Rattanakosin Journal of Science and Technology: RJST
2026, Volume 8 Issue 2: 180-201
*Research Article*
*Online ISSN: 2673-0553*

# การตอบสนองการเจริญเติบโตของต้นพรมมิต่ออัตราการเจือจางน้ำชะขยะจากปุ๋ยอินทรีย์

**อภิชญา พัดพิน[1*] จารุกิตต์ แสงส่ง[2] และ ธนากร วงษศา[3]**

[1*,2] โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

[3] โปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

E-mail: [1*]apichaya_ph@kpru.ac.th, [2]jarugiant1997@gmail.com, [3]thanakorn_wo@kpru.ac.th

**บทคัดย่อ**

การศึกษานี้เพื่อหาสัดส่วนสารละลายน้ำชะขยะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นพรมมิที่ได้จากการทำปุ๋ยหมักจากเศษผักที่ทิ้งจากตลาดสดกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศไทย กระบวนการทำปุ๋ยหมักอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเพื่อย่อยสลายวัตถุดิบและเปลี่ยนเป็นสารอาหารที่จำเป็น ตัวอย่างน้ำชะขยะถูกเก็บหลังจากทำปุ๋ยหมักเป็นเวลา 0, 7, 14 และ 21 วัน จากนั้นเจือจางด้วยน้ำปราศจากเชื้อในสัดส่วน 1:1, 1:5, 1:10, 1:50 และ 1:100 (น้ำชะขยะ: น้ำปราศจากเชื้อ) เพื่อเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่าง ๆ ต้นพรมมิได้รับการเพาะเลี้ยงแบบไร้ดินในเรือนกระจก โดยจัดวางการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ และเพาะเลี้ยงจนถึงหลังการเก็บเกี่ยว (42 วัน) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าสารละลายน้ำชะขยะที่เจือจางในสัดส่วน 1:10 เป็นเวลา 14 วัน ช่วยเพิ่มความสูงและความยาวใบของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P<0.05$) โดยวัดได้ 22.40 ซม. และ 1.00 ซม. ตามลำดับ นอกจากนี้ สารละลายน้ำชะขยะที่เจือจางในสัดส่วน 1:10 เป็นเวลา 21 วัน มีจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 18.3 ใบ เมื่อเทียบกับน้ำชะขยะอื่น ๆ ผลการทดลองนี้ยืนยันว่าน้ำชะขยะที่ได้จากการหมักปุ๋ยอินทรีย์เป็นเวลา 14 วัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำชะขยะที่เจือจางในสัดส่วน 1:10 มีศักยภาพในการใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีที่มีคุณค่า และเป็นแหล่งธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้เป็นการจัดการของเสียและเพิ่มมูลค่าของเศษผักเหลือทิ้งและลดการพึ่งพาปุ๋ยเคมีในระบบเกษตรเมืองได้ต่อไป

**คำสำคัญ:** ระบบปลูกพืชแบบไร้ดิน พรมมิ น้ำชะขยะจากการหมักปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยหมักจากเศษผัก

* Corresponding author, e-mail: apichaya_ph@kpru.ac.th

Received 25 10 2025 / Revised: 15 01 2026 / Accepted: 15 01 2026

Rattanakosin Journal of Science and Technology: RJST
2026, Volume 8 Issue 2: 180-201
*Research Article*
*Online ISSN: 2673-0553*

# Growth Response of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. to Different Dilution Ratios of Organic Composting Leachate

**Apichaya Phadpin[1*], Jarukit Sangsong[2] and Thanakorn Wongsa[3]**
[1*,2] Environmental Science Program, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University
[3] Program in Biology, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University
E-mail: [1*]apichaya_ph@kpru.ac.th, [2]jarugiant1997@gmail.com, [3]thanakorn_wo@kpru.ac.th

## Abstract

The study investigated the optimum proportion of leachate solution for the soilless cultivation of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. derived from the composting of discarded vegetable waste from Kamphaeng Phet fresh market in Kamphaeng Phet province, Thailand. The composting process relied on microbial activity in soil to decompose raw materials and convert them into essential nutrients. Leachate samples were collected after 0, 7, 14, and 21 days of composting and subsequently diluted with sterile water at ratios of 1:1, 1:5, 1:10, 1:50, and 1:100 (leachate: sterile water) to formulate different nutrient solutions. *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. was cultivated soilless in a greenhouse, with treatments arranged in a completely randomized design, and grown until post-harvest (42 days). Results indicated that the 14-day leachate solution at a 1:10 ratio significantly promoted plant height and leaf length ($P<0.05$), measuring 22.40 cm and 1.00 cm, respectively. Furthermore, the 21-day leachate solution treatment yielded the highest ($P<0.05$) average number of leaves, with a value of 18.3, compared to other treatments. These findings confirm that leachate derived from composting organic waste, particularly the 14-day fermentation leachate diluted at a 1:10 ratio, possesses the potential to serve as a valuable substitute for chemical fertilizers, providing a necessary nutrient source for plant growth. Furthermore, it serves as a waste management strategy that adds value to vegetable scraps and reduces reliance on chemical fertilizers in urban farming systems moving forward

**Keywords:** Hydroponic system, *Bacopa monnieri* (L.) Wettst, Leachate from organic waste composting, Compost from vegetable waste.

* Corresponding author, e-mail: apichaya_ph@kpru.ac.th
Received 25 10 2025 / Revised: 15 01 2026 / Accepted: 15 01 2026

**1. ที่มาและความสำคัญ**

การปลูกพืชของเกษตรกรไทยส่วนใหญ่เน้นการปลูกพืชโดยใช้ดิน ทำให้ในประเทศไทยพึ่งพาการใช้ปุ๋ยเคมีและยาปราบศัตรูพืชเป็นหลัก โดยนำเข้าและการใช้ปุ๋ยเคมีเริ่มเติบโตอย่างรวดเร็วตั้งแต่ทศวรรษที่ 1970 การเติบโตเพิ่มขึ้นถึง 100 เท่า ตั้งแต่ปี 1961–2004 [1] ปัญหาการใช้ปุ๋ยเคมีเกินความต้องการที่แท้จริงของการผลิตทางการเกษตร นำไปสู่ค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อมที่สูงขึ้น [2] เพื่อปลูกพืชให้ได้ผลผลิตเป็นปริมาณมากและทันต่อความต้องการของผู้บริโภค โดยพบว่าเกษตรกรยังคงมีพฤติกรรมการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากในการปลูกพืชผักส่วนใหญ่เพื่อเร่งการเจริญเติบโต ซึ่งเกินความต้องการของพืช [3] และนำไปสู่ปัญหาต่าง ๆ เช่น ดินเสื่อมสภาพ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก มลพิษทางน้ำ และความไม่มั่นคงทางอาหาร ปุ๋ยบางชนิดมีโลหะหนัก เช่น แคดเมียม โครเมียม และสารกัมมันตรังสีที่เข้มข้นมากในพืช [2], [4] และบางส่วนทำให้เกิดการสะสมของสารพิษที่มีคุณสมบัติเป็นพิษรุนแรง ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากความสามารถในการผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และเข้าสู่เซลล์และเนื้อเยื่อ [5], [6] ดังนั้นเกษตรกรจำเป็นต้องพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคนิคเพื่อปรับปรุงและเพิ่มผลผลิตของระบบการเกษตร [7] ปัจจุบันมีการปลูกพืชที่หลากหลายเพิ่มขึ้นที่เรียกว่าการปลูกพืชแบบไร้ดิน เช่น ระบบอะควาโปนิกส์ (Aquaponics) และระบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) ซึ่งเป็นการให้ปุ๋ยกับพืชทางน้ำ ทำให้ไม่มีสารตกค้างในสิ่งแวดล้อม แต่ต้องมีการให้ปริมาณให้ปุ๋ยแบบน้ำในปริมาณที่เหมาะสม และปุ๋ยที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นปุ๋ยน้ำสำเร็จรูป หากมีการใช้ปุ๋ยที่ได้จากสารละลายน้ำชะขยะแล้ว จะช่วยเกษตรกรในการลดต้นทุนในการผลิตพืช และระบบเกษตรปลูกพืชแบบไร้ดิน เป็นแนวคิดที่กำลังเกิดขึ้นในอนาคตสำหรับการวางแผนเกษตรกรรมในเมือง [8] โดยเทคโนโลยีการเพาะปลูกที่ใช้สารละลายธาตุอาหารเป็นสารอาหารสังเคราะห์ โดยปราศจากวัสดุปลูกที่เป็นดิน [9] ข้อดีของการปลูกพืชในระบบแบบไร้ดิน ได้แก่ การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ นำน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ ไม่มีสารอาหารสูญเสีย และการเคลื่อนที่ของสารอาหารโดยตรงไปยังบริเวณราก ส่งผลให้พืชเติบโตเร็วขึ้น [10] ผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวมีคุณภาพสูง ปริมาณมาก และทำให้สามารถควบคุมผลผลิตที่มีมาตรฐาน สะดวกต่อการจัดการแมลงศัตรูพืช โรคจากพืช หรือลดการระบาดของวัชพืช [11] นอกจากนี้ระบบปลูกพืชแบบไร้ดิน ยังลดการได้รับผลกระทบจากดินและปัจจัยภายนอกที่มีความแปรปรวน ทำให้สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีภายใต้สภาพแวดล้อมที่หลากหลาย สามารถควบคุมสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลาการได้รับแสงสว่างของสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยต้องมีการทดลองทั้งทางชีวเคมี และชีวฟิสิกส์ [12-15] สารอาหารที่ละลายน้ำชะขยะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชภายใต้ระบบปลูกพืชแบบไร้ดิน เนื่องจากเป็นปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่นิยมนำมาใช้ ส่วนใหญ่เป็นสารละลายเข้มข้นของธาตุอาหารอินทรีย์ [16] ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชและจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ โดยทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ก่อนที่จะนำไปผสมในสารละลายไฮโดรโปนิกส์ [17], [18] ดังนั้นสารละลายที่ได้จากการหมักปุ๋ย ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่ำ แต่มีโพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และส่วนธาตุอาหารเสริมต่าง ๆ สูง ซึ่งบ่งชี้ถึงความจำเป็นในการปรับสมดุลธาตุอาหารเหล่านี้ในสารละลายก่อนที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ [19] ทำให้เกิดการนำสารละลายที่ได้จากการหมักปุ๋ยจากเศษผักมาใช้สำหรับการเพาะปลูกพืช ซึ่งเป็นวิธีการผลิตที่มีต้นทุนต่ำ

พรมมิ [*Bacopa monnieri* (L.) Wettst.] เป็นเป็นพืชน้ำและพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งในประเทศไทย มีระบุไว้ในตำรับยาอายุรเวท เพื่อใช้การรักษาและป้องกันโรคของความจำ มีรายงานในการใช้ประโยชน์สำหรับต้านทานโรคที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบรวม เช่น โรคหอบหืด หลอดลมอักเสบ และโรคไขข้อ ปัจจุบันมีหลายงานวิจัยได้ศึกษาพืชชนิดนี้เพื่อนำมาทำเป็นสมุนไพรเพื่อความจำของสมอง นอกจากนี้มีการศึกษาในผู้สูงอายุ พบว่ามีความจำและมีสมาธิดีขึ้น [20], [21] นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณในการการรักษาความผิดปกติของระบบประสาทส่วนกลาง [22] พรมมิมีเขตกระจายอย่างกว้างขวางตั้งแต่ประเทศอินเดีย ประเทศออสเตรเลีย ประเทศสหรัฐอเมริกา และเอเชียตะวันออก [23] โดยพรมมิสามารถปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ [24] ในสภาพอากาศเขตร้อนและสามารถเก็บเกี่ยวได้ในเวลา น้อยกว่าหนึ่งเดือน [25] ดังที่กล่าวมาข้างต้น มีการศึกษาผลิตน้ำชะขยะมูลฝอยเพื่อนำไปปลูกพืชชนิดอื่น เช่น สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้ากินนีสีม่วง [26] แต่ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษาผลของน้ำชะขยะจากเศษผักเพื่อการเพาะเลี้ยงต้นพรมมิ มีเพียงรายงานของการศึกษาการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารต่อการเจริญของต้นพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน [27] จึงเป็นที่มาของการศึกษาการใช้ประโยชน์จากสารละลายน้ำชะขยะที่ได้จากการหมักปุ๋ยจากเศษผักมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการปลูกพรมมิภายใต้ระบบแบบพืชไร้ดิน เพื่อนำสิ่งเหลือทิ้งมาทำให้เกิดประโยชน์เพิ่มขึ้นและลดการใช้สารเคมีเพื่อความปลอดภัยต่อเกษตรกรอย่างยั่งยืนได้ต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาสัดส่วนของสารละลายน้ำชะขยะที่ดีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นพรมมิ

2.2 เพื่อศึกษาธาตุอาหารที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของต้นพรมมิ

## 3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปุ๋ยหมัก (Compost) หมายถึง การนำเอาเศษพืชหรือวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ มาแปรสภาพให้กลายเป็นปุ๋ยด้วยการสับให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ และอีกรูปแบบหนึ่งคือการนำปุ๋ยประเภทหนึ่งที่มีรูปแบบของการเพิ่มธาตุอาหารพืชและอาหารสัตว์กลับคืนลงสู่ดิน ปุ๋ยอินทรีย์ประกอบไปด้วยวัสดุอินทรีย์ต่าง ๆ ที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่สามารถเน่าเปื่อยผุผัง หรือย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีวภาพให้กลายเป็นธาตุอาหารแก่พืชส่งผลต่อการปรับปรุงดินให้มีคุณสมบัติดีขึ้น [28], [29] ปุ๋ยอินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้หลายแบบ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด โดยต้องกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช [28] ซึ่งปุ๋ยหมักอินทรีย์มีข้อดีและข้อด้อยดังนี้ [30] ข้อดีของปุ๋ยหมักคือ ช่วยปรับปรุงดินให้ดีขึ้น และเพิ่มธาตุอาหารพืชในดินให้เพิ่มมากขึ้น และช่วยส่งเสริมจุลินทรีย์ในดินโดยเฉพาะพวกที่มีประโยชน์ต่อการบำรุงดินให้มีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ช่วยรักษาความเป็นกรด–เบสของดินโดยช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุประจุบวกให้แก่ดิน และยังควบคุมหรือลดการละลายได้ของแร่ธาตุบางชนิดในดิน เช่น อะลูมิเนียมและเหล็ก เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส สำหรับข้อด้อยคือ เมื่อหมักปุ๋ยด้วยวัสดุจากธรรมชาติ โดยไม่ใส่สารทางเคมีเพิ่มเติม พบปริมาณธาตุอาหารค่อนข้างต่ำและหาได้ยาก [28], [29] ถ้าต้องการใช้ปริมาณมาก ต้องใช้ปุ๋ย

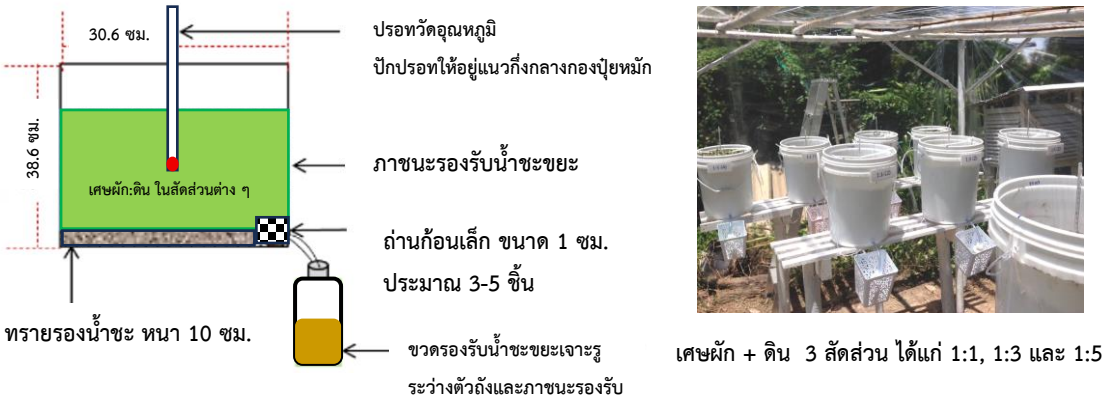
หรือมูลสัตว์ หรือปุ๋ยทางการค้าเป็นปริมาณมากจึงจะได้ปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอต่อพืช [30] วิธีการหนึ่งของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ สามาถผลิตได้จากน้ำชะขยะที่มาจากการหมักปุ๋ย โดยน้ำชะขยะ (Leachate) หมายถึง ของเหลวที่ไหลซึมออกมาจากหลุมฝังกลบขยะ อาจมีตะกอนละเอียดปนมาด้วย น้ำชะขยะจะมีความสกปรกสูงและอาจปนเปื้อนแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินได้ การจัดการขยะด้วยการฝังกลบมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดการรั่วไหลของน้ำชะขยะที่ปนเปื้อนสารมลพิษ ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยรอบ [31-33] สำหรับน้ำชะละลาย (Leachate) ที่ได้จากกองปุ๋ยหมักนั้นประกอบด้วยธาตุอาหารและสามารถนำกลับมาใช้ในการเพาะปลูกพืชได้ แม้ว่าน้ำชะละลายจะมีปริมาณไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ต่ำ แต่กลับมีปริมาณโพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) โซเดียม (Na) และธาตุอาหารรองชนิดต่าง ๆ สูง ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับสมดุลธาตุอาหารเหล่านี้ก่อนที่จะนำน้ำชะละลายกลับมาใช้ใหม่ [34] เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชมีปัจจัยของธาตุอาหารที่พืชจำเป็นต้องใช้ในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตพืชได้จากอากาศได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ส่วนธาตุอาหารที่เหลือพืชได้จากดิน ธาตุอาหารที่พืชใช้ในปริมาณมาก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน แต่การใส่ปุ๋ยจะเน้นเฉพาะ N-P-K จึงเรียกว่าธาตุอาหารหลัก โดยเฉพาะไนโตรเจน ที่พืชสามารถรับในรูปของแอมโมเนียมไอออนและไนเตรตไอออน ซึ่งระดับไนโตรเจนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มการเจริญเติบโต ขนาดของใบและปริมาณของผลผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ ตามแต่ละระดับความเข้มข้น [27] ดินส่วนใหญ่ในปัจจุบันที่เกษตรกรใช้ในปลูกพืชมักไม่ขาด แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน และเมื่อใส่ปุ๋ย N–P–K ลงไปในดิน มักจะมี 3 ธาตุนี้ปะปนลงไปในดินด้วยเสมอ จึงเรียกว่าธาตุอาหารรอง ส่วนอีก 8 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส โบรอน โมลิบดินัม ทองแดง สังกะสี ซิลิกอน และคลอรีน ธาตุทั้ง 8 ชนิดนี้พืชโดยทั่วไปมีความต้องการปริมาณน้อยจึงเรียกธาตุในกลุ่มนี้ว่า จุลธาตุอาหาร ธาตุพวกนี้บางธาตุถ้ามีอยู่ในดินเป็นปริมาณมาก เช่น เหล็กและแมงกานีส อาจเปลี่ยนเป็นพิษแก่พืชได้ อย่างไรก็ตามธาตุพวกนี้รวมทั้งธาตุอาหารหลักและรองแล้วต่างก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเท่าเทียมกันหมด และมีความสำคัญเท่าเทียมกับธาตุอาหารหลักด้วยเช่นกัน ถ้ามีธาตุใดขาดไปหรือไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช พืชก็จะหยุดชะงักการเจริญเติบโตและตายไปในที่สุด [35] ดังนั้นการศึกษาผลของน้ำชะขยะที่มาจากการหมักปุ๋ยจึงเลือกทดสอบกับต้นพรมมิ โดยพรมมิ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bacopa monniera* (L.) Wettst. จัดอยู่ในวงศ์ Scrophulariaceae เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็กสูง 10–40 ซม. เจริญตามที่ชื้นแฉะลำด้นทอดไปตามพื้นดินที่ชุ่มชื้นหรือมีน้ำขัง และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งต้น ใบ และดอก [36] ในตำราพระโอสถพระนารายณ์ใช้ทั้งต้นดับพิษไข้หัว เช่น พิษฝีดาษ แก้ร้อนในกระหายน้ำ แก้ไข้ บำรุงประสาท บำรุงหัวใจ ขับเสมหะ แก้หืด โดยสารสกัดจากพรมมิมีองค์ประกอบทางเคมี โดยแบ่งกลุ่มตามโครงสร้างทางเคมี ได้แก่ ซาโปนินไกลโคไซด์ (Saponin glycosides) อัลคาลอยด์ (Alkaloids) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และฟีนิลเอธานอยด์ไกลโคไซด์ (Phenyl ethanoid glycosides) เป็นต้น [20] มีรายงานการวิจัยพบว่า สารสกัดแอลกอฮอล์จากส่วนต้นที่อยู่เหนือดินมีฤทธิ์เพิ่มประสิทธิภาพของสมอง (Nootropic Activity) ซึ่งอาจเกิดจากการที่สาร Bacosides ไปเพิ่ม Dephosphorylation ที่ผนังเซลล์สมอง เพิ่มปริมาณโปรตีน และเพิ่ม RNA turnover ภายในเซลล์สมอง ปัจจุบันมีการพัฒนาสมุนไพรชนิดนี้ออกมาอยู่ในรูปผลิตภัณฑ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว แต่ยังขาดการวิจัยในผู้ป่วยภาวะสมองเสื่อมที่ต้องใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวนมาก [39] นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ต้านความจำเสื่อม ช่วยในเรื่องการนอนหลับและลดความวิตกกังวลได้ [38] และมีการนำพรมมิมาพัฒนาตำรับอาหารไทยเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ

เช่น อาหารประเภทต้ม แกง และประเภทผัด/ทอด เพื่อเป็นแนวทางในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ [39] สำหรับปัจจัยที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นพรมมิที่สำคัญ ได้แก่ น้ำ อากาศ และแสง โดยพืชเป็นสิ่งมีชีวิตมีการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตอยู่ได้ย่อมต้องการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมและสภาพของสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ความสูง จำนวนใบ และขนาดทรงพุ่ม [40] โดยธาตุอาหารหรือปุ๋ยเป็นปัจจัยส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตดียิ่งขึ้น ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมี 16 ธาตุ แต่ธาตุที่พืชต้องการมากและในดินมักมีไม่เพียงพอ คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารเหล่านี้จะต้องอยู่ในรูปสารละลายที่พืชนำไปใช้ได้และต้องมีปริมาณ ที่พอเหมาะจึงจะทำให้การเจริญเติบโตของพืชเป็นไปด้วยดี ดังเช่นการวิจัยของ [27] พบว่า การเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรตที่ความเข้มข้น 1 และ 2 mEq/L สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตและสร้างสารสำคัญของพรมมิ ได้แก่ ความยาวลำต้น จำนวนกิ่ง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่ส่งผลต่อความยาวรากทางสถิติ ($P>0.05$) โดยปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของพืช ได้แก่ น้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก และช่วยกระบวนการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ ในพืชเป็นไปอย่างปกติ ในอากาศมีก๊าซหลายชนิดแต่ก๊าซที่พืชต้องการมาก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหารและหายใจ และพืชต้องการแสงแดดมาใช้ในการสร้างอาหาร เมื่อขาดแสงแดด พืชจะแคระแกรน ใบจะมีสีเหลืองหรือขาวซีดและตายในที่สุด พืชแต่ละชนิดต้องการแสงไม่เท่ากันพืชบางชนิดต้องการแสงแดดจัด แต่พืชบางชนิดก็ต้องการแสงรำไร [40]

**4. วิธีดำเนินการวิจัย**

4.1 การทำปุ๋ยหมักและแหล่งรองรับน้ำชะขยะ

การเตรียมวัสดุปุ๋ยหมัก การทำปุ๋ยหมัก และหน่วยทดลอง ดัดแปลงจากวิธีการของ [28], [41] วัสดุสำหรับจัดทำปุ๋ยหมักเตรียมจากเศษผัก ได้แก่ ผักคะน้า ผักบุ้ง หัวไชเท้า ผักชี กะหล่ำปลี กะหล่ำดอก ใบโหระพา และพวงมาลัยเบญจมาศ จากตลาดสดกำแพงเพชร ต.ในเมือง อ.เมือง จ.กำแพงเพชร และดินจาก ต.ไตรตรึงษ์ อ.เมือง จ.กำแพงเพชร ใช้อายุเศษผักไม่เกิน 6 ชั่วโมง เนื่องจากยังไม่เกิดการหมักและสร้างแก๊ส [42] ตัดเศษผักให้มีขนาดประมาณ 0.5–1.0 นิ้ว และเตรียมดินเพื่อนำมาหมักโดยการแยกสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกจากเนื้อดิน ดำเนินการหมักปุ๋ย ในโรงเรือนกลางแจ้งแบบเปิดที่คลุมด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีนแบบใส โดยแต่ละสัดส่วนเรียงเป็นแถวยาวตามสัดส่วน วางถังพลาสติกห่างกัน 30 เซนติเมตร (ซม.) บนพื้นไม้สีขาวสูง 1.2 เมตร (ม.) โดยระหว่างการหมักปุ๋ย เก็บตัวอย่างน้ำชะขยะในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 เพื่อนำมาทดลองในการปลูกต้นพรมมิ (รูปที่ 1)




**รูปที่ 1** การทำปุ๋ยหมักและแหล่งรองรับน้ำชะขยะ

4.2 การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีของน้ำชะขยะ

เก็บรักษาขวดตัวอย่างของน้ำชะขยะจากการหมักวันที่ 0, 7, 14 และ 21 ในตู้แช่เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำตัวอย่างน้ำชะขยะมาวิเคราะห์ ให้นำตัวอย่างน้ำชะขยะวางในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ตัวอย่างปรับอุณหภูมิจนกระทั่งมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างของน้ำชะขยะมาวิเคราะห์ทางกายภาพทางเคมี และเจือจางน้ำชะขยะในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 ในอัตราส่วน 1:1, 1:5, 1:10, 1:50 และ 1:100 (ปริมาตร/ปริมาตร) ตามลำดับ ด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ รวมทั้งหมด 12 ทรีตเมนต์ นำตัวอย่างทั้งหมดวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด ($P_2O_5$) และโพแทสเซียมรวม ($K_2O$) ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโซเดียม (Na) ธาตุอาหารเสริม ได้แก่ แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) และการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (OC) อินทรียวัตถุ (OM) และอัตราส่วน C/N การวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และโครเมียมทั้งหมด (Cr) วิธีการวิเคราะห์จาก [3], [43] และอ้างอิงค่ามาตรฐานตามราชกิจจานุเบกษา (2557) [44] ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ 2557

4.3 การศึกษาสัดส่วนของสารละลายน้ำชะขยะที่ดีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นพรมมิ

ต้นพันธุ์ต้นพรมมิในสภาพปลอดเชื้อ (ดัดแปลงจาก [24]) จากห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช โปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร นำออกปลูกโดยใช้ดินเหนียวเป็นวัสดุปลูก เลี้ยงต้นพรมมิเป็นเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นตัดปลายยอดต้นพรมมิความสูงประมาณ 10 ซม. เลี้ยงในขวดแก้ว (ขนาดกว้าง 4 ซม. x สูง 8 ซม. ปริมาตร 80 มม.) ภายในเติมสารละลายธาตุอาหารจากสารละลายในอัตรา 50 มิลลิลิตรต่อสัปดาห์ ออกแบบการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ (การทดลอง 1 ซ้ำมีหน่วยทดลอง 3 หน่วยทดลอง โดยหน่วยทดลองคือ ต้นพรมมิขนาดความสูงประมาณ 10 ซม. เลี้ยงในขวดแก้ว 1 ขวด) โดยสารละลายที่ใช้เลี้ยงต้นพรมมิดัดแปลงวิธีจาก [45] รวมทั้งหมด 12 ทรีตเมนต์ จากนั้นวางเลี้ยงต้นพรมมิในโรงเรือนเพาะเลี้ยงที่มีความเข้มของแสงประมาณ 50,000–70,000 ลักซ์ บันทึกการเจริญเติบโตของพรมมิ โดยวัดและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ความสูงต้น ความยาวใบ ความยาวราก จำนวนใบ และจำนวนราก เมื่อเลี้ยงเป็นระยะเวลา 21 วัน ค่า pH และค่า EC และของสารละลายธาตุอาหารถูกบันทึกในระยะการเพาะปลูกเริ่มต้น (วันที่ 0) และเมื่อเก็บเกี่ยว (วันที่ 42)

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี One-way Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P<0.05$) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

## 5. ผลและวิจารณ์

5.1 การศึกษาการเจือจางน้ำชะขยะและน้ำกลั่นที่ปราศจากเชื้อ (อัตราส่วน 1:1 1:3 และ 1:5) ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH, EC, OM, OC และโลหะหนัก

5.1.1 ค่าการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอินทรีย์วัตถุ และโลหะหนักของน้ำชะขยะ

จากการวิเคราะห์พบว่าค่าวิเคราะห์ทางกายภาพ และค่าโลหะหนัก อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด [44], [46] ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.5–8.5 ยกเว้นค่า EC ที่พบว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน > 6 และค่า OM ที่มีปริมาณน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนด (ตารางที่ 1) จึงจำเป็นต้องมีการทำน้ำชะขยะเป็นสัดส่วนเพื่อให้ค่า EC ไม่เกินกว่ากำหนด เพราะเมื่อค่า EC ที่พบว่ามีปริมาณมากเกินจะส่งผลให้พรมมิมีการเจริญเติบโตที่ไม่สมบูรณ์หรือตายได้ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าหากใช้น้ำชะขยะที่ได้จากการหมักอินทรีย์โดยไม่มีการผสมน้ำปราศจากเชื้อ จะทำให้ต้นพรมมิเกิดการเน่าตายและไม่มีการพัฒนา สอดคล้องกับงานวิจัยของวรารัตน์ น้ำผึ้ง และคณะ [27] ที่ต้องมีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมเพื่อการเจริญเติบโต และระดับค่า EC ที่มีประสิทธิภาพมากต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ระหว่าง 1.34–2.73 dS/m [48] (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลายที่ได้จากการเลี้ยงไส้เดือนดินที่ใช้เป็นปุ๋ยเหลวให้ข้อได้เปรียบของพืชที่มีค่า EC ที่ 46 dS/m เพราะความเข้มข้นของความเค็มสูงลดศักยภาพออสโมติกในแหล่งสารอาหารปุ๋ยอินทรีย์เหลวคุณภาพดีควรมีค่า EC น้อยกว่า 20 dS/m [47]

**ตารางที่ 1** ค่าวิเคราะห์ทางกายภาพและค่าโลหะหนักของน้ำชะขยะ

| วันที่เก็บน้ำชะขยะ | อัตราส่วนน้ำชะขยะจากปุ๋ยหมัก | pH | EC (dS/m) | OM (%) | OC (%) | Cd (ppm) | Pb (ppm) | Cr (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1:1 | 5.50$^{a}$ | 9.14$^{a}$ | 1.00$^{c}$ | 1.72$^{c}$ | 1.08$^{a}$ | 0.83$^{a}$ | N/A |
| | 1:3 | 5.30$^{b}$ | 9.16$^{a}$ | 1.24$^{b}$ | 2.14$^{b}$ | 0.87$^{b}$ | 0.00$^{b}$ | N/A |
| | 1:5 | 5.10$^{c}$ | 9.31$^{a}$ | 1.32$^{a}$ | 2.27$^{a}$ | 0.63$^{c}$ | 0.00$^{b}$ | N/A |
| 7 | 1:1 | 6.70$^{C}$ | N/A | 1.07$^{c}$ | 1.85$^{c}$ | 0.10$^{a}$ | N/A | 0.42$^{a}$ |
| | 1:3 | 6.40$^{b}$ | N/A | 1.24$^{b}$ | 2.14$^{b}$ | 0.00$^{b}$ | N/A | 0.15$^{c}$ |
| | 1:5 | 6.10$^{c}$ | N/A | 1.32$^{a}$ | 2.27$^{a}$ | 0.00$^{b}$ | N/A | 0.26$^{b}$ |
| 14 | 1:1 | 6.40$^{a}$ | N/A | 1.22$^{b}$ | 2.10$^{b}$ | 0.00$^{b}$ | 1.45$^{a}$ | N/A |
| | 1:3 | 5.80$^{c}$ | N/A | 1.29$^{ab}$ | 2.23$^{ab}$ | 0.00$^{b}$ | 0.29$^{b}$ | N/A |
| | 1:5 | 6.00$^{b}$ | N/A | 1.34$^{a}$ | 2.32$^{a}$ | 0.62$^{a}$ | 0.00$^{c}$ | N/A |
| 21 | 1:1 | 6.90$^{a}$ | N/A | 1.55$^{a}$ | 2.67$^{a}$ | 0.623$^{a}$ | N/A | 0.00$^{c}$ |
| | 1:3 | 5.70$^{b}$ | N/A | 1.42$^{b}$ | 2.45$^{b}$ | 0.00$^{b}$ | N/A | 0.18$^{b}$ |
| | 1:5 | 5.70$^{b}$ | N/A | 1.37$^{b}$ | 2.36$^{b}$ | 0.00$^{b}$ | N/A | 0.27$^{a}$ |
| | Std/[1] | 5.5-8.5 | ≤6 | ≥20 | - | <5 | <500 | <500 |

**หมายเหตุ:** ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งบ่งบอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P<0.05$) โดยทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT
Std/1 คือ ค่ามาตรฐานราชกิจจานุเบกษา [44], [46]
N/A = ไม่สามารถวัดค่าได้

5.1.2 ค่าการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม ของน้ำชะขยะ

ธาตุอาหารในตารางที่ 2 พบว่า มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมรวมกันมีค่าน้อยว่า 1.5% ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แต่ค่าโลหะหนักทุกตัวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ตามตางรางและเอกสารอ้างอิง [44] และพบปริมาณน้อยมาก (ตารางที่ 1 และ 2) ซึ่งไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคนและสิ่งมีชีวิตเมื่อนำไปบริโภค และเศษผักจากตลาดสดที่ทำการเก็บตัวอย่างอยู่ในแหล่งชุมชน ทำให้พบโลหะหนักปริมาณน้อยมากหรือไม่พบเลย สอดคล้องกับงานวิจัยของอภิชญา [28] ที่พบปริมาณโลหะหนักอยู่เกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกัน ทำให้เมื่อทดลองต่อไปโดยทำสัดส่วนสารละลายจึงไม่มีการวิเคราะห์ค่าโลหะหนัก แต่จะใช้เพียงค่า pH กับ EC เท่านั้น เพราะเมื่อเจือจางแล้วจะทำให้สามารถวัดค่าได้ เพราะเนื่องจากน้ำชะมีความเข้มข้นของธาตุอาหาร และความเจือปนสูง [48]

**ตารางที่ 2** ค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมในน้ำชะขยะ

| วันที่เก็บน้ำชะขยะ | อัตราส่วนน้ำชะขยะจากปุ๋ยหมัก | TN (%) | $P_2O_2$ (%) | $K_2O$ (%) | Ca (%) | Mg (%) | Mn (ppm) | Zn (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1:1 | 0.0054 $^{c}$ | 0.0042 $^{c}$ | 0.0109 $^{b}$ | 0.012 $^{c}$ | 0.085 $^{b}$ | 0.06 $^{b}$ | 6.20 $^{a}$ |
| | 1:3 | 0.0129 $^{b}$ | 0.0152 $^{b}$ | 0.0126 $^{ab}$ | 0.225 $^{a}$ | 0.274 $^{a}$ | 37.32 $^{a}$ | 5.59 $^{a}$ |
| | 1:5 | 0.0168 $^{a}$ | 0.0198 $^{a}$ | 0.0135 $^{a}$ | 0.152 $^{b}$ | 0.261 $^{a}$ | 35.45 $^{a}$ | 2.82 $^{b}$ |
| 7 | 1:1 | 0.0094 $^{b}$ | 0.0050 $^{c}$ | 0.0107 $^{c}$ | 0.149 $^{a}$ | 0.268 $^{a}$ | 14.90 $^{c}$ | 0.76 $^{c}$ |
| | 1:3 | 0.0187 $^{a}$ | 0.1204 $^{b}$ | 0.0136 $^{b}$ | 0.161 $^{a}$ | 0.251 $^{ab}$ | 22.72 $^{b}$ | 4.93 $^{a}$ |
| | 1:5 | 0.0196 $^{a}$ | 0.0172 $^{a}$ | 0.0149 $^{a}$ | 0.159 $^{a}$ | 0.239 $^{b}$ | 24.26 $^{a}$ | 2.81 $^{b}$ |
| 14 | 1:1 | 0.0130 $^{c}$ | 0.0051 $^{c}$ | 0.0115 $^{c}$ | 0.155 $^{b}$ | 0.287 $^{b}$ | 15.11 $^{a}$ | 1.61 $^{a}$ |
| | 1:3 | 0.0177 $^{b}$ | 0.0071 $^{b}$ | 0.0145 $^{a}$ | 0.206 $^{a}$ | 0.249 $^{a}$ | 16.02 $^{a}$ | 1.05 $^{b}$ |
| | 1:5 | 0.0229 $^{a}$ | 0.0084 $^{a}$ | 0.0133 $^{b}$ | 0.149 $^{b}$ | 0.224 $^{b}$ | 11.38 $^{b}$ | 0.89 $^{b}$ |
| 21 | 1:1 | 0.0194 $^{b}$ | 0.0047 $^{c}$ | 0.0097 $^{b}$ | 0.005 $^{c}$ | 0.038 $^{c}$ | 0.77 $^{c}$ | 0.57 $^{a}$ |
| | 1:3 | 0.0166 $^{c}$ | 0.0061 $^{b}$ | 0.0118 $^{a}$ | 0.067 $^{a}$ | 0.133 $^{a}$ | 4.23 $^{a}$ | 0.00 $^{b}$ |
| | 1:5 | 0.0205 $^{a}$ | 0.0077 $^{a}$ | 0.0124 $^{a}$ | 0.027 $^{b}$ | 0.085 $^{b}$ | 3.23 $^{b}$ | 0.00 $^{b}$ |
| | Std/1 | ≥0.5 | ≥0.5 | ≥0.5 | - | - | - | - |

**หมายเหตุ:** ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งบ่งบอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P<0.05$) โดยทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT
Std/1 คือ ค่ามาตรฐานราชกิจจานุเบกษา [44, 46]

5.2 การเจริญเติบโตของต้นพรมมิ

5.2.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และค่า EC

การทดลองเริ่มต้นเมื่อหน่อของพรมมิถูกย้ายปลูกลงในขวดแก้วที่มีสภาพสารอาหารสำหรับเพาะปลูกที่แตกต่างกัน การทดลองตามที่อธิบายไว้ในตารางที่ 3 โดยค่า pH วัดได้ระหว่าง 5.50–7.70 ในวันที่ 0 และระหว่าง 6.70–9.00 ในวันที่ 42 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ค่า pH ของวันที่ 0 และวันที่ 42 คือ 7.00 และ 8.70 (น้ำปราศจากเชื้อ)

สารละลายมีค่า pH ในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 คือ 5.40, 6.30, 6.70 และ 6.70 ตามลำดับ โดยการปลูกพรมมิที่ค่า pH ต่ำสุด 5.50 และสูงสุด 9.00 มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสูงของต้น ความยาวใบ และจำนวนราก โดยค่าสูงสุดอยู่ในช่วงค pH 5.90–7.80 ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5.5-6.5 แต่มีผลกระทบโดยตรงต่อรากน้อยที่สุด ค่า pH สูงจะทำให้ธาตุอาหารบางชนิดลดการนำไปใช้ประโยชน์ (Availability) ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และฟอสฟอรัส แต่ค่า pH ต่ำ มีแนวโน้มลดการนำไปใช้ประโยชน์ของธาตุโพแทสเซียม ซัลเฟอร์ แคลเซียม และแมกนีเซียม นอกจากนี้ ค่า pH ต่ำยังเพิ่มการละลายของโลหะ และเพิ่มความเสี่ยงของความเป็นพิษของธาตุอาหารรอง [49] ผลการทดลองสอดคล้องกับ [50] พบว่า ค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารมีผลต่อการละลายและการเข้าถึงของธาตุบางชนิด เช่น เหล็กและฟอสฟอรัส ค่า pH ที่ต่ำปานกลาง (5.5) ช่วยให้ไอออนส่วนใหญ่สามารถใช้ได้ในสารละลาย ค่า pH ที่สูงขึ้น (>6.5) อาจทำให้เกิดการขาดสารอาหารเนื่องจากการตกตะกอนและการพร่องของธาตุอาหาร

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) เริ่มต้นของสารละลายที่ไม่มีการเจือจางแตกต่างกันไประหว่าง 6.75 dS/m และ 9.69 dS/m การเจือจางทำให้ค่า EC ลดลง เช่น วันที่ 0 ของสารละลายมีค่า EC เท่ากับ 6.01 dS/m สำหรับการเจือจาง 50% เทียบกับ 9.35 dS/m สำหรับสารละลายที่ไม่มีการเจือจาง) โดยเปรียบเทียบกับค่า EC เริ่มต้นในกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 3) ในการทดลองค่า EC ทั้งหมด การตรวจวัดความสูงของพรมมิ ความยาวใบ และจำนวนรากด้วยสารละลายเจือจางในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 มีนัยสำคัญสูงกว่าการตรวจวัดอื่น ๆ ค่า EC เริ่มต้น (วันที่ 0) เท่ากับ 1.34, 1.49, 1.58 และ 1.39 dS/m ตามลำดับ และมีค่าสูงขึ้นเมื่อเก็บเกี่ยวในวันที่ 42 ที่ 2.73, 2.29, 2.54 และ 2.13 dS/m ตามลำดับ (ตารางที่ 3) สรุปได้ว่า ค่า EC เริ่มต้น แม้ว่าพืชต้องการธาตุอาหารมากขึ้นตามช่วงเวลาหรือระยะการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นธาตุอาหารที่ถูกปลดปล่อยในสารละลายจึงเป็นผลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเปลี่ยนปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับพืชต่อไป [51]

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) เป็นดัชนีของความเข้มข้นของเกลือของธาตุอาหาร ใช้เพื่อประเมินธาตุอาหารในการปลูกแบบไร้ดินในการผลิตพืชในสภาพเรือนกระจก [52] ค่า EC ยังเป็นตัวบ่งชี้ความดันออสโมติกของสารละลายที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทั้งหมดของไอออนธาตุอาหารที่มีให้แก่พืชในบริเวณราก [53] ระดับค่า EC ที่มีประสิทธิภาพมากต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ระหว่าง 1.34-2.73 dS/m (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับ [48] ที่ใช้ *Agastache rugosa* ในระดับค่า EC 6 ค่า ได้แก่ 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0 และ 8.0 dS/m พบว่าการเจริญเติบโตของพืชเกือบทั้งหมด เช่น ความยาวใบ ความกว้างใบ พื้นที่ใบ และความยาวลำต้น เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ค่า EC เท่ากับ 2.0 และ 4.0 dS/m และลดลงต่ำสุดที่ค่า EC เท่ากับ 8.0 dS/m เมื่อเทียบกับการทดลอง ค่า EC อื่น ๆ ในทำนองเดียวกัน [48] พบว่า สารละลายที่ได้จากการเลี้ยงไส้เดือนดินที่ใช้เป็นปุ๋ยเหลวให้ข้อได้เปรียบของพืชที่มีค่า EC ที่ 46 dS/m เพราะความเข้มข้นของความเค็มสูงลดศักยภาพออสโมติกในแหล่งสารอาหาร ปุ๋ยอินทรีย์เหลวคุณภาพดีควรมีค่า EC น้อยกว่า 20 dS/m ค่าดังกล่าวเป็นมาตรฐานสำหรับปุ๋ยอินทรีย์เหลวในประเทศไทย [3] เพราะค่า EC สูงจะลดการดูดซึมน้ำ แรงดันพยุง และการคงอยู่ของไอออนที่เป็นพิษในบริเวณราก ส่งผลให้การขยายตัวของเซลล์จำกัดและการขาดสมดุลของไอออน [54]

**ตารางที่ 3** ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของอัตราส่วนสารอาหารสำหรับเพาะปลูกที่แตกต่างกัน

| วันที่เก็บน้ำชะขยะ | ชุดทดลอง | ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง | | ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | วันที่ 0 | วันที่ 42 | วันที่ 0 | วันที่ 42 |
| 0 | น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ | 7.00 | 8.70 | 0.01 | 0.01 |
| | น้ำชะขยะ | 5.40 | 8.00 | 9.35 | 8.93 |
| | อัตราส่วน 1:1 | 5.50 | 8.40 | 6.01 | 6.53 |
| | อัตราส่วน 1:5 | 5.70 | 6.90 | 2.63 | 3.06 |
| | อัตราส่วน1:10 | 5.90 | 6.98 | 1.34 | 2.73 |
| | อัตราส่วน1:50 | 7.60 | 8.20 | 0.02 | 0.01 |
| | อัตราส่วน 1:100 | 7.20 | 8.40 | 0.01 | 0.02 |
| 7 | น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ | 7.00 | 8.70 | 0.01 | 0.01 |
| | น้ำชะขยะ | 6.30 | 8.40 | 7.93 | 9.62 |
| | อัตราส่วน 1:1 | 6.30 | 8.40 | 5.84 | 7.37 |
| | อัตราส่วน 1:5 | 6.60 | 7.60 | 2.85 | 3.32 |
| | อัตราส่วน1:10 | 6.60 | 7.80 | 1.49 | 2.29 |
| | อัตราส่วน1:50 | 7.70 | 8.80 | 0.01 | 0.01 |
| | อัตราส่วน 1:100 | 7.30 | 8.60 | 0.00 | 0.00 |
| 14 | น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ | 7.00 | 8.70 | 0.01 | 0.01 |
| | น้ำชะขยะ | 6.70 | 8.00 | 9.69 | 8.95 |
| | อัตราส่วน 1:1 | 6.70 | 8.60 | 7.34 | 6.76 |
| | อัตราส่วน 1:5 | 6.90 | 6.70 | 2.95 | 2.03 |
| | อัตราส่วน1:10 | 6.90 | 7.00 | 1.58 | 2.54 |
| | อัตราส่วน1:50 | 7.50 | 7.90 | 0.02 | 0.00 |
| | อัตราส่วน 1:100 | 7.30 | 8.30 | 0.01 | 0.00 |
| 21 | น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ | 7.00 | 8.70 | 0.01 | 0.01 |
| | น้ำชะขยะ | 6.70 | 8.80 | 6.75 | 6.74 |
| | อัตราส่วน 1:1 | 6.90 | 9.00 | 4.42 | 4.37 |
| | อัตราส่วน 1:5 | 6.90 | 6.80 | 2.45 | 1.86 |
| | อัตราส่วน1:10 | 6.90 | 7.40 | 1.39 | 2.13 |
| | อัตราส่วน1:50 | 7.50 | 8.50 | 0.01 | 0.00 |
| | อัตราส่วน 1:100 | 6.80 | 8.20 | 0.01 | 0.00 |

5.2.2 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตเพื่อกำหนดความเข้มข้นที่เหมาะสมของอัตราส่วนระหว่างสารละลายและน้ำปราศเชื้อ

ความสูงของต้นพรมมิมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในอัตราส่วน 1:10 (21.66, 17.97, 22.40 และ 21.66 ซม. ในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 ตามลำดับ) ตามด้วยอัตราส่วน 1:5 (16.92, 17.38, 19.41 และ 18.41 ซม. ในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 ตามลำดับ) ค่าเฉลี่ยความยาวใบยังมากที่สุดที่อัตราส่วน 1:10 และตามด้วยอัตราส่วน 1:5

(อัตราส่วน 1:10: 0.94, 0.80, 1.00 และ 0.97 ซม. สัดส่วน 1:5: 0.80, 0.76, 0.88 และ 0.92 ซม. ในวันที่เก็บสารละลาย 0, 7, 14 และ 21 ตามลำดับ) (ตารางที่ 4) พบว่า อัตราส่วน 1:10 และ 1:50 เหมาะสมของธาตุอาหารสำหรับเพาะปลูกพรมมิเนื่องจากความเข้มข้นของธาตุอาหารมีผลต่อการขยายตัวของการเจริญเติบโตของพรมมิตามที่กำหนด โดยผลลัพธ์ค่า EC อัตราส่วนที่เหมาะสมของปุ๋ยอินทรีย์เหลวสำหรับสภาวะไฮโดรโปนิกส์ขึ้นอยู่กับประเภทของพืชที่ปลูก วัสดุสำหรับการหมักปุ๋ย และปัจจัยอื่น ๆ เช่น สารอาหารที่ละลาย สอดคล้องกับงานวิจัยของ [55] ผลของปุ๋ยอินทรีย์เหลวที่ผลิตจากกากน้ำตาล กากเหล้ากลั่น และใบอ้อยต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) อัตราส่วนการเจือจางที่เหมาะสม (อัตราส่วน 1:100 ปุ๋ยอินทรีย์เหลว: น้ำ) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ พบดัชนีการงอก 100% ในทางตรงข้ามสารละลายที่ไม่เจือจางจากเศษปุ๋ยหมักที่มีค่า EC สูง พบการขัดขวางการเจริญเติบโตของผัก บ่งชี้ถึงความจำเป็นในการปรับสมดุลค่า EC ในสารละลายก่อนที่จะนำมาปลูกพืช

สารละลายมีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่ำ แต่มีโพแทสเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และคอปเปอร์ค่อนข้างสูงกว่า [56] สังเกตว่าค่าเฉลี่ยความยาวรากที่สัดส่วน 1:50 ในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 มีค่าสูงสุดคือ 4.27, 3.97, 4.81 และ 5.13 ซม. ตามลำดับ ตามด้วยอัตราส่วน 1:100 ที่ 4.17, 3.87, 4.15 และ 4.94 ซม. ตามลำดับ (ตารางที่ 4) อาจเกิดจากการปรับตัวของพืชทางสรีรวิทยาของรากต่อปริมาณโพแทสเซียม ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาของ [34] ซึ่งระบุว่าโพแทสเซียมเกี่ยวข้องกับการควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ การยืดตัวของเซลล์ และกระบวนการทางสรีรวิทยาที่สำคัญอื่น ๆ ผ่านกระบวนการที่มีผลต่อระดับโพแทสซียมต่อการเจริญเติบโตของพืช สอดคล้องกับ [57], [58] พบว่า ถั่วลันเตา (*Pisum sativum*) ข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum vulgare*) หญ้าไรย์ (*Lolium perenne*) สามารถปรับเปลี่ยนความยาวของขนรากเพื่อตอบสนองต่อสภาวะโพแทสเซียมต่ำได้ พืชสามารถรับมือกับการขาดโพแทสเซียมในระยะสั้นได้โดยการส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ธาตุไนโตรเจนเป็นหนึ่งในธาตุอาหารที่สำคัญที่สุดของพืชและเป็นองค์ประกอบหลักของกรดอะมิโน โปรตีน และการสร้างโพรโทพลาสซึมของเซลล์ที่สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโต ความสมบูรณ์ของโครงสร้างสรีรวิทยา และการลดความเครียด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดได้รับอิทธิพลหลักจากระดับสารอินทรีย์ โดยทั่วไปปริมาณสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นจะสัมพันธ์กับการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น ผลผลิตทางเมแทบอลิซึมที่สูงขึ้น ซึ่งมีลักษณะเฉพาะคืออัตราการเจริญเติบโตของผักที่เพิ่มขึ้น โดยพืชมีความต้องการการดูดซึมสารอาหารและน้ำสูงในระหว่างการเจริญเติบโต นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของความสูงของต้นพืชมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่ได้รับอีกด้วย [59] ธาตุโพแทสเซียมสามารถช่วยในการปรับปรุงการควบคุมปากใบและการปรับตัวทางออสโมติกโดยการปรับปรุงการดูดซึมน้ำ ภายใต้ความเครียดจากอุณหภูมิ สารอาหารช่วยรักษาศักยภาพของน้ำในเนื้อเยื่อให้สูง ธาตุอาหารเสริม เช่น เหล็ก โบรอน และสังกะสี ช่วยในการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ในพืช [60] ธาตุฟอสฟอรัสช่วยในการรักษาความเต่งของเซลล์และความเสถียรของเยื่อหุ้มเซลล์ผ่านการเร่งการนำไฟฟ้าของปากใบและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ [61] การเข้าถึงของสารอาหารทั้งหมดควบคุมการเจริญเติบโตและการเจริญเติบโตของพืช [62]

ค่าเฉลี่ยจำนวนรากในกลุ่มควบคุม (น้ำปราศจากเชื้อ) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.93 และตรงข้ามกับสารละลายวันที่ 0 (ยังไม่มีการพัฒนา) สารละลายที่เจือจางในอัตราส่วน 1:1, 1:5, 1:10, 1:50 และ 1:100 จากสารละลายในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 มีความแตกต่างกันเล็กน้อยเท่านั้นและมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก (ตารางที่ 4) การเจริญเติบโตและการพัฒนาของรากพืชได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จากปริมาณโพแทสเซียม [63] โดยโพแทสเซียมยังมีความสำคัญมากสำหรับการเจริญเติบโตของเซลล์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการทำงานและการพัฒนาของพืช [64] ค่าเฉลี่ยจำนวนใบในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 ของสารละลาย มีค่าเฉลี่ยของจำนวนใบคือ 18.13 (1:50), 16.46 (ควบคุม), 17.53 (1:10) และ 18.13 (1:10) ตามลำดับ พบว่าการทดลองในอัตราส่วน 1:10 และ 1:50 เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตใบพืชเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมในขณะที่การทดลองอื่น ๆ มีจำนวนใบเฉลี่ยต่ำกว่าซึ่งไม่ใช่สภาวะที่เหมาสมต่อการเจริญและพัฒนาสำหรับพืช (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับการวิจัยของ [65] ที่ระบุว่าจำนวนใบพืชที่น้อยเกิดจากการขาดน้ำและสารอาหารที่พืชดูดซึม ดังนั้นจึงสามารถยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการคายน้ำของใบได้ ซึ่งส่งผลให้จำนวนใบลดลง พื้นที่ใบได้รับผลกระทบจากไนโตรเจน โดยการขาดไนโตรเจนจะทำให้การเจริญเติบโตทางพืชหยุดชะงักซึ่งส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืช อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ลดลงจะทำให้พื้นที่ใบที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก

สารละลายที่ได้จากการหมักปุ๋ยเศษผักดำเนินการคล้ายกับปุ๋ยอินทรีย์เหลวเพราะอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารตั้งต้นในกระบวนการหมัก โดยมียีสต์และแบคทีเรียทำหน้าที่หลักในการย่อยสลายจนได้ผลิตภัณฑ์ฮอร์โมนพืช เช่น เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโทไคนิน และกรดอินทรีย์ เน กรดอะมิโน กรดแลคติก กรดฮิวมิก และกรดอะซิติก รวมถึงธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช [66] อัตราส่วน 1:10 และ 1:50 ของสารอาหารสำหรับเพาะปลูกสามารถเป็นสภาวะที่ดีที่สุดเพื่อส่งเสริมการพัฒนาของพืชทั้งความสูง ความยาวใบและจำนวนใบ อัตราส่วน 1:10 ค่าเฉลี่ยสูงสุดของความสูงของต้นพืชและความยาวใบ คือ 22.40 และ 1.00 ตามลำดับที่ 14 วันของกระบวนการสารละลาย ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับอัตราส่วน 1:50 สารละลายหมัก 14 วันมีผลต่อความสูงของต้นพืชและความยาวใบมากที่สุดที่ 15.40 และ 0.81 ตามลำดับ สารละลายหมัก 21 วัน มีอิทธิพลสูงสุดต่อจำนวนใบทั้งอัตราส่วน 1:10 และ 1:50 มีอิทธิพลสูงสุดต่อค่าเฉลี่ยของ 18.13 และ 15.10 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับการศึกษาของ [55] แสดงผลการวิเคราะห์ทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์เหลวหลังจากระยะเวลา 15 วันของการหมัก ที่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.21 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 0.015 โพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 1.08 อินทรียวัตถุร้อยละ 5.89 คาร์บอนอินทรีย์ร้อยละ 3.43 และอัตราส่วน C/N (16.41) สูงสุด ซึ่งบ่งชี้ว่าสารละลายหมัก 14 วันเป็นระยะที่สมบูรณ์สำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับค่า EC ที่สูงกว่าเวลาการหมักอื่น ๆ และพบธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในน้ำชะขยะในสัดส่วนต่าง ๆ โดยสารอาหารที่จำเป็นภายในสารอาหารสำหรับเพาะปลูกจะถูกส่งไปที่รากพืช ในปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ ไนโตรเจนมีอยู่หลักเป็น $NH_4^+$ [67] และถูกดูดซึมโดยพืชโดยตรงหรือในรูปแบบอื่นหลังจากถูกเปลี่ยนโดยจุลินทรีย์ในสารตั้งต้นผ่านการสร้างแอมโมเนียและไนตริฟิเคชัน [68] และอุดมไปด้วยสารอาหารอื่น ๆ เป็นทางเลือกและเป็นวิธีหลักในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ โดยเฉพาะสารละลายที่ได้จากการหมักปุ๋ยเศษผักเพื่อใช้ประโยชน์จากการปลูกพืชภายใต้ระบบไฮโดรโปนิกส์

**ตารางที่ 4** อัตราการเจริญเติบโตของพราหมณ์ภายใต้การเพาะปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ในอัตราส่วนสารอาหารสำหรับเพาะปลูกที่แตกต่างกันใน 21 วัน (n=3)

| วันที่เก็บน้ำชะขยะ | ชุดทดลอง | ความสูงต้น (ซม.) | ความยาวใบ (ซม.) | ความยาวราก (ซม.) | จำนวนใบ | จำนวนราก |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ | 12.63±0.19$^{c*}$ | 0.63±0.22$^{d}$ | 3.14±0.18$^{d}$ | 16.46±0.46$^{b}$ | 4.93±0.20$^{a}$ |
| | น้ำชะขยะ | 0.00±0.00$^{e}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{e}$ |
| | อัตราส่วน 1:1 | 0.00±0.00$^{e}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{e}$ |
| | อัตราส่วน 1:5 | 16.92±1.15$^{b}$ | 0.80±0.68$^{b}$ | 2.68±0.27$^{e}$ | 12.83±1.03$^{d}$ | 4.16±0.36$^{b}$ |
| | อัตราส่วน1:10 | 21.66±0.98$^{a}$ | 0.94±0.08$^{a}$ | 3.15±0.28$^{d}$ | 13.96±1.07$^{c}$ | 4.23±0.35$^{b}$ |
| | อัตราส่วน1:50 | 14.47±0.29$^{c}$ | 0.73±0.03$^{c}$ | 4.27±0.25$^{a}$ | 18.13±0.38$^{a}$ | 4.20±0.34$^{b}$ |
| | อัตราส่วน 1:100 | 11.75±0.65$^{c}$ | 0.48±0.04$^{e}$ | 4.17±0.28$^{a}$ | 14.06±0.78$^{c}$ | 3.16±0.25$^{e}$ |
| 7 | น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ | 12.63±0.19$^{c}$ | 0.63±0.22$^{e}$ | 3.14±0.18$^{d}$ | 16.46±0.46$^{a}$ | 4.93±0.20$^{a}$ |
| | น้ำชะขยะ | 0.00±0.00$^{e}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{e}$ |
| | อัตราส่วน 1:1 | 0.00±0.00$^{e}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{e}$ |
| | อัตราส่วน 1:5 | 17.38±1.69$^{b}$ | 0.76±0.07$^{b}$ | 1.62±0.24$^{e}$ | 13.53±1.31$^{d}$ | 2.53±0.39$^{d}$ |
| | อัตราส่วน1:10 | 17.97±2.07$^{a}$ | 0.80±0.08$^{a}$ | 2.85±0.31$^{e}$ | 11.00±1.27$^{d}$ | 3.73±0.44$^{c}$ |
| | อัตราส่วน1:50 | 14.74±0.28$^{c}$ | 0.71±0.03$^{c}$ | 3.97±0.25$^{a}$ | 15.73±0.47$^{c}$ | 3.60±0.19$^{c}$ |
| | อัตราส่วน 1:100 | 13.78±0.27$^{c}$ | 0.72±0.02$^{c}$ | 3.87±0.19$^{b}$ | 16.06±0.36$^{b}$ | 4.06±0.19$^{b}$ |
| 14 | น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ | 12.63±0.19$^{c}$ | 0.63±0.22$^{d}$ | 3.14±0.18$^{d}$ | 16.46±0.46$^{c}$ | 4.93±0.20$^{a}$ |
| | น้ำชะขยะ | 0.00±0.00$^{e}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{e}$ |
| | อัตราส่วน 1:1 | 7.90±0.96$^{d}$ | 0.41±0.55$^{e}$ | 1.62±0.25$^{e}$ | 8.66±1.11$^{e}$ | 2.60±0.37$^{d}$ |
| | อัตราส่วน 1:5 | 19.41±1.47$^{b}$ | 0.88±0.07$^{b}$ | 2.67±0.23$^{e}$ | 13.40±1.05$^{d}$ | 4.63±0.37$^{a}$ |
| | อัตราส่วน1:10 | 22.40±1.47$^{a}$ | 1.00±0.06$^{a}$ | 3.54±0.29$^{c}$ | 17.53±1.16$^{a}$ | 4.73±0.36$^{a}$ |
| | อัตราส่วน1:50 | 15.40±0.33$^{c}$ | 0.81±0.25$^{b}$ | 4.81±0.25$^{a}$ | 16.55±0.35$^{b}$ | 3.93±0.23$^{c}$ |
| | อัตราส่วน 1:100 | 14.03±0.30$^{c}$ | 0.74±0.02$^{c}$ | 4.15±0.23$^{a}$ | 15.70±0.36$^{c}$ | 4.10±0.25$^{b}$ |
| 21 | น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ | 12.63±0.19$^{c}$ | 0.63±0.22$^{d}$ | 3.14±0.18$^{d}$ | 16.46±0.46$^{b}$ | 4.93±0.20$^{a}$ |
| | น้ำชะขยะ | 0.00±0.00$^{e}$ | 0.00±0.00$^{g}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{f}$ | 0.00±0.00$^{e}$ |
| | อัตราส่วน 1:1 | 8.90±0.84$^{d}$ | 0.43±0.04$^{e}$ | 3.66±0.50$^{c}$ | 10.70±1.02$^{e}$ | 3.16±0.42$^{f}$ |
| | อัตราส่วน 1:5 | 18.41±1.47$^{b}$ | 0.92±0.07$^{a}$ | 2.24±0.25$^{e}$ | 15.76±1.23$^{c}$ | 4.13±0.44$^{b}$ |
| | อัตราส่วน1:10 | 21.66±0.98$^{a}$ | 0.97±0.04$^{a}$ | 4.38±0.30$^{a}$ | 18.13±0.78$^{a}$ | 4.33±1.69$^{b}$ |
| | อัตราส่วน1:50 | 14.49±0.32$^{c}$ | 0.76±0.03$^{c}$ | 5.13±0.27$^{a}$ | 15.10±0.29$^{c}$ | 3.73±0.22$^{c}$ |
| | อัตราส่วน 1:100 | 14.05±0.32$^{c}$ | 0.73±0.03$^{c}$ | 4.94±0.20$^{a}$ | 15.40±0.50$^{c}$ | 3.76±0.18$^{c}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งบ่งบอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P<0.05$) โดยทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

## 6. สรุปผล

จากการศึกษาทดลองปลูกพรมมิในระบบไฮโดรโปนิกส์โดยใช้ระยะเวลาในการปลูก 42 วัน ในความเข้มข้นของน้ำชะขยะ: น้ำกลั่น ในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า สภาวะของสารละลายของน้ำชะขยะในวันที่ 14 ของปุ๋ยหมักอินทรีย์ทุกสัดส่วน ที่ได้จากเศษปุ๋ยอินทรีย์ที่หมักมีศักยภาพที่จะใช้เป็นแหล่งสารอาหารสำหรับการปลูกพรมมิภายใต้สภาพแวดล้อม ไฮโดรโปนิกส์เพื่อให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด โดยอัตราส่วนของน้ำชะขยะ 1:10 เป็นอัตราส่วนที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นพรมมิได้เหมาะสมที่สุด และธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมรวม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และ โซเดียม ธาตุอาหารเสริม ได้แก่ แมงกานีส และสังกะสี พบปริมาณน้อยในน้ำชะขยะ แต่ช่วยส่งเสริมในการเจริญเติบโตในด้านความสูงต้น ความยาวใบ ความยาวราก จำนวนใบ และจำนวนราก แต่ข้อจำกัดในงานวิจัยนี้เป็นเพียงการศึกษาผักจากตลาดสดเพียงแห่งเดียว และในงานวิจัยต่อไปควรเพิ่มการประเมินจุลินทรีย์เพิ่มเติมในน้ำชะขยะจะช่วยส่งเสริมให้มีมาตรฐานเพิ่มเติมและเหมาะสมเพื่อนำไปใช้ต่อไป อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยสามารถลดการจัดการของเสียและเพิ่มมูลค่าของเศษผักเหลือทิ้งและลดการพึ่งพาปุ๋ยเคมีในระบบเกษตรเมืองได้ต่อไปในอนาคต

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ ห้องปฏิบัติการ ทำให้งานวิจัยสำเร็จและสมบูรณ์ทุกประการ นางสาวเสาวลักษณ์ แก้วห้อย สำหรับการรวบรวมผลการทดลอง รวมถึง รศ ดร.ปรีชา ปัญญา ผศ.ดร.ชลธิศ เสือนุ่ม ผศ.ดร.พัชรา ม่วงการ ดร.รัตน์ดา พัฒน์สิงหเสณีย์ นายสุรชัย มูลมวล และนายศตวรรษ เสือเขียว สำหรับข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนประกาศว่าพวกเขาไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนในงานวิจัยในครั้งนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้สามารถเกิดประโยชน์แก่ผู้สนใจและบุคคลทั่วไปในอนาคต

## 8. เอกสารอ้างอิง

[1] Tirado, R., Englande, A. J., Promakasikorn, L., & Novotny, V. (2008). *Use of agrochemicals in Thailand and its consequences for the environment (Greenpeace Research Laboratories Technical Note GRL-TN-03-2008).* Greenpeace Research Laboratories. Search at https://www.greenpeace.to/publications/GPSEA_agrochemical-use-in-thailand.pdf

[2] Ju, X.-T., Xing, G.-X., Chen, X.-P., Zhang, S.-L., Zhang, L.-J., Liu, X.-J., Cui, Z.-L., Yin, B., Christie, P., Zhu, Z.-L., & Zhang, F.-S. (2009). Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(9), 3041–3046. https://doi.org/10.1073/pnas.0813417106

[3] กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2548). *ปุ๋ยอินทรีย์: การผลิต การใช้ มาตรฐานและคุณภาพ* (พิมพ์ครั้งที่ 1). โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

[4] Savci, S. (2012). An agricultural pollutant: Chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development,* 3(1), 73–80.

[5] Huma, Z., Khan, Z. I., Noorka, I. R., Ahmad, K., Nadeem, M., & Uğulu, İ. (2019). Biotransfer of cobalt along a soil-plant-chicken food chain: implication for public health. *Pure and Applied Biology,* 8(3), 2015–2027.

[6] Uğulu, İ., Khan, Z. I., Rehman, S., Ahmad, K., Munir, M., & Bashir, H. (2020). Effect of wastewater irrigation on trace metal accumulation in spinach (*Spinacia oleracea* L.) and human health risk. *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry,* 21(1), 92–101. http://doi.org/10.21743/pjaec/2020.06.11

[7] Gashgari, R., Alharbi, K., Mughrbil, K., Jan, A., & Glolam, A. (2018). Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system. *Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'18)* (pp. ICMIE 131-1 - ICMIE 131-7). Search at https://www.avestia.com/MCM2018_Proceedings/files/paper/ICMIE/ICMIE_131.pdf

[8] Chow, Y. N., Lee, L. K., Zakaria, N. A., & Foo, K. Y. (2017). New emerging hydroponic system. Proceedings of the International Malaysia–Indonesia–Thailand Symposium on Innovation and Creativity (iMIT-SIC 2017) (Vol. 2(2017), pp. 1–4). Search at https://www.researchgate.net/publication/320344909_NEW_EMERGING_HYDROPONIC_SYSTEM

[9] Bhattarai, S.P, Salvaudon, C., & Midmore, D.J. (2008). "Oxygation of the rockwool substrate for hydroponics." *Aquaponics Journal,* 49, 29–33.

[10] Midmore, D. J., & Wu, D.-L. (1999). Work that water! Hydroponics made easy. *Waterlines*, 17(4), 28–30.

[11] Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 512–531.

[12] Gibeaut, D.M, Hulett, J., Cramer, G.R., & Seemann, J.R. (1997). Maximal biomass of *Arabidopsis thaliana* using a simple, low-maintenance hydroponic method and favorable environmental conditions. *Plant Physiology*, 115(2), 317-319. Search at https://www.researchgate.net/publication/13885501_Maximal_biomass_of_Arabidopsis_thaliana_using_a_simple_lowmaintenance_hydroponic_method_and_favorable_environmental_conditions

[13] Jones, J.B. (2005). *Hydroponics: A practical guide for the soilless grower.* (2nd ed). CRC press. Search at https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781420037708_A25129352/preview-9781420037708_A25129352.pdf

[14] Norén, H., Svensson, P., & Andersson, B. (23 June 2004). A convenient and versatile hydroponic cultivation system for *Arabidopsis thaliana*. Wiley Online Library. Search at https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.00319317.2004.00350.x?msockid=1b49efc206d26c2a0838f86907256de8

[15] Norström, A., Larsdotter, K., & Dalhammar, G. (14 October 2010). Theoretical energy requirements for maintenance of green plants in hydroponic wastewater treatment. Digitala Vetenskapliga Arkivet. Search at https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A356843&dswid=-9926

[16] Williams, K.A., & Nelson, J.S. (2016). Challenges of using organic fertilizers in hydroponic production systems. *Acta Horticulturae*, 1112, 365–370.

[17] Strayer, R. F., Finger, B. W., & Alazraki, M. P. (1997). Evaluation of an anaerobic digestion system for processing CELSS crop residues for resource recovery. *Advances in Space Research*, 20(10), 2009–2015.

[18] Atkin, K., & Nichols, M.A. (2004). Organic hydroponics. *International Society for Horticultural Science*, 648, 121–127

[19] Jarecki, M.K., Chong, C., & Voroney, R.P. (2005). Evaluation of compost leachates for plant growth in hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition*, 28(4), 651–667.

[20] กรกนก อิงคนินันท์. (2561). *พรมมิ สมุนไพรบำรุงความจำ* (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[21] Channa, S., Dar, A., Anjum, S., & Yaqoob, M. (2006). Anti-inflammatory activity of *Bacopa monniera* in rodents. *Journal of Ethnopharmacology*, 104(1-2), 286–289.

[22] Kumar, V. (14 August 2006), Potential medicinal plants for CNS disorders: an overview. WILEY online Library. Search at https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ptr.1970

[23] Rai, K., Gupta, N., Dharamdasani, L., Nair, P., & Bodhankar, P. (2017). *Bacopa Monnieri*: A wonder drug changing fortune of people. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 5(2), 127–132.

[24] Maneeply, C., Sujipuli, K., & Kunpratum, N. (2018). Growth of Brahmi (*Bacopa monnieri* (L.) Wettst.) by NFT and DFT hydroponic systems and their accumulation of saponin bacosides. *NU. International Journal of Science*, 15(2), 114–124.

[25] Lopes, S. J., Dourado Neto, D., Manfron, P. A., & Jasniewicz, L. R. (2004). Models estimate phytomass accumulation of hydroponic lettuce. *Scientia Agricola*, 61(4), 392–400. Search at https://www.scielo.br/j/sa/a/BFXx6KyXF5PpGTt3m5rSPfJ/?format=pdf&lang=en

[26] ชยวิทย์ สุวรรณภักดี. (2555). *การนำน้ำชยะขยะมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชบนพื้นที่ฝังกลบ.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[27] วรารัตน์ น้ำผึ้ง, นงนุช เลาหะวิสุทธิ์ และสมเกียรติ สีสนอง. (2567). ผลการเพิ่มแอมโมเนียไนเตรตในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการเจริญเติบโตและสารสำคัญของพรรณไม้น้ำพรมมิ (*Bacopa monnieri*) ในระบบปลูกพืชไร้ดิน. *วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร*, 42(1), 26–37.

[28] อภิชญา พัดพิน. (2563). *สัดส่วนเศษอาหารและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายด้วยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารของเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี* (วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[29] Tudsanaton, C., Pattamapitoon, T., Phewnil, O., Semvimol, N., Wararam, W., Chanthasoon, C., & Thaipakdee, S. (2021). Limiting factors of durian rind composting by natural technology during the wet period. *Ecology, Environment and Conservation*, 27(2), 590–598. Search at https://www.researchgate.net/publication/361268808_Limiting_factors_of_durian_rind_composting_by_natural_technology_during_the_wet_period

[30] บัญจรัตน์ โจลานันท์. (2556). *การหมักปุ๋ย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีน่ารู้*. มิสเตอร์เจมส์ ดีไซน์ แอนด์ พรินท์.

[31] กรมควบคุมมลพิษ. *(2547). การกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล.* กรมควบคุมมลพิษ. สืบค้นจาก https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2020/05/pcdnew-2020-05-20_08-22-59_490753.pdf

[32] Alam, P., Khan, A. H., Islam, R., Sabi, E., Khan, N. A., & Zargar, T. I. (2024). Identification of prevalent leachate percolation of municipal solid waste landfill: A case study in India. *Scientific Reports*, 14, Article 8910. https://doi.org/10.1038/s41598-024-58693-5

[33] European Environment Agency. (2024). Leachate pollution from landfills (Signal). European Environment Agency. Search at https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/emission-from-waste-management-facilities

[34] Jarecki, M.K., Chong, C. & Voroney, R.P. (2007). Evaluation of compost leachates for plant growth in hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition*, 28(4), 651–667.

[35] ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. (2552). *คู่มือสำหรับการเกษตรยุคใหม่ ธรรมชาติของดินและปุ๋ย* (พิมพ์ครั้งที่ 8). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[36] สันตชัย ณ นคร. (2564). พรมมิ. ศูนย์การศึกษาต่อเนื่องทางเภสัชศาสตร์ สภาเภสัชกรรม. สืบค้นจาก https://ccpe.pharmacycouncil.org/index.php?option=article_detail&subpage=article_detail&id=1109

[37] ชาญชัย สาดแสงจันทร์. (2555). ศักยภาพของพืชสมุนไพรไทยกับภาวะสมองเสื่อม. *วารสารไทยเภษัชยนิพนธ์ (ฉบับการศึกษาต่อเนื่องทางเภสัชศาสตร์)*, 7, 107–131.

[38] สำนักข่าว Hfocus เจาะลึกระบบสุขภาพ. (2564). *ชวนรู้ "บัวบก พรมมิ กลีบบัวแดง" มีสรรพคุณช่วยบำรุงสมอง ชะลออัลไซเมอร์.* สืบค้นจาก https://www.hfocus.org/content/2021/09/23138

[39] สุจาริณี สังข์วรรณะ, มัทนภรณ์ ใหม่คามิ และวีระศักดิ์ ศรีลารัตน์. (2565). การพัฒนาตำรับอาหารเพื่อสุขภาพจากสมุนไพรพรมมิสำหรับผู้สูงอายุ. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*, 31(5): 826–837.

[40] นรินทร์ ท้าวแก่นจันทร์, ภาวิณี อารีศรีสม, วาริน สุทนต์ และวนิดา มนูญญา. (2561). ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของจิงจูฉ่าย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร (ฉบับพิเศษ)*, 49(1), 132–138.

[41] Phadpin, A., Pattamapitoon, T., & Chunkao, K. (2020). Bacterial communities as induced by volatile gases releasing from organic compounds in food wastes and bio-wastes in Bangkok, Thailand. *Ecology, Environment and Conservation*, 26(August Suppl. Issue), S56–S65. Search at https://www.envirobiotechjournals.com/EEC/Vol26AugSuppl20/EEC-9.pdf

[42] อรอนงค์ ผิวนิล. (2541). การศึกษาก๊าซที่ปลดปล่อยจากการหมักขยะชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[43] สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. (2547). *คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรองรับมาตรฐานสินค้า* (เล่ม 2). กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[44] ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์. (2557, 12 กุมภาพันธ์). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่มที่ 131, ตอนพิเศษที่ 29 ง, หน้า 4. สืบค้นจาก https://ratchakitcha.soc.go.th/documents/1998948.pdf

[45] ศิริรัตน์ ก๋าวีเขียว, บุญนิธิ คัสกุล, นงลักษณ์ มีแก้ว, สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ, สุภาภรณ์ ศิริโสภณา และสมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2554). ผลของน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียว *Vigna radiata* L. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 2(1), 30–38.

[46] ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์. (2548, 30 กันยายน). *ราชกิจจานุเบกษา.* เล่มที่ 122, ตอนพิเศษที่ 109 ง, หน้า 9-10. สืบค้นจาก https://ratchakitcha.soc.go.th/documents/172707.pdf

[47] Lam, V.P., Kim, S.J. & Park, J.S. (2020). Optimizing the electrical conductivity of a nutrient solution for plant growth and bioactive compounds of Agastache rugosa in a plant factory. *Agronomy*, 10(1), Article 76. https://doi.org/10.3390/agronomy10010076

[48] Quaik, S., Embrandiri, A., Rupani, P. F., & Ibrahim, M. H. (2012). Potential of vermicomposting leachate as organic foliar fertilizer and nutrient solution in hydroponic culture: A review. *Environment and Bioscience, IPCBEE 2012: 2nd International Conference, IACSIT Press, Singapore, Proceeding,* Vol. 44, (pp. 43–47). IACSIT Press.

[49] Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed). Academic Press (Elsevier). Academic Peess in an imprint of Elsevier. Search at https://l1nq.com/z1yppn0

[50] Bugbee, B. (2004). Nutrient management in recirculating hydroponic culture. South Pacific Soilless Culture Conference (SPSCC). International Society for Horticultural Science (ISHS), New Zealand, Acta Horticulturae, Vol. 648, pp. 99–112). Search at https://opensalts.wdfiles.com/local--files/start/Nutrient%20Management%20in%20Recirculating%20Hydroponic%20Culture.pdf

[51] Shinohara, M., Aoyama, C., Fujiwara, K., Watanabe, A., Ohmori, H., Uehara, Y., & Takano, M. (2011). Microbial mineralization of organic nitrogen into nitrate to allow the use of organic fertilizer in hydroponics. *Soil Science and Plant Nutrition*, 57(2), 190–203.

[52] Marques, G., Aleixo, D., & Pitarma, R. (2019). Enhanced Hydroponic Agriculture Environmental Monitoring: An Internet of Things Approach. Computational Science – ICCS 2019: 19th International Conference, Faro, Portugal, June 12–14, 2019, Proceedings, Part III (pp. 658–669). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22744-9_51

[53] Cho, W.-J., Kim, H.-J., Jung, D.-H., Kim, D.-W., Ahn, T. I., & Son, J.-E. (2018). On-site ion monitoring system for precision hydroponic nutrient management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 146, 51–58. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.019

[54] Ding, X., Zhang, H., Qian, T., He, L., Jin, H., Zhou, Q., & Yu, J. (2022). Nutrient concentrations induced abiotic stresses to sweet pepper seedlings in hydroponic culture. *Plants (Basel),* 11(8), Article 1098. https://doi.org/10.3390/plants11081098

[55] Phibunwatthanawong, T., & Riddech, N. (2019). Liquid organic fertilizer production for growing vegetables under hydroponic condition. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(4), 369–380. https://doi.org/10.1007/s40093-019-0257-7

[56] ไมตรี แก้วทับทิม. (2551). ปริมาณธาตุอาหารพืชในสารละลายที่ได้จากการหมักวัสดุอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ. *วารสารเกษตร*, 24(3), 233–241.

[57] Høgh-Jensen, H., & Pedersen, M. B. (2003). Morphological plasticity by crop plants and their potassium use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 26(5), 969–984. https://doi.org/10.1081/PLN-120020069

[58] Jia, Y.-B., Yang, X.-E., Feng, Y., & Jilani, G. (2008). Differential response of root morphology to potassium deficient stress among rice genotypes varying in potassium efficiency. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 9(5), 427–434. https://doi.org/10.1631/jzus.B0710636

[59] Song, C.-J., Ma, K.-M., Qu, L.-Y., Liu, Y., Xu, X.-L., Fu, B.-J., & Zhong, J.-F. (2010). Interactive effects of water, nitrogen and phosphorus on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of Bauhinia faberi seedlings. *Journal of Arid Environments*, 74(9), 1003–1012. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.02.003

[60] Kumari, V. V., Banerjee, P., Verma, V. C., Sukumaran, S., Chandran, M. A. S., Gopinath, K. A., Venkatesh, G., Yadav, S. K., Singh, V. K., & Awasthi, N. K. (2022). Plant Nutrition: An Effective Way to Alleviate Abiotic Stress in Agricultural Crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(15), Article 8519. https://doi.org/10.3390/ijms23158519

[61] Sato, A.M., Catuchi, T.A., Ribeiro, R.V. & Souza, G.M. (2010). The use of network analysis to uncover homeostatic responses of a drought-tolerant sugarcane cultivar under severe water deficit and phosphorus supply. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(6), 1145–1151. https://doi.org/10.1007/s11738-010-0506-x

[62] Baslam, M., Mitsui, T., Sueyoshi, K., & Ohyama, T. (2021). Recent advances in carbon and nitrogen metabolism in C3 plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1), Article 318. https://doi.org/10.3390/ijms22010318

[63] Jung, J.-Y., Shin, R., & Schachtman, D. P. (2009). Ethylene mediates response and tolerance topotassium deprivation in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 21(2), 607–621. https://doi.org/10.1105/tpc.108.063099

[64] Hepler, P. K., Vidali, L., & Cheung, A. Y. (2001). Polarized Cell Growth in Higher Plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 17, 159–187. https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.17.1.159

[65] Hikosaka, K. (2004). Interspecific difference in the photosynthesis–nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance. *Journal of Plant Research*, 117(6), 481–494. https://doi.org/10.1007/s10265-004-0174-2

[66] ดวงใจ วัยเจริญ, วิภาวดี โตจาด, ทวีเกียรติ ทวีกสิกรรม, สถาพร สมัยกุล และอรรถพล ประวันจะ. (18 เมษายน 2554). 13. ฐานเรียนรู้การผลิตและใช้ประโยชน์จากน้ำหมักชีวภาพ. สืบค้นจาก https://l1nq.com/3x5ibxk

[67] Gül, A., Kıdoğlu, F., & Anaç, D. (2007). Effect of nutrient sources on cucumber production in different substrates. *Scientia Horticulturae*, 113(2), 216–220. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.02.005

[68] Shinohara, M., Aoyama, C., Fujiwara, K., Watanabe, A., Ohmori, H., Uehara, Y., & Takano, M. (2011). Microbial mineralization of organic nitrogen into nitrate to allow the use of organic fertilizer in hydroponics. *Soil Science and Plant Nutrition*, 57(2), 190–203. https://doi.org/10.1080/00380768.2011.554223