

ผลของระดับความเค็มและการฉีดพ่นปุเทรสซินต่อผลผลิตและปริมาณแอนโดรกราโฟไลด์ในฟ้าทะลายโจร

Effects of Salt Level and Foliar Putrescine on Yield and Andrographolide Content of *Andrographis paniculata*

บุญญิศา ตระกูลยิ่งเจริญ^{1*} และกนกกร สินมา¹Punyisa Trakoonyingcharoen^{1*} and Kanokkorn Sinma¹

Received date: 20 มี.ค. 66 Revised date: 13 ก.ย. 66 Accepted date: 1 ต.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.005>

บทคัดย่อ

ความเค็มของดินนับเป็นปัจจัยแวดล้อมที่สำคัญมากในการจำกัดผลผลิตและปริมาณสารสำคัญของพืชหลายชนิด สารปุเทรสซินเป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยหมู่อะมิโน 2 หมู่ มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการลดความเครียดของพืชหลายชนิด งานวิจัยจึงศึกษาถึงผลของการฉีดพ่นสารปุเทรสซินในฟ้าทะลายโจรที่ได้รับ ความเครียดจากความเค็มระดับต่างๆ ออกแบบการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์โดยจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial in CRD) จำนวน 5 ซ้ำ 2 ปัจจัย ในดินชุดกำแพงแสน กำหนดปัจจัย A เป็นระดับความเค็ม ได้แก่ 0, 5 และ 10 เดซิซีเมนส์/เมตร และ ปัจจัย B คือความเข้มข้นของสารปุเทรสซินที่ใช้ฉีดพ่นทางใบ ได้แก่ 0, 150 และ 300 พีพีเอ็ม ทำการเก็บเกี่ยวหลังปลูกฟ้าทะลายโจรได้ 120 วัน และบันทึกน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และสารแอนโดรกราโฟไลด์ ผลการทดลองพบว่าระดับความเค็มส่งผลให้ฟ้าทะลายโจรมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลงแต่ปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อได้รับการฉีดพ่นปุเทรสซินทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นและ H_2O_2 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับฟ้าทะลายโจรที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นปุเทรสซิน นอกจากนี้ยังพบว่าความเค็มทำให้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์สะสมมากในฟ้าทะลายโจรเมื่อฉีดพ่นปุเทรสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม ทำให้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่อหน่วยน้ำหนักและปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ทั้งต้นสะสมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 80.7 และ 307.1 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ : ฟ้าทะลายโจร สารแอนโดรกราโฟไลด์ ความเครียดจากความเค็ม ความเข้มข้นสารปุเทรสซิน

Abstract

Salt stress is considered the most environmental factor for limiting yield and metabolite content of many plant species. Putrescine is an organic substance consisting of two amine groups. Putrescine plays an important role in many processes in plant growth and stress responds. This study investigated the effects of foliar application of putrescine ($C_4H_{12}N_2$) on yield and andrographolide content of *Andrographis paniculata* under different salinity levels. The research was designed with completely randomized experimental plan (Factorial in CRD) replicating 5 times with 2 factors in Kamphaeng Saen soil experimental sample. Factor A indicated salinity level which were at 0, 5, and 10 dS/m, and Factor B indicated putrescine concentration which were at 0, 150, and 300 ppm. Harvest was 120 days after planting. Dry and fresh weight of the shoots, H_2O_2 , and andrographolide content were recorded. The results indicated that salinity level caused a significant decrease in fresh and dry weight of the shoot but there was an increase in H_2O_2 content. The application of Putrescine foliar significantly increased the weight and decreased H_2O_2 content compared to no Putrescine application. It was also found that the salinity caused the accumulation of andrographolide in *Andrographis paniculata*. The cumulative amount of andrographolide was significantly at the highest at 150 ppm of Putrescine at 80.7 and 307.1 mg/g, respectively.

Keywords: *Andrographis paniculata*, andrographolide, salinity stress, putrescine concentration

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ม.เกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม 73140

¹ Soil Science Department, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Nakhonpathom 73140

* Corresponding author, Email: agrpyst@ku.ac.th

คำนำ

ความเค็มของดิน (soil salinity) เป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของการผลิตพืช การกระจายของพื้นที่ดินเค็มในโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เนื่องจากสาเหตุ 3 ประการ คือ (1) การชลประทานด้วยน้ำที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน (2) การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ ซึ่งมีผลให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น และ (3) ช่วงแล้งต่อเนื่องยาวนานกว่าเดิมทำให้การระเหยน้ำจากดินมากขึ้น จึงมีการเคลื่อนย้ายของเกลือจากดินชั้นล่างมาสะสมในดินชั้นบน ดังนั้นการจัดการสภาพแวดล้อมให้พืชเจริญได้ใกล้เคียงสภาพปกติภายใต้สภาพความเค็ม จึงเป็นการศึกษาที่มีความสำคัญ ความเค็มกระทบต่อสรีระและเมแทบอลิซึมของพืช 3 ประการ ดังนี้ ประการที่ 1 ความเค็มทำให้มีอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น อนุมูลอิสระที่พบมากคือ ออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species; ROS) รูปที่พบบ่อยทั่วไปคือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในภาวะปกติหรือภาวะที่มีความเครียดเล็กน้อย ROS เกิดขึ้นเพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ เพื่อให้เซลล์พืชปรับตัวทั้งด้านสรีรวิทยา และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน ทำให้เกิดการสังเคราะห์สารต้านออกซิเดชันและสารเมแทบอลิต์อื่นๆ ที่เป็นสารประกอบออกฤทธิ์เชิงชีวภาพ เช่น สารแอนโดรกราโฟไลด์ แต่ถ้าพืชได้รับความเครียดรุนแรงหรือยาวนาน ทำให้ออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยามีมาก จะทำลายเซลล์ด้วยการออกซิไดส์ดีเอ็นเอ และโมเลกุลของสารที่สำคัญอื่นๆ ทำให้เซลล์ตายในที่สุด (Osotsapa, 2017) ประการที่ 2 ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินลดลง ทำให้ปริมาณน้ำในพืชน้อยลง และประการที่ 3 พืชสะสมไอออนแอมโมเนียมและคลอไรด์ไอออนในเซลล์มากเกินไปจนเกิดภาวะไม่สมดุลของไอออนต่าง ๆ ในเซลล์ (ionic imbalance) และเกิดความเป็นพิษของไอออนแอมโมเนียมและคลอไรด์ไอออนต่อพืช ความเค็มจึงส่งผลกระทบต่อกระบวนการสำคัญต่างๆ ภายในเซลล์พืช รวมไปถึงเมแทบอลิซึมของชีวโมเลกุลต่างๆ (Kumar et al., 2017)

ข้อมูลพื้นที่ดินเค็มกับการผลิตพืชหลายโรรมีไม่มากนัก แต่พบว่ามีแหล่งผลิตสำคัญในจังหวัดนครปฐม ราชบุรี เพชรบุรี และชลบุรี เป็นพื้นที่ที่สามารถได้รับอิทธิพลจากความเค็มของน้ำใต้ดิน บนดิน หรือเกลือในดินได้ Talei et al. (2013) พบว่าพืชหลายโรรมีความทนเค็มได้ระดับหนึ่ง แต่ผลผลิตพืชหลายโรรมีลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อได้รับความเค็มตั้งแต่ 4 เดซิซีเมนส์/เมตร สำหรับปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อได้รับความเค็มไม่เกิน 5 เดซิซีเมนส์/เมตร แต่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (Rajpar et al., 2011) อย่างไรก็ตามพืชหลายโรรมีไม่สามารถงอกได้เลยเมื่อวัสดุปลูกมีความเค็ม 12 เดซิซีเมนส์/เมตร (Rajpar et al., 2007) ปัจจุบันนี้ปัญหาด้านความเค็มทั้งจากดินเค็มและน้ำเค็มมีมากขึ้น จึงน่าสนใจในการแก้ปัญหาผลผลิตและคุณภาพของพืชหลายโรรมี ซึ่งเป็นสมุนไพรที่นิยมใช้กันแพร่หลาย

พืชหลายโรรมีเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีการใช้บริโภคเพื่อรักษาโรคหลายชนิด เนื่องจากประกอบด้วยสารเมแทบอลิต์ที่สำคัญ คือ สารกลุ่มไดเทอร์พีนแลคโตน (diterpene lactones) ซึ่งมีสารแอนโดรกราโฟไลด์เป็นองค์ประกอบหลัก สารแอนโดรกราโฟไลด์มีฤทธิ์ลดไข้ ต้านการอักเสบ ต้านเชื้อไวรัส รสขม ละลายน้ำได้น้อยแต่ละลายในแอลกอฮอล์ได้ดี (Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, 2022) มีสูตรโมเลกุล $C_{20}H_{30}O_5$ มวลโมเลกุล 350.455 กรัม/โมล ปัจจุบันพืชหลายโรรมีเป็นทางเลือกหนึ่งในการรักษาโรคโควิด 19 เพราะสามารถลดอาการข้างเคียงจากไวรัสในระบบทางเดินหายใจส่วนต้นได้ จึงเป็นทางเลือกให้ประชาชนที่ต้องการหลีกเลี่ยงการใช้ยาสังเคราะห์ทางเคมีด้วยการใช้สมุนไพรแทน แต่ต้องรับประทานพืชหลายโรรมีให้ได้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์เพียงพอต่อการควบคุมโรคได้ ตามบัญชียาหลักแห่งชาติ (National Drug System Development Committee, 2021) กำหนดให้ใช้ผงจากส่วนเหนือดินของพืชหลายโรรมี ที่มีสารสำคัญคือสารแอนโดรกราโฟไลด์ให้ผู้ป่วยโควิดอาการไม่รุนแรงทาน 180 มิลลิกรัมต่อวัน ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์จึงเป็นสารกำหนดคุณภาพของพืชหลายโรรมี โดยพบว่าในส่วนของใบพืชหลายโรรมีมีปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์สูงที่สุดและสูงในช่วงเริ่มออกดอกไม่เกิน 50% งานวิจัยในปัจจุบันพบว่าสารแอนโดรกราโฟไลด์จากพืชหลายโรรมีใช้เป็นสารหลักในการผลิตสเปรย์ไถ่ยุงธรรมชาติได้ผลดีมาก จึงเห็นได้ว่าแนวโน้มการใช้ประโยชน์จากสารแอนโดรกราโฟไลด์มีมากขึ้นและความเข้มข้นสารที่สูงมากพอเป็นปัจจัยสำคัญในการต่อยอดผลิตภัณฑ์ Pholphana et al. (2013) พบว่าการผลิตพืชหลายโรรมีในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย มีความเข้มข้นสารแอนโดรกราโฟไลด์แตกต่างกันตามพื้นที่ บางพื้นที่ผลิตได้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่ำกว่ามาตรฐาน (Chuenim et al., 2006) ส่งผลต่อคุณภาพของผงสกัดพืชหลายโรรมี

งานวิจัยจำนวนมากพบว่าการฉีดพ่นสารพืชรสขื่นในการปลูกพืชภายใต้สภาพความเค็ม สามารถเพิ่มความทนทาน ความเครียดจากความเค็มได้ (Abd Elbar et al., 2019; Ghalati et al., 2020; Ma et al., 2022; Tang and Newton, 2005) เนื่องจากพืชรสขื่นทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระดับเซลล์ สามารถควบคุมแรงดันออสโมซิส (Gill and Tuteja, 2010) เพิ่มการทำงานของปากใบ กระตุ้นการสังเคราะห์แสง เพิ่มปริมาณสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) และเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ที่ช่วยสลายออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยา เช่น เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดีสมิเนส จึงช่วยลดปริมาณ ROS ในเซลล์พืชไม่ได้รับอันตราย อย่างไรก็ตามผลของสารพืชรสขื่นในการปลูกพืชหลายโรรมีภายใต้สภาพความเค็มยังไม่เคยปรากฏการวิจัยมาก่อนทั้งในและ

ต่างประเทศ จึงมีแนวคิดในการศึกษาผลของความเข้มข้นปุ๋ยทรูสซินที่เหมาะสมต่อผลผลิตและสารแอนโดรกราโฟไลด์ในฟ้าทะลายโจรที่ได้รับความเค็มระดับต่าง ๆ ผลการทดลองที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการเพิ่มผลผลิตและสารสำคัญที่มีผลต่อการออกฤทธิ์ของฟ้าทะลายโจรและสมุนไพรชนิดอื่นที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มต่อไป

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบ Factorials in completely randomized design มี 2 ปัจจัยคือ ระดับความเค็ม (ปัจจัย A) และความเข้มข้นของสารปุ๋ยทรูสซิน (ปัจจัย B) โดยปัจจัยระดับความเค็ม กำหนดเป็น 0, 5 และ 10 เดซิซีเมนส์/เมตร และปัจจัยความเข้มข้นของสารปุ๋ยทรูสซินกำหนดเป็น 0, 150 และ 300 พีพีเอ็ม รวมเป็น 9 ตำรับการทดลอง การทดลองละ 5 ซ้ำ ทำการทดลองในกระถางที่บรรจุดินกำแพงแสน 5 กิโลกรัม วิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นก่อนปลูกพบว่า ดินมีไนโตรเจนทั้งหมดต่ำมาก 0.04% อินทรีย์วัตถุต่ำมาก 0.8 % ปฏิกริยาดินเป็นกลาง pH 7.3 และไม่เป็นดินเค็มซึ่งมีค่า EC 0.07 เดซิซีเมนส์/เมตร ทำการเพาะกล้าฟ้าทะลายโจรจากเมล็ดพันธุ์กำแพงแสน ย้ายปลูกเมื่อมีอายุกล้า 30 วัน และใส่ปุ๋ยสูตรเสมอ (15-15-15) ตามคำแนะนำกรมวิชาการเกษตรที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง เมื่อฟ้าทะลายโจรอายุ 60 วันและ 90 วัน หลังการย้ายกล้าลงกระถาง 1 สัปดาห์ ทำการรดน้ำที่มีความเค็มตามที่กำหนด กระถางละ 500 มิลลิลิตร วันละครึ่ง การรดน้ำที่ระดับความเค็ม 10 เดซิซีเมนส์/เมตร (เตรียมจาก NaCl 6 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร) จะทยอยเพิ่มระดับความเค็มของน้ำที่รดในต้นฟ้าทะลายโจรเพื่อป้องกันการช็อคของฟ้าทะลายโจร การรดน้ำสัปดาห์แรกจะให้น้ำที่ระดับความเค็ม 5 เดซิซีเมนส์/เมตร หลังจากนั้นรดน้ำที่ระดับความเค็ม 10 เดซิซีเมนส์/เมตร การฉีดพ่นสารปุ๋ยทรูสซินทำการฉีดตามความเข้มข้นที่กำหนดหลังย้ายกล้าไปแล้ว 20 และ 50 วัน เมื่อฟ้าทะลายโจรอายุ 120 วัน จึงเก็บผลผลิต แล้ววิเคราะห์น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน ปริมาณสารออกฤทธิ์แอนโดรกราโฟไลด์ วิเคราะห์จากใบอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน สกัดด้วยเครื่อง soxhlet extractor ตัวทำละลายที่ใช้คือ เอทานอล ระยะเวลาในการสกัด 4 ชั่วโมง 15 นาที แล้ววัดด้วยเครื่อง High-performance liquid chromatography (Pump Delta 600E, USA) (Wongkittipong et al., 2004) แล้วนำไปคำนวณเป็นสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่อต้น สำหรับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สกัดจากใบสดด้วย 1% trichloro acetic acid (TCA) สารละลายที่ได้จากการเซนติฟิวส์ ถูกวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 390 นาโนเมตร (Velikova et al., 2000)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ของข้อมูลผลผลิตฟ้าทะลายโจรและปริมาณสารสำคัญ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเหล่านี้ด้วยวิธี Duncan's multiple range tests (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS (University license)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. น้ำหนักสดและมวลแห้งส่วนเหนือดิน

เมื่อพิจารณาผลของปัจจัย A (ระดับความเค็ม) ต่อน้ำหนักสดของฟ้าทะลายโจร พบว่าน้ำหนักสดลดลงเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น จาก Table 1 แสดงให้เห็นว่าฟ้าทะลายโจรมีน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงสุดเมื่อไม่ได้รับความเค็ม (18.31 กรัม/ต้น) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับฟ้าทะลายโจรที่ได้รับความเค็มระดับ 10 เดซิซีเมนส์/เมตร แสดงให้เห็นว่าฟ้าทะลายโจรที่ได้รับความเค็มจากโซเดียมไอออนที่ความเข้มข้นสูงส่งผลต่อผลผลิตฟ้าทะลายโจร เนื่องจากโซเดียมไอออนในดินที่มีความเข้มข้นสูง ทำให้รากพืชดูดน้ำไปใช้ได้ยาก เซลล์พืชขาดน้ำง่าย นำไปสู่การทำลายโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ การลดกิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ และระบบการสังเคราะห์แสง (Kumar et al., 2017)

เมื่อพิจารณาผลของปัจจัย B (ความเข้มข้นของปุ๋ยทรูสซิน) ต่อน้ำหนักสดของฟ้าทะลายโจรพบว่าน้ำหนักสดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของปุ๋ยทรูสซินเพิ่มขึ้น จาก Table 1 แสดงให้เห็นว่าฟ้าทะลายโจรมีน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงสุดเมื่อได้รับปุ๋ยทรูสซิน (16.60 กรัม/ต้น) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดเฉลี่ยที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นปุ๋ยทรูสซิน การฉีดพ่นสารปุ๋ยทรูสซิน ซึ่งจัดเป็นสารออสโมไลต์ชนิดหนึ่งทำหน้าที่ควบคุมแรงดันออสโมติกระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ (Suleiman et al., 2002) ทำให้ฟ้าทะลายโจรที่ได้รับความเค็มสามารถดำเนินกิจกรรมได้ปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ปลูกพืชในดินเค็มและฉีดพ่นด้วยสารปุ๋ยทรูสซิน ปรากฏว่าผลผลิตมากกว่าการไม่ฉีดพ่นสารปุ๋ยทรูสซิน (Elbar et al., 2019; Suleiman et al., 2002; Zapata et al., 2004)

หากพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างระดับความเค็มและความเข้มข้นของสารปุ๋ยทรูสซิน ที่ใช้ในการปลูกฟ้าทะลายโจรพบว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักสด พบว่าการฉีดพ่นสารปุ๋ยทรูสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็มในฟ้าทะลายโจรที่ไม่ได้รับความ

เคมี ส่งผลให้น้ำหนักสดเฉลี่ยฟัทะลายโจรสูงที่สุด 20.91 กรัม/ต้น แตกต่างจากการไม่ได้รับการฉีดพ่นสารพทุเทสซินอย่างมีนัยสำคัญ เป็นเพราะสารพทุเทสซินช่วยลดผลกระทบจากความเครียดจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่ไม่ได้มีแต่ความเครียดจากความเค็มได้ (Gill and Tuteja, 2010) และหากได้รับความเค็มสูงที่ EC ไม่เกิน 5 เดซิซีเมนส์/เมตร การฉีดพ่นสารพทุเทสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม สามารถทำให้น้ำหนักสดไม่แตกต่างจากฟัทะลายโจรที่ปลูกในสภาพปกติ (สภาพไม่ได้รับความเค็มและไม่ฉีดพ่นสารพทุเทสซิน) แต่ถ้าฟัทะลายโจรได้รับความเค็มสูงถึง EC 10 เดซิซีเมนส์/เมตร จำเป็นต้องเพิ่มความเข้มข้นของสารพทุเทสซินถึงระดับ 300 พีพีเอ็ม จึงจะมีผลให้น้ำหนักสดไม่แตกต่างจากฟัทะลายโจรที่ปลูกในสภาพปกติ

สำหรับมวลแห้งเฉลี่ยต่อต้นได้แสดงข้อมูลไปในทิศทางเดียวกับน้ำหนักสด แสดงใน Table 1 กล่าวคือฟัทะลายโจรที่ไม่ได้รับความเค็มให้มวลแห้งสูงที่สุด คือ 4.47 กรัม/ต้น ฟัทะลายโจรที่ได้รับความเค็มมีมวลแห้ง 2.47-3.45 กรัม/ต้น แตกต่างจากฟัทะลายโจรที่ไม่ได้รับความเค็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การฉีดพ่นพทุเทสซินทั้งสองระดับความเข้มข้น ทำให้มวลแห้งสูงแตกต่างจากไม่ฉีดพ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบปัจจัยร่วมระหว่างสองปัจจัย

Table 1 Mean of shoot fresh weight and dry weight at different salinity level and putrescine concentration

EC (dS/m)	Shoot fresh weight (g/plant)			Mean ¹ (Factor A = salinity level)
	Putrescine (ppm)			
	0	150	300	
0	17.66bc	20.91c	16.34bc	18.31B
5	9.63ab	17.67bc	15.76bc	14.36AB
10	4.29a	11.23abc	14.26bc	9.93A
Mean ² (Factor B = Putrescine conc.)	10.53A	15.45B	16.60B	ns

	Shoot dry weight (g/plant)			
0	4.60cd	5.09d	3.73bcd	4.47 B
5	2.13ab	4.54cd	3.67abc	3.45 A
10	1.27a	2.55abc	3.58bcd	2.47 A
Mean ² (Factor B = Putrescine conc.)	2.66A	3.89B	3.66B	ns

P-value (shoot fresh weight)			P-value (shoot dry weight)	
-EC	0.01 (*)		-EC	0.07 (*)
-putrescine	0.54 (ns)		-putrescine	0.64 (ns)
-interaction	0.44 (ns)		-interaction	0.12 (ns)
-CV (%)	40		-CV (%)	37

¹Means followed by different vertical capital letters are significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

²Means followed by different horizontal capital letters are significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

ns = not significant

2. ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

การตรวจวัดอนุมูลอิสระในรูป H_2O_2 มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Figure 1 แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของ H_2O_2 ตามระดับความเค็ม และลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการฉีดพ่นสารพทุเทสซิน ด้วย P-value ต่ำกว่า 0.00 และสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน 27% แสดงให้เห็นว่าดินที่ได้รับความเค็มทำให้พืชสังเคราะห์อนุมูลอิสระปริมาณมากขึ้น และอนุมูลอิสระลดลงได้เมื่อมีการฉีดพ่นสารพทุเทสซิน อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่าพืชที่ไม่ได้รับความเค็ม พืชที่สังเคราะห์ H_2O_2 ปริมาณเล็กน้อยอยู่แล้วเนื่องจากในสภาพปกติเซลล์พืชมีการสร้างอนุมูลอิสระโดยเฉพาะประเภทออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยา (Reactive Oxygen Species; ROS) เพื่อใช้กระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึมในพืช (Osotsapa, 2017) แต่เมื่อพืชอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่ปกติจนพืชมี

ความเครียดและไม่ได้รับการฉีดพ่นสารพืชรสขื่น พืชจะสังเคราะห์อนุมูลอิสระ (H_2O_2) ปริมาณสูงขึ้นมาก จาก 4.33 เป็น 6.90-7.63 ไมโครโมล/มิลลิกรัม แต่เมื่อมีการฉีดพ่นสารพืชรสขื่น ทำให้ H_2O_2 ลดลง เนื่องจากสารพืชรสขื่นเป็นสารที่มีประจุบวกมาก (polycationic compound) จึงสามารถจับกับโมเลกุลที่เป็นประจุลบของออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยา ทำให้เปลี่ยนอนุมูลอิสระไปเป็นสารที่ไม่อันตรายต่อเซลล์ (Gill and Tuteja, 2010)

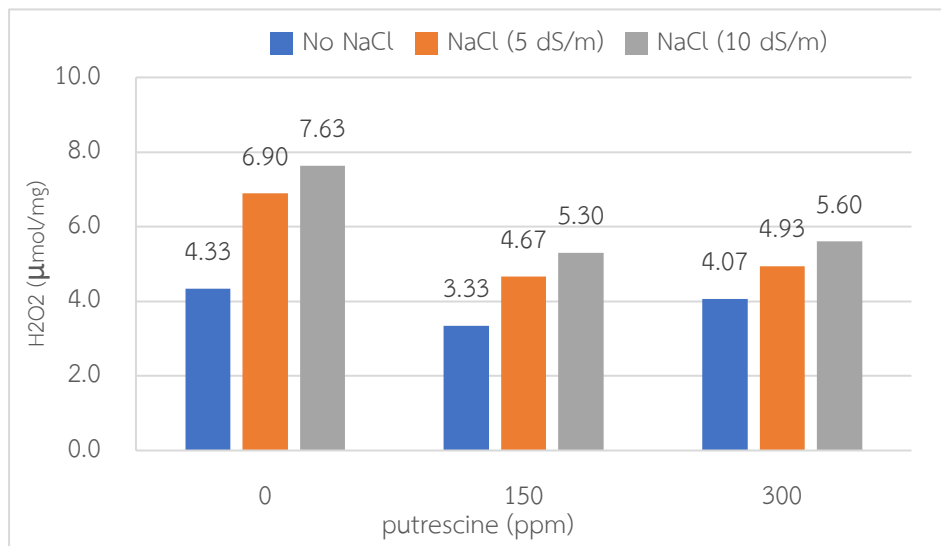


Figure 1 The influence of putrescine concentration on the H_2O_2 content under different salinity levels.

3. ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์

ระดับความเค็มทำให้ฟ้าทะลายโจรมีปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่อหน่วยน้ำหนักแห้งสูงมากกว่าที่ไม่ได้รับผลจากความเค็ม (Table 2) และมีค่ามากที่สุด (82.1 มิลลิกรัม/กรัม) เมื่อได้รับความเค็มสูงที่สุดที่ EC 10 เดซิเมนต์/เมตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อได้รับความเค็มที่ EC 5 เดซิเมนต์/เมตร สำหรับฟ้าทะลายโจรที่ไม่ได้รับความเค็มมีการสังเคราะห์แอนโดรกราโฟไลด์สะสมในใบน้อยที่สุด คือ 44.6 มิลลิกรัม/กรัม เนื่องจากธรรมชาติของฟ้าทะลายโจรสามารถสังเคราะห์สารแอนโดรกราโฟไลด์ได้ระดับหนึ่งอยู่แล้ว แต่เมื่อได้รับความเค็มมากขึ้นจะทำให้เกิดสภาพความเครียดซึ่งกระตุ้นให้พืชสังเคราะห์อนุมูลอิสระสูงขึ้น ในสภาพที่อนุมูลอิสระมากขึ้นพืชจะสร้างกลไกการปรับตัว 2 ทางคือ 1) ปรับสรีระภายนอก เช่น ลดขนาดใบ ทำให้ความเข้มข้นของสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่อพื้นที่ใบสูง 2) สร้างสารเมแทบอลิต์ทุติยภูมิมาสะสมเพื่อดักจับหรือทำลายอนุมูลอิสระให้ลดลงไม่ให้มีมากจนเกิดอันตรายกับเซลล์พืช (Abd Elbar et al., 2019)

Table 2 Andrographolide content by dry weight and by dry plant weight

EC (dS/m)	Andrographolide mg/g (w/w)			Mean ¹ (salinity level)
	Putrescine conc. (ppm)			
	0	150	300	
0	34.7a	47.6ab	51.3ab	44.56A
5	68.7bc	83.1c	66.9bc	72.9B
10	63.0abc	111.3d	71.8cd	82.1B
Mean ² (Putrescine conc.)	55.5A	80.7B	63.4A	*

Andrographolide in plant (mg/dry shoot weight)				
0	165.7ab	246.9abc	194.8ab	202.4
5	144.5ab	400.9c	182.4ab	242.6
10	73.4a	273.5bc	236.7abc	194.5
Mean ² (Putrescine conc.)	127.8A	307.1B	204.6AB	ns

P-value (Andrographolide mg/g (w/w))		P-value (Andrographolide in plant)		
-EC	0.03 (*)	-EC	0.54 (ns)	
-putrescine	0.02 (*)	-putrescine	0.00 (*)	
-interaction	0.49 (*)	-interaction	0.31 (ns)	
-%CV	36	-%CV	46	

¹Means followed by different vertical capital letters are significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range test

²Means followed by different horizontal capital letters are significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range test

ns = not significant

ผลวิเคราะห์ใน Table 2 แสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซิน ทำให้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลต์ต่อน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้น (Table 2) และมีปริมาณสารมากที่สุดเมื่อฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม แตกต่างจากพืชละลายไจโรที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นและได้รับการฉีดพ่นที่ 300 พีพีเอ็ม เนื่องจากหน้าที่ของสารปุ๋ยเทรสซินส่งเสริมกระบวนการสังเคราะห์แสง กระตุ้นการสังเคราะห์เมแทบอลิต์และสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น สารแคโรทีนอยด์ กลูตาไทโอน แอนโทไซยานิน (Ben-Asher et al., 2006; Tian et al., 2009; Verma and Mishra, 2005) จึงเป็นไปได้ว่าสารปุ๋ยเทรสซินสนับสนุนการสังเคราะห์สารแอนโดรกราโฟไลต์ในพืชละลายไจโรได้ แต่การใช้สารปุ๋ยเทรสซินที่ความเข้มข้นมากเกินไป อาจกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์อาร์จินีนดีคาร์บอกซิเลส (arginine decarboxylase) ทำให้เกิดการขาด K^+ (Islam et al., 2021) การที่พืชขาดโพแทสเซียมส่งผลให้การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในคลอโรพลาสต์เกิดขึ้นมากเกินไป อิเล็กตรอนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบริเวณนั้น เกิดเป็นอนุมูลอิสระพวกออกซิเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species, ROS) และเข้าทำลายคลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นอวัยวะที่มีสารคลอโรฟิลล์บรรจุอยู่ คลอโรฟิลล์จึงถูกทำลายจำนวนมาก การขาด K^+ ยังทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมซิสระหว่างเซลล์กับเซลล์ข้างเคียงอย่างรุนแรง เนื่องจากเซลล์คุมจะปั๊มเอาโพแทสเซียมไอออนออกไปจากเซลล์ ศักย์ของน้ำในเซลล์คุมสูงกว่าน้ำ จึงไหลออกจากเซลล์คุมไปเซลล์ข้างเคียง ทำให้แรงดันภายในเซลล์คุมจะลดลง นำไปสู่การปิดปากใบเป็นเวลานาน จึงลดการสังเคราะห์แสง และเกิดการสลายคลอโรฟิลล์ ในที่สุดจึงเกิดภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ จะสังเกตเห็นสีใบซีด การตายของเนื้อใบบางส่วน ดังแสดงใน Figure 2



a) EC 10 dS/M with putrescine 300 ppm



b) EC 10 dS/M without putrescine

Figure 2 Chlorosis symptom on *Andrographis paniculata* under EC 10 dS/m a) treated with 300 ppm of putrescine 300 ppm and b) without putrescine.

เมื่อคำนวณปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ต่อต้นพบว่า ระดับความเค็มไม่มีผลต่อสารแอนโดรกราโฟไลด์ทั้งต้น แต่การพ่นปุ๋ยเทรสซินมีผลให้ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ทั้งต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ฟ้ายะลายโจรที่ได้รับความเค็ม การฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม มีผลต่อปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ทั้งต้นสูงที่สุด รองลงมาคือฟ้ายะลายโจรที่ฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซินที่ระดับความเข้มข้น 300 พีพีเอ็ม ส่วนฟ้ายะลายโจรที่ไม่ได้การฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซินมีปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ทั้งต้นต่ำที่สุดโดยเฉพาะฟ้ายะลายโจรที่ได้รับความเค็มสูงที่ EC 10 เดซิซีเมนส์/เมตร

สรุปผลการศึกษา

การปลูกฟ้ายะลายโจรในพื้นที่ได้รับผลกระทบจากความเค็ม ทำให้ผลผลิตฟ้ายะลายโจรลดลงมาก แต่ทำให้พืชมีการปรับตัวในการสังเคราะห์สารเมแทบอไลต์เพิ่มขึ้น ในที่นี้คือสารแอนโดรกราโฟไลด์ และเมื่อมีการฉีดพ่นสารปุ๋ยเทรสซินที่ระดับความเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม จะช่วยให้ผลผลิตและปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์สูงขึ้นมากแตกต่างจากไม่ได้ฉีดพ่นหรือฉีดพ่นปุ๋ยเทรสซินที่ระดับความเข้มข้นสูงคือ 300 พีพีเอ็ม

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (idea) และ สมมติฐาน, การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria, การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล, การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม, การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript: ปุณณิศา ตระกูลยิ่งเจริญ. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการเก็บข้อมูล, การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: กนกกร สีนมา.

เอกสารอ้างอิง

- Elbar, O. A., Farag, R. E., & Shehata, S. A. (2019). Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. **Annals of Agricultural Sciences**, 64(2), 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.aas.2019.10.001>
- Ben-Asher, J., Tsuyuki, I., Bravdo, B.-A., & Sagih, M. (2006). Irrigation of grapevines with saline water: I. Leaf area index, stomatal conductance, transpiration and photosynthesis. **Agricultural Water Management**, 83(1), 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.01.002>
- Chuenim, N., Boonsuk, S., & Poopailool, P. (2006). The determination of total lactone contents in andrographis herb from various locations. In **Proceedings of the 44th Kasetsart University**, pp. 534-538. Kasetsart University. (in Thai).
- Ghalati, R. E., Shamili, M., & Homaei, A. (2020). Effect of putrescine on biochemical and physiological characteristics of guava (*Psidium guajava* L.) seedlings under salt stress. **Scientia Horticulturae**, 261(1), 108961. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108961>
- Department of Thai Traditional and Alternative Medicine. (2022). **Precaution about Using “Andrographolide” in the Product “Fah Talai Joan” for “Treatment of COVID-19**. Beyond Publishing Ltd. (in Thai).
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Polyamines and abiotic stress tolerance in plants. **Plant Signaling Behavior**, 5(1), 26-33. <https://doi.org/10.4161/psb.5.1.10291>
- Islam, M. J., Ryu, B. R., Azad, M. O. K., Rahman, M. H., Rana, M. S., Lim, J. D., & Lim, Y. S. (2021). Exogenous putrescine enhances salt tolerance and ginsenosides content in Korean ginseng (*Panax ginseng* Meyer) sprouts. **Plants**, 10(7), 1313. <https://doi.org/10.3390/plants10071313>
- Kumar, J., Singh, S., Singh, M., Srivastava, P. K., Mishra, R. K., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2017). Transcriptional regulation of salinity stress in plants: A short review. **Plant Gene**, 11(1), 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.04.001>
- Ma, S., Zhou, X., Jahan, M. S., Guo, S., Tian, M., Zhou, R., & Shu, S. (2022). Putrescine regulates stomatal opening of cucumber leaves under salt stress via the H₂O₂-mediated signaling pathway. **Plant Physiology and Biochemistry**, 170(1), 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.028>
- National Drug System Development Committee. (2021). **Thai Government Gazette 138**. Retrieved from: <http://dmsic.moph.go.th/index/download/852> (in Thai).
- Osotsapa, Y. (2017). Plant stress and alleviate. **Thai Journal of Soils and Fertilizers**, 38(1), 47-78. (in Thai).
- Pholphana, N., Rangkadilok, N., Saehun, J., Ritruethai, S., & Satayavivad, J. (2013). Changes in the contents of four active diterpenoids at different growth stages in *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Nees (*Chuanxinlian*). **Chin Med**, 8(1), 2. <https://doi.org/10.1186/1749-8546-8-2>
- Rajpar, I., Khanif Y. M., & Saad, M. S. (2007). Salt tolerance in *Andrographis Paniculata* accessions. **Society for Southeast Asian Agricultural Sciences**, 13(1), 1-9.
- Rajpar, I., Yusop, M. K., Ul-hassan, Z., Shah, A. N. Arshad, M., & Galani, S. (2011). Growth, herb yield and phytochemical contents in a medicinal herb *Andrographis paniculata* under saline irrigation. **Journal of Medicinal Plants Research**, 5(23), 5528-33
- Suleiman, S., Wilson, C., & Grieve, C. M. (2002). Effect of salinity and exogenously applied polyamines on growth and ion relations in spinach. **Journal of Plant Nutrition**, 25(12), 2705-2717. <https://doi.org/10.1081/PLN-120015533>
- Talei, D., Valdiani, A., Maziah, M., Sagineedu, S. R., & Saad, M. S. (2013). Analysis of the anticancer phytochemicals in *Andrographis paniculata* Nees. under salinity stress. **BioMed Research International**, 2013(1), 319047. <https://doi.org/10.1155/2013/319047>
- Tang, W., & Newton, R. J. (2005). Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia Pine. **Plant Growth Regulation**, 46(1), 31-43. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-6395-0>
- Tian, Y., Wang, Q., Zhang, L., Kang, G., Yang, L., Hao, H., & Cong, P. (2009). Promotion effect of exogenous putrescine on anthocyanin accumulation in ‘Red Fuji’. **Apple Fruits**, 44(03), 310-316. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-3466.2009.03.007>
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, 151(1), 59-66. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
- Verma, S., & Mishra, S. N. (2005). Putrescine alleviation of growth in salt stressed Brassica juncea by inducing antioxidative defense system. **Journal of Plant Physiology**, 162(6), 669-677. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.08.008>
- Wongkittipong, R., Prat, L., Damronglerd, S., & Gourdon, C. (2004). Solid-liquid extraction of andrographolide from plants—experimental study, kinetic reaction and model. **Separation and Purification Technology**, 40(2), 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2004.02.002>
- Zapata, P. J., Serrano, M. a., Pretel, M. T., Amorós, A., & Botella, M. Á. (2004). Polyamines and ethylene changes during germination of different plant species under salinity. **Plant Science**, 167(4), 781-788. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.05.014>