

บทความวิจัย (Research Article)

ผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในหัวว่านนางคุ่ม
หงส์ชัย พงษ์ขาว¹ และ รุ่งนภา ช่างเจรจา^{1*}

Effects of shading on the growth and nutrient concentrations in bulb of *Proiophys amboinensis* (L.) herb

Hongchai Pongkaw¹ and Rungnapa Changjeraja^{1*}

¹ Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang
52000, Thailand

* Corresponding author, E-mail: changjeraja@rmutl.ac.th

Health Science, Science and Technology Reviews. 2026;19(1):26-36.

Received: 15 September 2025; Revised: 2 December 2025; Accepted: 13 January 2026

บทคัดย่อ

ว่านนางคุ่ม เป็นไม้ดอกหัวที่มีดอกสีขาว ก้านดอกยาว และใบใหญ่สีเขียวเข้ม เหมาะสำหรับเป็นไม้ตัดดอก หรือไม้กระถาง แต่การปลูกตามบ้านมักพบปัญหาใบเล็กแคระและขอบใบไหม้จากแสงแดดจัด ส่งผลให้การสังเคราะห์อาหารไม่สมบูรณ์ และหัวมีขนาดเล็ก ผู้ศึกษาจึงคาดการณ์ว่าการจัดการความเข้มแสงอาจช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารในหัว งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในหัวว่านนางคุ่ม โดยออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 3 ทรีตเมนต์ ได้แก่ ไม่พรางแสง พรางแสง 50 และ 70% ดำเนินการตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงธันวาคม 2667 ณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มทร.ล้านนา (ลำปาง) ผลการทดลองพบว่า การพรางแสง 50 และ 70% ส่งผลให้ความยาวก้านใบ ความยาวใบ และความกว้างใบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่พรางแสง โดยความยาวก้านใบเพิ่มขึ้น คือ 1.52 และ 1.35 เท่า ($p<0.01$) ความยาวใบ 1.17 และ 1.18 เท่า ($p<0.05$) และความกว้างใบ 1.12 และ 1.16 เท่า ($p<0.05$) ตามลำดับ การพรางแสง 70% ยังช่วยเพิ่มความเขียวของใบ น้ำหนักหัว และเส้นผ่านศูนย์กลางหัว โดยเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่พรางแสง คือ 1.37 เท่า ($p<0.01$) 2.76 เท่า ($p<0.01$) และ 2.10 เท่า ($p<0.05$) ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม การไม่พรางแสงส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) และแมกนีเซียม (Mg) สูงกว่าการพรางแสง 50 และ 70% โดยมีค่าเฉลี่ยมากกว่าการพรางแสง 70% คือ 1.76 เท่า ($p<0.01$) 1.65 เท่า ($p<0.01$) และ 1.41 เท่า ($p<0.01$) ตามลำดับ จากการทดลองในครั้งนี้สรุปได้ว่าการพรางแสง 70% เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับส่งเสริมการเจริญเติบโตและคุณภาพของหัวว่านนางคุ่ม ในอนาคตควรทำการศึกษาผลระยะยาวของการพรางแสงต่อคุณภาพดอกและลักษณะการออกดอก เพื่อรองรับการพัฒนากระบวนการผลิตในเชิงการค้าอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ว่านนางคุ่ม, การพรางแสง, ธาตุอาหาร, การเจริญเติบโต, หัว

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000 ประเทศไทย

Abstract

P. amboinensis is a bulbous ornamental plant valued for its white flowers, long scapes, and broad dark-green leaves, making it suitable for use as cut flowers and potted plants. However, domestic cultivation often results in stunted leaves and leaf scorch due to excessive sunlight, which limits photosynthesis and reduces bulb size. This study hypothesized that regulating light intensity through shading could enhance plant growth and nutrient accumulation in the bulbs. The experiment evaluated the effects of three shading levels—full sun (no shading), 50% shading, and 70% shading—using a Completely Randomized Design (CRD). The study was conducted from March to December 2024 at the Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang. Shading significantly improved vegetative growth. Both 50% and 70% shading increased petiole length, leaf length, and leaf width compared with full sun, with petiole length increasing by 1.52 and 1.35 times ($p < 0.01$), leaf length by 1.17 and 1.18 times ($p < 0.05$), and leaf width by 1.12 and 1.16 times ($p < 0.05$), respectively. The 70% shading treatment produced the most vigorous growth, showing significant increases in leaf greenness (1.37×), bulb fresh weight (2.76×), and bulb diameter (2.10×) relative to full sun. In contrast, bulbs grown under full sun accumulated significantly higher concentrations of phosphorus, potassium, and magnesium than those under 50% and 70% shading, exceeding the 70% shading treatment by 1.76×, 1.65×, and 1.41× ($p < 0.01$), respectively. Overall, the results indicate that 70% shading is the optimal level for promoting growth and bulb quality in *P. amboinensis*. Further studies should examine long-term shading effects on flowering performance to support efficient commercial production.

Keywords: *P. amboinensis* (L.) herb, Shading, Nutrients, Growth, Bulb

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกไม้ดอกไม้ประดับเป็นอันดับ 3 ของเอเชีย และอันดับ 11 ของโลก[1] ไม้ดอกไม้ประดับถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีมูลค่าสูง มีความสำคัญทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และอาชีพ นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์ภายในประเทศอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการตกแต่งและประดับประดา รวมถึงสร้างรายได้จากการส่งออกไปยังต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม การผลิตไม้ดอกไม้ประดับเชิงการค้า มักเผชิญปัญหาแสงแดดจัดเกินไป ทำให้พืชเกิดความเสียหาย เช่น ใบไหม้ ขอบใบไหม้ ก้านใบและลำต้นเสียหาย ปัญหาเหล่านี้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของพืช

ว่านนางคัมหรือว่านผู้เฒ่าเฝ้าบ้าน (*P. amboinensis* (L.)) เป็นไม้ดอกประเภทหัวในวงศ์ Amaryllidaceae มีหัวแบบ tunicate bulb ใบใหญ่สีเขียวอ่อนถึงเขียวเข้ม และดอกสีขาวออกเป็นช่อ จากการศึกษาทางภาคเหนือของประเทศไทย วงจรชีวิตของว่านนางคัมเริ่มจากการแทงช่อดอกในช่วงเมษายน–พฤษภาคม ตามด้วยการเจริญทางใบในช่วงมิถุนายน–พฤศจิกายน และเข้าสู่ระยะพักตัวในเดือนธันวาคม–มีนาคม[2] ว่านนางคัมที่ปลูกในบ้านหรือในธรรมชาติที่ไม่ได้รับการจัดการแสงเหมาะสม มักแสดงอาการใบเล็ก แคระแกร็น และขอบใบไหม้ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและขนาดของหัว

แสงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งต้องอาศัยความเข้มแสงที่เหมาะสม[3,4] พืชแต่ละชนิดตอบสนองต่อระดับแสงแตกต่างกัน บางชนิดต้องการแสงมาก ขณะที่บางชนิดเจริญได้ดีในแสงรำไร[5] งานวิจัยก่อนหน้านี้รายงานว่า การพร่างแสง 50–70% สามารถเพิ่มความสูงและความยาวก้านช่อดอก รวมถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของพืชบางชนิดได้อย่างมีนัยสำคัญ[6,7] นอกจากนี้ ความเข้มแสงที่เหมาะสมยัง

ช่วยเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง การผลิตน้ำตาลซูโครส และการลำเลียงธาตุอาหารไปยังส่วนที่สะสมหรือเจริญเติบโตของพืช[8]

จากข้อมูลเหล่านี้ การพรางแสงในระดับสูงมักช่วยส่งเสริมการยืดตัวของลำต้นและเพิ่มพื้นที่ใบ ขณะที่แสงเต็มที่ช่วยเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง การสะสมธาตุอาหาร และน้ำหนักหัวใต้ดินของว่านนางคัม ข้อมูลดังกล่าวเป็นพื้นฐานสำคัญในการกำหนดระดับแสงที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิตหัวและคุณภาพต้นพันธุ์ รวมถึงลดปัญหาหัวเล็ก ใบไม่สมบูรณ์ และการสะสมอาหาร ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในหัวว่านนางคัม เพื่อให้ได้ข้อแนะนำสำหรับการจัดการแสงที่เหมาะสม และสนับสนุนศักยภาพของว่านนางคัมในการพัฒนาเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยมี 3 ทรีตเมนต์ๆ ละ 10 ซ้ำ ทุกทรีตเมนต์ปลูกโรงเรือนไม้ไผ่ขนาด 1.20 x 1.80 x 2.00 m โดยใช้ตาข่ายพรางแสงสีดำ หรือตาข่ายกรองแสงที่มีส่วนผสมของวัสดุที่ใช้แล้ว ทรีตเมนต์ที่ 1 ไม่พรางแสง ทรีตเมนต์ที่ 2 พรางแสง 50 % และทรีตเมนต์ที่ 3 พรางแสง 70 % สภาพแวดล้อมในการทดลอง เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (Table 1)

Table 1 Experimental environment light intensity, temperature, and relative humidity.

Treatment.	Light Intensity in Greenhouse Month 2024. (Lux)									
	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
T1	58,557	54,000	49,533	35,393	48,440	83,967	41,417	10,440	34,077	25,617
T2	24,260	12,743	29,653	10,520	10,167	30,300	20,873	3,380	13,917	11,490
T3	13,210	6,080	16,463	4,787	9,227	22,467	13,800	1,183	9,033	6,630
Treatment.	Temperature in Greenhouse Month 2024. (C°)									
	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
T1	36.17	42.27	34.83	33.87	37.70	38.13	31.23	31.33	32.27	32.60
T2	36.10	40.13	32.73	32.40	35.67	36.73	30.23	29.83	29.80	30.60
T3	36.50	39.60	32.30	31.83	34.53	35.43	29.80	30.27	29.47	29.33
Treatment.	Relative humidity in Greenhouse Month 2024. (%)									
	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
T1	27.33	33.23	68.50	54.67	50.10	53.20	66.90	47.67	62.63	53.17
T2	26.67	38.63	72.03	60.70	53.53	59.03	73.23	51.00	71.10	55.17
T3	29.33	39.50	74.00	62.23	56.40	61.63	74.93	52.33	71.77	57.13

Notes: T1 = No shading T2 = 50% shading and T3 = 70% shading

ดำเนินการทดลองเดือนมีนาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 สถานที่ทดลอง ณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (Latitude 18.35241° N, Longitude 99.60056° E) นำหัวว่านนางคัม จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มาชำในวัสดุเพาะชำภายใต้สภาพการพรางแสงด้วยตาข่ายพรางแสงสีดำ 50 % เป็นเวลา 3 เดือน จากนั้นนำหัวที่ได้จากการเพาะชำ นำมาปลูกในกระถางจนหัวมีอายุ 3 ปี จากนั้นทำการสุ่มหัวว่านนางคัมจากกระถางที่ปลูกเลือกหัวที่มีการพักตัวโดยสมบูรณ์ ลักษณะอวบ น้ำสีขาวรูปทรงแบนคล้ายหัวหอมใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัว 3.03 – 5.6 cm น้ำหนักหัว 70.51 –

96.22 g จำนวน 30 หัว ทำความสะอาดหัวโดยการตัดรากและก้านใบที่แห้งแล้วออก แล้วนำไปแช่สารป้องกันกำจัดเชื้อราและแมลง นาน 30 นาที จากนั้นนำออกมาผึ่งในร่มจนแห้งแล้วนำไปปลูก

ปลูกในกระถางขนาด 10 นิ้ว กระถางละ 1 หัว โดยวัสดุปลูก/กระถาง ประกอบด้วยทรายหยาบ 1 ส่วน ปริมาณ 2,670.57 กรัม : แกลบดิบ 1 ส่วน ปริมาณ 195 กรัม : ขี้เถ้าแกลบ 1 ส่วน ปริมาณ 453.87 กรัม น้ำหนักรวม 3,319.44 กรัม / กระถาง การดูแลรดน้ำ 2 วันต่อครั้ง ครั้งละ 30 นาที โดยให้แบบระบบมินิสปริงเกอร์ ขนาดหัวฉีด 5 – 7 mm รัศมีการกระจายน้ำ 1 – 1.5 m แรงดันน้ำ 1 – 1.5 bar ปริมาณน้ำ 60 L/h ให้ปุ๋ยทางดิน โดยใช้ปุ๋ยสูตร 16-16-16+Trace Elements (TE) (0.6% MgO, 3.5% CaO, 2% S, 0.058% B, 0.317% Cu, 0.15% Fe, 0.015% Mn, 0.001% Mo) ปริมาณ 5 กรัมต่อต้น ทุกๆ 30 วัน เป็นเวลา 245 วัน

การบันทึกข้อมูล

การเจริญเติบโตด้านลำต้น บันทึกข้อมูลจำนวนใบ (ใบ/ต้น) ความยาวใบ (cm) โดยวัดจากโคนของใบถึงปลายใบ ความกว้างใบ (cm) วัดจากขอบของใบที่มีความเว้าออกมากที่สุดถึงอีกด้านที่มีความเว้ามากที่สุด ความยาวก้านใบ (cm) โดยวัดจากขอบกระถางถึงโคนใบ เส้นผ่านศูนย์กลางก้านใบ (cm) โดยวัดจากตำแหน่งที่สูงจากขอบกระถาง 5 cm ความเขียวของใบ (SPAD unit) โดยใช้เครื่อง Chlorophyll Meter SPAD – 502 Plus ผลิตโดยบริษัท Konica Minolta ประเทศญี่ปุ่น โดยบันทึกข้อมูลใบที่ 2 ของต้น คือใบที่มีการเติบโตหรือแตกใบเป็นลำดับที่ 2 ของต้น มีการที่มีการเจริญเต็มที่ บันทึกข้อมูลใบ หลังปลูก 3 เดือน

น้ำหนักหัว (g) น้ำหนักสด บันทึกเส้นผ่านศูนย์กลางหัว (mm) น้ำหนักแห้ง (g DW) ได้จากน้ำหนักของหัว หลังอบจนคงที่ (DW) ส่วน (%) ความชื้น ได้จากสูตร ดังนี้

$$\% \text{ ความชื้น หรือ \%MC} = \frac{FW - DW}{FW} \times 100$$

FW (Fresh Weight) = น้ำหนักสดของตัวอย่างพืช (ก่อนอบ)

DW (Dry Weight) = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างพืช (หลังอบจนคงที่)

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร สุ่มหัวทรีตเมนต์ละ 3 หัว เป็นหัวที่มีการพักตัวในดินแล้วทำการขุดขึ้นมาอายุหลังปลูก 330 วัน หรือ 11 เดือน มาทำการวิเคราะห์หาธาตุอาหาร ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca) และ แมกนีเซียม (Mg) ในหัว โดยธาตุไนโตรเจน (N) วิเคราะห์โดยวิธีการของ Novozamsky et al.[9] ธาตุฟอสฟอรัส (P) วิเคราะห์โดยวิธีการของ Walinga et al.[10] ธาตุโพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และธาตุแมกนีเซียม (Mg) วิเคราะห์โดยวิธีการของ Walinga et al.[10] และ Kalra[11]

การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของทรีตเมนต์ของข้อมูลการเจริญเติบโตทางใบ น้ำหนักหัว เส้นผ่านศูนย์กลางหัว น้ำหนักแห้ง (%) ความชื้น และปริมาณธาตุอาหารในหัวของว่านนางคัมด้วยวิธี One-way ANOVA และ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการศึกษา

ผลการพรางแสงในระดับที่ต่างกันต่อความยาวก้านใบ และความเขียวของใบของว่านนางคัม พบว่า การพรางแสงที่มากขึ้น ส่งผลให้มีความยาวก้านใบที่มากขึ้นตามเมื่อเทียบกับการไม่พรางแสง โดยค่าเฉลี่ยความยาวก้านใบของการพรางแสง 50 และ 70 % คือ 27.91 ± 1.13 cm และ 30.11 ± 3.77 cm ตามลำดับ ซึ่งยาวกว่าต้นที่ปลูกโดยไม่พรางแสง 1.25 และ 1.35 เท่า ตามลำดับ ($p < 0.01$) การพรางแสงที่มากขึ้น ส่งผลให้มีความเขียวของใบที่เพิ่มขึ้นตามเมื่อเทียบกับการไม่พรางแสง โดยค่าเฉลี่ยความเขียวของใบของการพรางแสง 70 % คือ 33.39 ± 2.60 SPAD units ซึ่งมีความเขียวของใบกว่าต้นที่ปลูกโดยไม่พรางแสง 1.37 เท่า ($p < 0.01$) (Figure 1), (Table 1)

การพรางแสงในระดับที่ต่างกันต่อจำนวนใบ เส้นผ่านศูนย์กลางก้านใบ ความยาวใบ และความกว้างใบของว่านนางคัม พบว่า การพรางแสงที่มากขึ้นไม่มีผลต่อจำนวนใบ และเส้นผ่านศูนย์กลางก้านใบเมื่อเทียบกับการไม่พรางแสง โดยค่าเฉลี่ยจำนวนใบของทรีตเมนต์ที่ไม่พรางแสง ทรีตเมนต์พรางแสง 50 และ 70 % คือ 5.30 ± 3.20 , 5.00 ± 1.25 และ 7.50 ± 5.48 ใบ ตามลำดับ ($p > 0.05$) และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางก้านใบของทรีตเมนต์ที่ไม่พรางแสง ทรีตเมนต์พรางแสง 50 และ 70 % คือ 1.01 ± 1.06 , 1.04 ± 0.68 และ 1.02 ± 1.58 cm ตามลำดับ ($p > 0.05$) (Figure 1), (Table 1)

การพรางแสงที่มากขึ้น ส่งผลให้มีความยาวใบ และความกว้างใบที่มากขึ้นตามเมื่อเทียบกับการไม่พรางแสง โดยมีค่าเฉลี่ยความยาวใบของการพรางแสง 50 และ 70 % คือ 23.27 ± 1.13 และ 23.45 ± 3.77 cm ตามลำดับ ซึ่งยาวกว่าต้นที่ปลูกโดยไม่พรางแสง 1.17 และ 1.18 เท่า ตามลำดับ ($p < 0.05$) และค่าเฉลี่ยความกว้างใบของการพรางแสง 50 และ 70 % คือ 24.81 ± 1.62 และ 25.57 ± 3.89 cm ตามลำดับ ซึ่งกว้างกว่าต้นที่ปลูกโดยไม่พรางแสง 1.12 และ 1.16 เท่า ตามลำดับ ($p < 0.05$) (Figure 1), (Table 2)



Figure 1 (A) = Comparison of the leaf sizes from *P. amboinensis*. grown under different shading conditions at 110 days after planting. (B) = The growth of *P. amboinensis*. under different shading conditions at 170 days after planting; T1 = No shading T2 = 50% shading and T3 = 70% shading.

Table 2 Effects of different shading levels on petiole length, leaf greenness, number of leaves per plant, petiole diameter, leaf length and leaf in *P. amboinensis*.

Treatment	Petiole length (cm)	Leaf greenness (SPAD unit)	Number of leaves per plant	Petiole diameter (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)
No shading	22.27 ± 2.94b	24.42 ± 2.06c	5.30 ± 3.20	1.01 ± 1.06	19.84 ± 2.94b	22.13 ± 2.87b
50% shading	27.91 ± 1.13a	27.95 ± 3.77b	5.00 ± 1.25	1.04 ± 0.68	23.27 ± 1.13a	24.81 ± 1.62ab
70% shading	30.11 ± 3.77a	33.39 ± 2.60a	7.50 ± 5.48	1.02 ± 1.58	23.45 ± 3.77a	25.57 ± 3.89a
F - test	**	**	ns	ns	*	*
P-Value	0.001	0.000	0.28	0.88	0.01	0.04
CV. (%)	15.86	10.14	62.98	11.40	12.78	12.18

Notes: ns = non-Significant difference, * = Significant at $p < 0.05$, ** = Significant at $p < 0.01$

การพรางแสงในระดับที่ต่างกันต่อน้ำหนักหัว และเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวที่เพิ่มขึ้นจากเดิม (หลังปลูก) ของว่านนางคัม พบว่า การพรางแสงที่มากขึ้นส่งผลให้น้ำหนักหัว และเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวมากขึ้นตามเมื่อเทียบกับการไม่พรางแสง โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหัวของการพรางแสง 70 % คือ 181.89 ± 42.98 g FW ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าต้นที่ปลูกโดยไม่พรางแสง 2.67 เท่า ($p < 0.01$) และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวที่เพิ่มขึ้นจากเดิม (หลังปลูก) ของการพรางแสง 70 % คือ 25.26 ± 11.57 mm ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางหัวมากกว่าต้นที่ปลูกโดยไม่พรางแสง 2.10 เท่า ($p < 0.05$) (Table 2)

การพรางแสงในระดับที่แตกต่างกันต่อ (%) ความชื้น และน้ำหนักแห้งของหัว พบว่าการพรางแสงที่มากขึ้นไม่มีผลต่อ (%) ความชื้น และน้ำหนักแห้งของหัวเมื่อเทียบกับการไม่พรางแสง โดยค่าเฉลี่ย (%) ความชื้นของทริตเมนต์ที่ไม่พรางแสง ทริตเมนต์พรางแสง 50 และ 70 % คือ 74.88 ± 10.32 , 75.61 ± 0.23 และ 72.81 ± 0.76 % ตามลำดับ ($p > 0.05$) และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของทริตเมนต์ที่ไม่พรางแสง ทริตเมนต์พรางแสง 50 และ 70 % คือ 38.47 ± 22.66 , 60.75 ± 11.35 และ 78.88 ± 11.09 g DW ตามลำดับ ($p > 0.05$) (Table 3)

Table 3 Effect of shading on bulb weight, bulb diameter, moisture content and dry weight of *P. amboinensis* bulb

Treatment	Bulb weight (g FW)	Bulb diameter (mm)	Moisture content (%)	Dry weight (g DW)
No shading	65.89 ± 28.93c	12.05 ± 7.94b	74.88 ± 10.32	38.47 ± 22.66
50% shading	110.79 ± 57.83b	17.56a ± 8.79b	75.61 ± 0.23	60.75 ± 11.35
70% shading	181.89 ± 42.98a	25.26 ± 11.57a	72.81 ± 0.76	78.88 ± 11.09
F - test	**	*	ns	ns
P-Value	0.00002	0.02	0.84	0.06
CV. (%)	37.51	52.29	8.03	26.91

Notes: ns = non-Significant difference, * = Significant at $p < 0.05$, ** = Significant at $p < 0.01$

การพรางแสงในระดับที่ต่างกันต่อปริมาณธาตุอาหารของว่านนางคัม พบว่า การพรางแสงที่มากขึ้นนั้นไม่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหาร แต่ในทางกลับกันทรีตเมนต์ที่ไม่พรางแสงมีปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (P) และแมกนีเซียม (Mg) มากกว่าเมื่อเทียบกับการพรางแสง โดยมีค่าเฉลี่ยธาตุฟอสฟอรัส คือ 0.95 ± 0.13 mg/g DW ซึ่งมีมากกว่าต้นที่ปลูกโดยการพรางแสง 50 และ 70 % คือ 1.51 และ 1.76 เท่า ($p < 0.01$) ตามลำดับ ธาตุโพแทสเซียม 11.91 ± 0.97 mg/g DW ซึ่งมีมากกว่าต้นที่ปลูกโดยการพรางแสง 50 และ 70% คือ 1.52 และ 1.65 เท่า ($p < 0.01$) ตามลำดับ และธาตุแมกนีเซียม 2.69 ± 0.05 mg/g DW ซึ่งมีมากกว่าต้นที่ปลูกโดยการพรางแสง 50 และ 70 % คือ 1.32 และ 1.41 เท่า ($p < 0.01$) ตามลำดับ (Figure 2), (Table 4)



Figure 2 (C) = Comparison of the bulb sizes from *P. amboinensis*. grown under different shading conditions. (D) = Comparison of the internal characteristics from *P. amboinensis*. bulbs grown under different shading levels: T1 = no shading, T2 = 50% shading, and T3 = 70% shading, at 330 days after planting.

Table 4 Effects of different shading levels on the concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium in the bulbs of *P. amboinensis*.

Treatment	Nutrient concentrations in the Bulbs.				
	Nitrogen (mg/g DW)	Phosphorus (mg/g DW)	Potassium (mg/g DW)	Calcium (mg/g DW)	Magnesium (mg/g DW)
No shading	4.57 ± 1.54	0.95 ± 0.13^a	11.91 ± 0.97^a	2.74 ± 0.11	2.69 ± 0.05^a
50% shading	3.25 ± 1.52	0.63 ± 0.11^b	7.85 ± 0.41^b	2.76 ± 0.09	2.04 ± 0.13^b
70% shading	2.81 ± 1.48	0.54 ± 0.01^b	7.24 ± 0.79^b	2.57 ± 0.10	1.91 ± 0.10^b
F - test	ns	**	**	ns	**
P-Value	0.39	0.005	0.001	0.12	0.0002
CV. (%)	42.72	14.13	8.44	3.72	4.52

Notes: ns = non-Significant difference , ** = Significant at $p < 0.01$

สรุปผลและอภิปรายผล

อภิปรายผล ว่านางคัมภ์ที่ได้รับการพร่างแสงนั้นแสดงให้เห็นว่า ปริมาณแสงที่น้อยลงกระตุ้นการยืดตัวของก้านใบ ซึ่งเป็นกลไกการตอบสนองของพืชเพื่อเพิ่มโอกาสในการรับแสง Taiz et al.[12] สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Suksamran and Sukpraser[13] รายงานว่าต้นปทุมมาที่ปลูกภายใต้การพร่างแสงด้วยพลาสติกคลุมกับตาข่ายพร่างแสงสีดำ 50% มีผลส่งเสริมให้มีความสูงของต้นมากกว่าต้นที่ไม่ได้รับการพร่างแสง ในขณะที่ Sasidharan and Pierik[14] รายงานว่าภายใต้สภาวะความเข้มแสงต่ำ *Arabidopsis thaliana* มีการยืดของก้านใบอย่างชัดเจน ซึ่งเชื่อมโยงกับเอนไซม์ Xyloglucan endotransglucosylase/hydrolase (XTH) ที่ช่วยปรับผนังเซลล์ให้ขยายตัวขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า กลไกการยืดตัวเกี่ยวข้องกับการหลั่งโปรตอนไปยัง ช่องว่างระหว่างเซลล์ (apoplast) เป็นพื้นที่ที่รับและสะสมโปรตอนไม่ใช่ตัวสร้างโปรตอนโดยตรง เพื่อสร้างสภาวะกรดที่เหมาะสมต่อการทำงานของ XTHs

การพร่างแสง 70% ส่งผลให้ใบมีความเขียวเพิ่มขึ้นมากที่สุด สะท้อนถึงการสะสมคลอโรฟิลล์ที่มากขึ้น โดยพืชมักเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในสภาพแสงต่ำเพื่อชดเชยการสังเคราะห์แสงที่ลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Srilert and Diloksumpun[15] รายงานว่ากล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงที่ต่ำนั้นส่งผลให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าต้นที่ได้รับการแสงเต็มที่อย่างมีนัยสำคัญ และการทดลองของ Datpiratmongkol and Yoosukyingsataporn[16] ทดลองการพร่างแสงให้กับหญ้ารีเพอร์ พบว่า การปลูกหญ้ารีเพอร์ในสภาพที่ไม่พร่างแสงมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับต้นที่ได้รับการพร่างแสง ความเข้มแสงต่ำกระตุ้นให้พืชเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับแสง (light harvesting efficiency) เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์จากแสงให้สูงสุด เพื่อให้มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (Net Photosynthesis Rate) ที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต ภายใต้สภาวะแสงต่ำ[12] อีกทั้งการพร่างแสงช่วยป้องกันการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Photodamage) ภายใต้แสงที่เข้มข้นจนเกินไป[17] ซึ่งส่งผลให้ใบมีสีเขียวเข้มขึ้น[6] การสะสมคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้นนี้ช่วยให้ใบมีสีเขียวเข้มขึ้นและสามารถรักษาอัตราการสังเคราะห์แสงที่เพียงพอแม้ในสภาวะแสงต่ำ นอกจากนี้[17] การปรับตัวนี้ยังช่วยลดความเครียดจากแสงสูง (photo-oxidative stress) เมื่อแสงแรงกว่าที่คาดการณ์หรือมีการเปลี่ยนแปลงระดับแสงอย่างฉับพลัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Manabaramikul et al.[6] การพร่างแสง 60% และ 70% ให้กับว่านมหาลพทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (Chlorophyll Content) มีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (แสงเต็มที่) และกลุ่มที่พร่างแสงน้อยกว่า

ความกว้างและความยาวของใบ พบว่า การพร่างแสงที่เพิ่มขึ้น (50% และ 70%) มีค่าเฉลี่ยมากกว่าพรีดิเมนต์ที่ไม่พร่างแสง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัย Chitwood et al.[18] รายงานว่า ขนาดใบของพืชมีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับระดับแสงในสภาพแวดล้อมเดิม โดยพืชที่อยู่ในพื้นที่ที่มีแสงน้อยมักพัฒนาใบให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการรับแสงและกระบวนการสังเคราะห์แสง การมีใบที่ใหญ่ขึ้นยังช่วยลดความเสียหายจากแสง (Photodamage) Srikrishnah and Sutharsan[19] รายงานว่า การพร่างแสงที่ระดับ 80% ส่งผลให้มันฝรั่งมีพื้นที่ใบมากที่สุด รองลงมาคือ การพร่างแสง 50% และ 40% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่พร่างแสง นอกจากนี้ Suksamran and Sukpraser[13] รายงานว่า การพร่างแสงด้วยพลาสติกคลุมตาข่ายสีดำ 50% ทำให้ปทุมมาพันธุ์ Cherry Pink และ Kimono Pink มีความยาวใบสูงสุดเมื่อเทียบกับต้นที่ไม่พร่างแสง การที่พืชได้รับการพร่างแสงแล้วส่งผลต่อความกว้างและความยาวใบนั้นอาจเป็นไปได้ว่าแสงมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ฮอร์โมนจิบเบอเรลลินซึ่งเกี่ยวข้องกับการยืดตัวของเซลล์พืช โดยปริมาณ ความเข้มแสงและระยะเวลาการได้รับแสงสามารถกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนดังกล่าวได้[20] อีกทั้งการพร่างแสงช่วยลดอุณหภูมิใบและอัตราการคายน้ำ ทำให้พืชลดความเครียดจากน้ำ ปากใบสามารถเปิดได้มากขึ้น ส่งผลให้พืชรักษาสถานะน้ำได้ดีและเอื้อต่อการขยายตัวของเซลล์ใบ[7], [12]

การเจริญเติบโตทางด้านจำนวนใบและเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงในระดับทดลองไม่ได้มีผลต่อการแตกใบใหม่หรือความหนาของก้านใบอย่างมีนัยสำคัญ ภายใต้ระดับความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Wu et al.[21] รายงานว่า การพร่างแสงหรือการลดความเข้มของแสงนั้นไม่ได้กระทบการแตกใบใหม่หรือความหนาของก้านใบโดยตรง ลักษณะเหล่านี้ขึ้นกับการแบ่งและขยายตัว

ของเซลล์ในเนื้อเยื่อข้าวมากกว่าอิทธิพลจากแสง นอกจากนี้ฮอร์โมนพืช เช่น auxin และ cytokinin มีบทบาทสำคัญต่อการแตกใบใหม่ การขยายตัวของเซลล์ และการสร้างเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน Hussain et al.[22] และ Xiong et al.[23]

ผลผลิตของว่านนางคัมในด้านน้ำหนักหัวและเส้นผ่านศูนย์กลางหัว พบว่า การพร่างแสง 70% ให้ผลผลิตสูงที่สุด โดยมีน้ำหนักหัว และเส้นผ่านศูนย์กลางหัวมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ซึ่งแตกต่างจากการไม่พร่างแสงที่ให้ผลผลิตต่ำที่สุด การพร่างแสงจึงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อให้เหมาะสมต่อการสะสมสารอาหารและการขยายตัวของหัว และกระบวนการหายใจแสง (Photorespiration) มักเกิดขึ้นเมื่อแสงแดดจัดและอุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้ปากใบปิดเพื่อลดการคายน้ำ ส่งผลให้ความเข้มข้นของ CO_2 ในใบลดลง การพร่างแสง 70% ช่วยลดความเข้มข้นและอุณหภูมิที่ใบ ทำให้ปากใบสามารถเปิดได้มากขึ้น และเอนไซม์ RuBisCO มีโอกาสจับกับ CO_2 ได้มากขึ้นแทน O_2 ส่งผลให้ลดการสูญเสียคาร์บอนและพลังงานจากการหายใจแสง[12] นอกจากนี้ การพร่างแสงยังป้องกันไม่ให้แสงมากเกินไปจนเกิดความเสียหายต่อคลอโรฟิลล์ (Photodamage)[21] ส่งผลให้หัวพันธุ์สะสมสารตั้งต้นในการสร้างแป้งและสารอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้น้ำหนักหัวและเส้นผ่านศูนย์กลางหัวเพิ่มขึ้น และเป็นผลผลิตสูงสุด[24] นอกจากนี้ การพร่างแสง 70% ช่วยให้การคายน้ำทำให้พืชรักษาสถานะน้ำในเนื้อเยื่อได้ดีขึ้น (ลด Water Stress) อีกทั้งการลดความร้อนที่ใบยังช่วยลดการปิดปากใบแบบฉับพลัน ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อการสังเคราะห์แสงดำเนินต่อไปได้ดีกว่าพืชที่ได้รับแสงเต็มที่[12] สอดคล้องกับ Xue et al.[24] รายงานว่า สภาวะพร่างแสง (shade) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงในพืชลดการสะสมของ reactive oxygen species (ROS) และกระตุ้นการสังเคราะห์แป้ง (starch) ซึ่งสารอาหารเหล่านี้จะถูกสะสมในหัวหรือเหง้า ส่งผลให้การเจริญเติบโตของหัวและเหง้าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ปริมาณธาตุอาหาร พบว่า การไม่พร่างแสงพืชมีการสะสมฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) และแมกนีเซียม (Mg) ในหัวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดจากความเข้มข้นแสงที่มากทำให้กระบวนการดูดซึมและการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ [25] รายงานว่า การนำไปใช้ฟอสฟอรัสของพืช ในดินส่วนใหญ่เป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงาน (ATP) สูง (Active Transport) เมื่อได้รับแสงเต็มที่อัตราการสังเคราะห์แสงสูงขึ้นการผลิต ATP มากขึ้น การดูดฟอสฟอรัสที่ต้องใช้พลังงานจึงมีประสิทธิภาพสูงสุด โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการขนส่งน้ำตาล (Photosynthate Translocation) จากใบ (Source) ไปยังหัว (Sink) การที่พืชได้รับแสงเต็มที่ทำให้การผลิตน้ำตาลสูงเมื่อน้ำตาลถูกผลิตมากความต้องการโพแทสเซียมเพื่อช่วยในการลำเลียงน้ำตาลไปสะสมในหัวจึงสูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้โพแทสเซียมสะสมในหัวมากที่สุด และ [12] รายงานว่า แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบหลักในโมเลกุล คลอโรฟิลล์ และเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง แม้ว่าแสงเต็มที่อาจทำให้ความเขียวใบโดยรวมลดลง แต่การที่แมกนีเซียมสะสมในหัวมาก อาจสะท้อนถึงการจัดสรรแมกนีเซียมไปยังแหล่งเก็บสะสม (Sink) ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วภายใต้แสงที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจน (N) และแคลเซียม (Ca) ไม่มีความแตกต่างกัน แม้ว่ากระบวนการดูดซึมไนโตรเจน และการเปลี่ยนรูปโดยเอนไซม์ Nitrate Reductase จะถูกกระตุ้นด้วยแสงและต้องใช้พลังงานสูง การปรับตัวในการใช้ไนโตรเจนที่แตกต่างกัน เช่น ในที่ร่มที่มีการพร่างแสง 50 – 70% พืชจะจัดสรรไนโตรเจนไปใช้ในการสร้างโครงสร้างรับแสงที่ใหญ่ขึ้น เช่น คลอโรฟิลล์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับแสง (Light Harvesting)[26] ในแสงเต็มที่พืชจะจัดสรรไนโตรเจนไปใช้ในการสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับวงจร Calvin เช่น RuBisCO และการสร้างโปรตีนเพื่อสนับสนุนอัตราการสังเคราะห์แสงที่รวดเร็ว ส่วนธาตุแคลเซียมโดยหลักการแล้วการพร่างแสง 70% มีอัตราการคายน้ำลดลง[12] จะส่งผลให้การลำเลียงแคลเซียมไปยังหัวลดลงด้วย การที่ปริมาณแคลเซียมในหัวไม่มีความแตกต่างเมื่อเทียบกับกลุ่มที่พร่างแสง และไม่พร่างแสงนั้นอาจเป็นไปได้ว่า หัวว่านนางคัมเป็น Sink ที่แข็งแกร่งมาก (Strong Sink) หัวอาจมีความต้องการแคลเซียมที่สูงมาก และสามารถดึงแคลเซียมเข้าสู่หัวได้แม้ว่าการคายน้ำที่ใบจะลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการที่แคลเซียมถูกดึงเข้าสู่หัวพร้อมกับการลำเลียงน้ำอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการคายน้ำที่ใบโดยตรง ผลของการลดการคายน้ำไม่ถึงจุดวิกฤต ระดับการลดการคายน้ำที่เกิดจากการพร่างแสง 70% ไม่มากพอที่จะทำให้การลำเลียงแคลเซียมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับความต้องการแคลเซียมของหัวที่กำลังเติบโต[8], [12], [25]

จากการศึกษาสรุปได้ว่า การพรางแสงมีผลสำคัญต่อการเจริญเติบโตของว่านนางคัม โดยการพรางแสง 70 % ส่งผลให้ว่านนางคัมมีการเจริญเติบโตทางสรีรวิทยาดีที่สุดในด้านความยาวก้านใบ ความเข้มของสีใบ ความยาวใบ ความกว้างใบ รวมถึงน้ำหนัก และเส้นผ่านศูนย์กลางหัวสูงสุด ในขณะที่การไม่พรางแสงส่งผลให้หัวสะสมธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม มากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ดังนั้น การเลือกใช้ระดับการพรางแสงจึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ หากมุ่งเน้นการเจริญเติบโตและคุณภาพหัว ควรใช้การพรางแสง 70% แต่หากมุ่งเน้นการสะสมธาตุอาหาร ควรปลูกในสภาพไม่พรางแสง ผู้สนใจหรือผู้ประกอบการด้านไม้ดอกไม้ประดับสามารถนำแนวทางการจัดการแสงจากการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้ในการผลิต เพื่อให้ได้ต้นและหัวที่มีคุณภาพสูงและสม่ำเสมอมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้พื้นที่และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Trade Negotiations. The trade situation of flowers, ornamental plants, and plant varieties in Thailand [Internet]. Bangkok: Department of Trade Negotiations; 2025 [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://www.dtn.go.th/th/content/category/detail/id/1541/cid/1566/iid/2798> (in Thai).
- [2] Puangkaew W, Suwanthada C. Growth cycle of *P. amboinensis*. Kasetsart J. 2002;16(3):231-5. (in Thai).
- [3] Techaphinyawat S. Plant physiology. 1st ed. Bangkok: Kasetsart University; 2001. (in Thai).
- [4] Ruamrungees S. Physiology of ornamental plants. 1st ed. Bangkok: Odeanstore; 2001. (in Thai).
- [5] Kasemsap S. Flower cultivation. 2nd ed. Bangkok: Faculty of Agriculture, Kasetsart University; 1982. p. 455. (in Thai).
- [6] Manabaramikul S, Kampata P, Changjeraja R. Effects of shading on growth, flowering, nitrogen content, and non-structural carbohydrates of *Eucrosia bicolor*. J Agric Res Dev. 2013;30(2):1-8. (in Thai).
- [7] Payuyong S, Boonkaokaew P, Techasilpitak T, Yangkhamman P. Effects of shading and net color on growth and flowering of *Globba williamsiana*. In: The 49th Kasetsart University Annual Conference; 2011 Feb 1-4; Bangkok. Bangkok: Kasetsart University; 2011. p. 450-7. (in Thai).
- [8] Wu W, Chen L, Liang R, Huang S, Li X, Huang B, et al. The role of light in regulating plant growth, development and sugar metabolism: a review. Front Plant Sci. 2025;15:1507628. doi: 10.3389/fpls.2024.1507628.
- [9] Novozamsky I, van Eck R, van Schouwenburg JC, Walinga I. Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol blue method. Neth J Agric Sci. 1974;22:3-5.
- [10] Walinga I, van der Lee JJ, Houba VJG, van Vark W, Novozamsky I. Plant analysis manual. Dordrecht: Springer; 1995. p. 275.
- [11] Kalra YP. Handbook of reference methods for plant analysis. Boca Raton: CRC Press; 1998. p. 300.
- [12] Taiz L, Zeiger E, Moller IM, Murphy A. Plant physiology and development. 6th ed. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2015.
- [13] Suksamran C, Sukpraser P. Effect of shading conditions on growth and product qualities of curcuma (*Curcuma alismatifolia* Gagnep.) in southern Thailand. Thai J Sci Technol. 2018;8(2):147-55. doi: 10.14456/tjst.2019.24. (in Thai).

- [14] Sasidharan R, Pierik R. Cell wall modification involving XTHs controls phytochrome-mediated petiole elongation in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Signal Behav.* 2010;5(11):1491-2. doi: 10.4161/psb.5.11.13643.
- [15] Srilert N, Diloksumpun S. Growth performance and physiological characteristics of four clones of eucalypt seedlings under different light intensities. *Thai J For.* 2011;30(2):15-26. (in Thai).
- [16] Datpiratmongkol S, Yoosukyingsataporn S. Effects of shading and plant spacing on growth and yield of barbed grass (*Centotheca lappacea* (L.) Desv.) [Internet]. Bangkok: Agricultural Research Development Agency (Public Organization); 2018 [cited 2026 Apr 26]. Available from: https://cads.arda.or.th/th/documents/research/4694c7e5-cb1c-435c-b0ae-3fbe5694c292_th-TH. (in Thai).
- [17] Shi M, Zhou W, Shi S, Hu K, Shi T, Gao S, et al. Shading alleviates chloroplastic photodamage of forcing cultivated tree peonies in spring management. *Sci Hortic.* 2025;344:114104.
- [18] Chitwood DH, Headland LR, Filiault DL, Kumar R, Jiménez-Gómez JM, Schrager AV, et al. Native environment modulates leaf size and response to simulated foliar shade across wild tomato species. *PLoS One.* 2012;7(1):e29570. doi: 10.1371/journal.pone.0029570.
- [19] Srikrishnah S, Sutharsan S. Effect of different shade levels on growth and tuber yield of turmeric (*Curcuma longa* L.) in the Batticaloa district of Sri Lanka. *Am-Euras J Agric Environ Sci.* 2015;15(5):813-6.
- [20] Boonyakiat D. Plant physiology. Chiang Mai: Faculty of Agriculture, Chiang Mai University; 2001. p. 230. (in Thai).
- [21] Wu Y, Gong W, Yang W. Shade inhibits leaf size by controlling cell proliferation and enlargement in soybean. *Sci Rep.* 2017;7(1):9259. doi: 10.1038/s41598-017-10026-5.
- [22] Hussain S, Nanda S, Zhang J, Rehmani MIA, Suleman M, Li G, et al. Auxin and cytokinin interplay during leaf morphogenesis and phyllotaxy. *Plants.* 2021;10(8):1732. doi: 10.3390/plants10081732.
- [23] Xiong Y, Jiao Y. The diverse roles of auxin in regulating leaf development. *Plants (Basel).* 2019;8(7):243. doi: 10.3390/plants8070243.
- [24] Xue T, Zhang H, Zhang Y, Wei S, Chao Q, Zhu Y, et al. Full-length transcriptome analysis of shade-induced promotion of tuber production in *Pinellia ternata*. *BMC Plant Biol.* 2019;18(19):565. doi: 10.1186/s12870-019-2197-9.
- [25] Marschner H. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. London: Academic Press; 2012. doi: 10.1016/C2009-0-63043-9.
- [26] Evans JR. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecol.* 1989;78(1):9-19. doi: 10.1007/BF00377192.