., 2009, Antioxidant enzyme activities and protein profiling under salt stress in indica rice genotypes differing in salt tolerance, Arch. Agron. Soil Sci. 55(4): 379-394.
- [9] Zimmermann, P. and Zentgraf, U., 2005, The correlation between oxidative stress

- and leaf senescence during plant development, Cell Mol. Biol. Lett. 10(3): 515-534.
- [10] Lin, J.N. and Kao, C.H., 1998, Effect of oxidative stress caused by hydrogen peroxide on senescence of rice leaves, Bot. Bull. Acad. Sinica. 39: 161-165.
- [11] Hung, K.T. and Kao, C.H., 2004, Hydrogen peroxide is necessary for abscisic acid-induced senescence of rice leaves, J. Plant Physiol. 161(12): 1347-1357.
- [12] Thongtham, C., M.L. and Suksatan, P., 2007, Ferns. Sarakadee Press, Nonthaburi, 456 p. (In Thai)
- [13] Tatmala, N., Kaewsuksaeng, S., Kanyayanarat, S. and Buanong, M., 2012, Effect of thidiazuron holding treatments on delaying the senescence of *Davallia* ferns, Acta Hortic. 937: 463-466.
- [14] Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R., 1983, Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents, Biochem. Soc. Trans. 11(5): 591-592.
- [15] Topcu, Y., Adem, D., Kasimoglu, Z., Nadeem, H.S., Polat, E. and Erkan, M., 2015, The effects of UV radiation during the vegetative period on antioxidant compounds and postharvest quality of broccoli (*Brassica oleracea* L.), Plant Physiol. Biochem. 93: 56-65.
- [16] Heath, R.L. and Packer L., 1968, Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation, Arch. Biochem. Biophys. 125: 189-198.
- [17] Velikova, V., Yordanov, I. and Edreva, A., 2000, Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants, Plant Sci. 151: 59-66.
- [18] Fujino, D.W. and Reid, M.S., 1983, Factors affecting the vase life of fronds of maidenhair fern, Sci. Hortic. 21(2): 291-297.
- [19] Stamps R.H., 2007, Vase life characteristics of fern, Acta Hortic. 755: 155-162.
- [20] Halevy, A.H. and Mayak, S., 1981, Senescence and postharvest physiology on cut flower-part 2. Hort. Rev. 3: 39-143.
- [21] Siriphanich, J., 1998, Physiology and Postharvest Technology of Vegetable and Fruit. Kasetsart University Press, Bangkok, 398 p. (in Thai)
- [22] Ravindran, K.C., Indrajith, A., Pratheesh, P.V., Sanjiviraja, K. and Balakrishnan, V., 2010, Effect of ultraviolet-B radiation on biochemical and antioxidant defence system in *Indigofera tinctoria* L. seedlings, Int. J. Eng. Tech. 2(5): 226-232.
- [23] Bulgari, R., Negri, M. and Ferrante, A., 2015, Evaluation of postharvest storage and treatments in cut ruscus foliage, Adv. Hortic. Sci. 29, 103-108.
- [24] Young, A.J. and Lowe, G.M., 2001, Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids, Arch. Biochem. Biophys. 385: 20-27.
- [25] Demmig-Adams, B., Gilmore, A. and Adams, W., 1996, Carotenoids 3: *in vivo* function of carotenoids in higher plants, FASEB J. 10(4): 403-412.

- [26] Dat, J., Vandenamee, S., Vranová, E., Montagu, M.V., Inzé, D. and Breusegem, F.V., 2000, Dual action of the active oxygen species during plant stress responses, *Cell. Mol. Life Sci.* 57(5): 779-795.
- [27] Zimmermann, P., Heinlein C., Orendi G. and Zentgraf, U., 2006, Senescence-specific regulation of catalases 939 in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh, *Plant Cell Environ.* 29(6): 1049-1060.
- [28] Kukavica, B. and Veljovic-Jovanovic, S., 2004, Senescence-related changes in the antioxidant status of ginkgo and birch leaves during autumn yellowing, *Physiol. Plant* 122: 321-327.
- [29] Breusegem, F.V. and Dat, J.F., 2006, Reactive oxygen species in plant cell death, *Plant Physiol.* 141(2): 384-390.
- [30] Bowler, C., Van Montagu, M. and Inze, D., 1992, Superoxide dismutase and stress tolerance, *Annu. Rev. Plant Physiol.* 43: 83-116.
- [31] Khare, T., Kumar, V. and Kishor, P.B.K., 2015, Na⁺ and Cl⁻ ion show additive effects under NaCl stress on induction of oxidative stress and the responsive antioxidative defense in rice, *Protoplasma.* 252(4): 1149-1165.
- [32] Palozza, P. and Krinsky, N. I., 1993, Antioxidant effects of carotenoids on biological membranes, *Acta Med. Rom.* 31: 131-140.
- [33] Halliwell, B., 1991, Reactive oxygen species in living systems: source, biochemistry, and role in human disease, *Am. J. Med.* 91: 14-22.
- [34] Niki, E., 2009, Lipid peroxidation: Physiological levels and dual biological effects, *Free Radic. Biol. Med.* 47(5): 469-84.