วารสารแก่นเกษตร

Khon Kaen Agriculture Journal SUPPL.
Agricultural Conference
Journal Home Page : https://ag2.kku.ac.th/kaj

JOURNAL KAJ

# ผลของการเติมอากาศร่วมกับกรดฮิวมิกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

# Effect of aeration and humic acid on growth and yield of kale in hydroponic system

**เมธวรรณ ธรรมนูญ[1]*, ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์[2] และ ชิติ ศรีตนทิพย์[1,2]**

**Maytawan Thammanoon[1]*, Parinyawadee Sritontip[2] and Chiti Sritontip[1,2]**

[1] *คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000*
[1] *Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang 52000*
[2] *สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000*
[2] *Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang 52000*

**บทคัดย่อ:** การศึกษาผลของการเติมอากาศร่วมกับความเข้มข้นของกรดฮิวมิกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ วางแผนการทดลองแบบ 2 x 4 Factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัย A คือการเติมและไม่เติมอากาศ และปัจจัย B คือความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 4 ความเข้มข้น คือ 0 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) โดยใช้ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) 2.4 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) ผลการทดลองพบว่าการเติมอากาศมีผลทำให้ทั้งความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ความกว้างและความยาวของใบ น้ำหนักสด และความยาวรากของคะน้าเห็ดหอมมากขึ้น ส่วนการเติมกรดฮิวมิกทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นมากขึ้น แต่ไม่มีผลต่อความยาวราก จำนวนใบ ความกว้างและความยาวของใบ และประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ แต่มีผลทำให้ความเขียวของใบเพิ่มมากขึ้น และทำให้น้ำหนักสดของคะน้าทั้งส่วนของใบ ลำต้น และน้ำหนักรวมเพิ่มมากขึ้น พบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยในลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความยาวราก โดยการเติมอากาศร่วมกับกรดฮิวมิกความเข้มข้น 100 และ 150 mg/L ทำให้คะน้ามีความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความยาวราก มากที่สุด และการเติมอากาศร่วมกับกรดฮิวมิกความเข้มข้น 100 mg/L มีน้ำหนักใบ ลำต้น และน้ำหนักรวมสูงที่สุด ส่วนกรรมวิธีไม่เติมอากาศร่วมกับกรดฮิวมิกความเข้มข้น 0 mg/L มีน้ำหนักน้อยที่สุด
**คำสำคัญ:** การเติมอากาศ; กรดฮิวมิก; คะน้าเห็ดหอม; ระบบไฮโดรโปนิกส์

**ABSTRACT:** The study the effect of aeration and humic acid on growth and yield of kale in hydroponic system. The experimental design was 2 x 4 Factorial in CRD for 4 replications. Factor A were non-aeration and aeration, factor B was humic acid (HA) concentrations of 0, 50, 100, and 150 milligrams per liter (mg/L) with electrical conductivity: EC 2.4 mS/cm. The results showed that aeration effected to increase of plant height, stem diameter, number of leaves, leaf width, leaf length, fresh weight, and root length of kale. Humic acid concentration increased the vegetative growth, but is not affected to root length, number of leaves, leaf width, leaf length and FV/FM, however humic acid enhanced a leaf greenness index, increased the fresh weight in part of leaf, stem and total weight. There was interaction between aeration and humic acid concentrations in plant height, stem diameter and root length, aeration combination with humic acid concentration of 100 and 150 mg/L increased the plant height, stem diameter and root length. Moreover, the aeration with humic acid concentration of 100 mg/L had the highest leaf, stem and total weights. The non-aeration treatment with 0 mg/L humic acid had the least weight.
**Keywords:** aeration; humic acid; kale; hydroponic

* Corresponding author: Maytawan_th64@live.rmutl.ac.th

**บทนำ**

คะน้าเป็นผักที่ได้รับความนิยมในการบริโภค เนื่องจากมีรสชาติดีและคุณค่าทางอาหารสูง (ไฉน , 2542) โดยคะน้าที่ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นคือ คะน้าเห็ดหอม เนื่องจากมีขนาดลำต้นอวบใหญ่ ป้อมเตี้ย กรอบ ลักษณะเด่นของคะน้าพันธุ์นี้จะมีใบเป็นจุกเล็ก ๆ บนใบ รายงานสถานการณ์การปลูกคะน้าในปี 2562 ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกคะน้าทั้งสิ้น 47,328 ไร่ ใน 69 จังหวัด โดยมีผลผลิตรวม 45,162 ตัน และมีผลผลิตเฉลี่ย 1,208 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจังหวัดนครปฐมมีเนื้อที่ปลูกคะน้ามากที่สุด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2563) ถึงแม้ความต้องการบริโภคคะน้ามาก แต่พื้นที่การผลิตคะน้าลดลงจากปี 2543/44 ซึ่งมีพื้นที่เก็บเกี่ยวคะน้า 119,645 ไร่ ให้ผลผลิต 233,820 ตัน (สำนักสถิติพยากรณ์, 2545) ซึ่งปัญหาหลักของการผลิตคะน้าคือ การขาดแคลนแรงงาน ต้นทุนการผลิตสูง ค่าวัสดุ เช่น ปุ๋ย ยา เมล็ดพันธุ์มีราคาแพง และปัญหาโรคแมลงศัตรูผัก (ประสงค์, 2548) ทำให้เกษตรกรใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชเพิ่มมากขึ้น แต่จากการขาดความรู้และความเข้าใจในการเลือกใช้สารเคมี วิธีการใช้ที่เหมาะสม และการใช้ในปริมาณที่มากเกินความจำเป็น ทำให้สารพิษตกค้างในผลผลิตมากกว่าผักใบชนิดอื่น (เพ็ญนภา และคณะ, 2553)

ในปัจจุบันการปลูกผักระบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponic System) ได้รับความนิยมเนื่องจากมีระบบการเพาะปลูกที่สะอาด ปลอดภัยจากสารเคมี และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยอาศัยธรรมชาติในการไหลของน้ำช่วยนำพาธาตุอาหารไปให้ต้นพืช ทำให้สามารถกำหนดชนิดของธาตุอาหารที่เหมาะสมกับการปลูกพืชได้ (พีระศักดิ์, 2553) ซึ่งระบบการปลูกมีทั้งระบบการปลูกแบบรากแช่สารละลาย โดยสารละลายไม่หมุนเวียน โดยระบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้า หรือปั๊มน้ำ สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ และวิธีการไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่รากมีโอกาสขาดออกซิเจนได้ง่าย (ชิติ, 2556; Kratky, 2009) และอีกแบบคือการปลูกพืชในระบบปิดหรือแบบใช้สารละลายหมุนเวียน โดยให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นน้ำบาง ๆ โดยมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรางและรากพืช หมุนเวียนกลับมายังถังเก็บสารละลาย มีระบบจัดหาอากาศให้รากอย่างเพียงพอ (ชิติ, 2556) ซึ่งนภาพร และ วัชรวิทย์ (2559) ได้ศึกษาการปลูกคะน้าเห็ดหอมที่ปลูกในระบบปิดหรือสารละลายหมุนเวียน พบว่าคะน้าเห็ดหอมที่ปลูกโดยใช้เพอร์ไลท์ที่จำนวน 5 ต้นต่อถ้วยปลูก และฟองน้ำจำนวน 4 ต้นต่อถ้วยปลูก มีการเจริญเติบโตดีที่สุดและให้ผลผลิตมากที่สุด

จากรายงานของศูนย์สารสนเทศการเกษตร (2565) พบว่าในปี 2564 ราคาขายส่งและขายปลีกของปุ๋ยเคมีสูตรที่สำคัญมีราคาเพิ่มขึ้นทุกสูตรเมื่อเทียบกับปี 2563 เนื่องจากสถานการณ์สงครามระหว่างรัสเซียและยูเครน ทางรัสเซียได้จำกัดการส่งออกปุ๋ยเคมีโดยรัสเซีย และจีนเป็นประเทศผู้ผลิตปุ๋ยเคมีที่สำคัญ รวมถึงการขึ้นราคาของแก๊สธรรมชาติและน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นต้นทุนสำคัญของการผลิตปุ๋ยเคมี ดังนั้นการหาแหล่งอินทรียวัตถุอื่นมาทดแทนการใช้สารเคมี จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อลดต้นทุนการผลิตลง โดยที่เหมืองลิกไนต์แม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีมูลดินปนถ่านหิน เรียกว่า“ลีโอนาร์ไดต์ (Leonardite)” ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด คือ กรดฮิวมิก (Humic acid) กรดฟูลวิค (Fulvic acid) และฮิวมีน (Humin) ที่เป็นประโยชน์อย่างมากทางการเกษตร (วิวัฒน์และคณะ, 2552) โดยกรดฮิวมิกทำหน้าที่คล้ายกับฮอร์โมนกลุ่มออกซิน ช่วยเร่งการเจริญเติบโตในพืช การแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ โดยเฉพาะส่วนของยอดและราก (ยงยุทธ, 2557) จากรายงานของ Haghighi and Silva (2013) พบว่าการทำงานร่วมกันของกรดฮิวมิกและกรดกลูตามิก ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ เช่นเดียวกับ Adani et al. (1998) ศึกษาผลกระทบของกรดฮิวมิกเชิงพาณิชย์ต่อการเจริญเติบโตและสารอาหารของพืชในมะเขือเทศ พบว่า ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่ 20 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของมะเขือเทศที่ปลูกระบบไฮโดรโปนิกส์ได้ ดังนั้นจึงทำการศึกษาวิจัยให้ทราบถึงการเติมอากาศ และระดับความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าเห็ดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

**วิธีการศึกษา**

เพาะเมล็ดคะน้าเห็ดหอมลงกระดาษเพาะเมล็ดในกล่องพลาสติก เมื่อต้นกล้าอายุ 9 วัน ทำการย้ายปลูกลงบนฟองน้ำปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบรากแช่สารละลาย โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรดัดแปลงโดย ชิติ และคณะ (2560) ระยะปลูก

ระหว่างต้น 12 เซนติเมตร การเตรียมกรดฮิวมิค โดยเตรียมจากกรดฮิวมิคความเข้มข้น 77 % ยี่ห้อ ซากุระ ฮิวเมท ของบริษัท คอมโพส์ยูอิ จำกัด จังหวัดเชียงราย

วางแผนการทดลองแบบ 2 x 4 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 8 กรรมวิธี วิธีละ 4 ซ้ำ โดยกำหนดให้ปัจจัย A คือการเติมและไม่เติมอากาศ และปัจจัย B คือความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 4 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) โดยใช้ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) 2.4 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) เริ่มให้ปัจจัยตามแต่ละกรรมวิธีตั้งแต่ครั้งแรกที่ย้ายปลูก และเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหาร ตามแต่ละกรรมวิธีทุก 7 วัน จำนวน 4 ครั้ง และเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อคะน้าเห็ดหอมอายุ 35 วัน หลังย้ายปลูก

การบันทึกข้อมูล 3 ส่วน โดยทำการวัดทุก 7 วัน คือ การเจริญเติบโตทางลำต้นและราก ได้แก่ ความสูงของต้น (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร) ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ความยาวราก (เซนติเมตร) การเจริญเติบโตทางใบ ได้แก่ จำนวนใบ ความกว้างใบ (เซนติเมตร) ความยาวใบ (เซนติเมตร) ค่าประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ (FV/FM) และค่าความเขียวของใบ (SPAD value) ด้วย SPAD-502 plus meter (Konica Minolta, ประเทศญี่ปุ่น) และผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในส่วนของใบ ลำต้น ราก และน้ำหนักรวม

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

**ผลการศึกษา**

**การเจริญเติบโตทางลำต้นและราก**

**ความสูงของลำต้น** จากการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัย A การเติมและไม่เติมอากาศ พบว่าคะน้าอายุ 21-35 วัน มีความสูงของลำต้นแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการเติมอากาศทำให้คะน้ามีความสูงต้นมากกว่าการไม่เติมอากาศ ส่วนผลของความเข้มข้นของกรดฮิวมิก พบว่าต้นคะน้าอายุ 28 วัน มีความสูงของลำต้นแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยความเข้มข้น 100 150 และ 50 mg/L ทำให้คะน้ามีความสูงต้นมากที่สุด ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยในคะน้าอายุ 14-28 วัน โดยการเติมอากาศร่วมกับความเข้มข้นกรดฮิวมิก 100 150 และ 50 mg/L ทำให้คะน้ามีความสูงต้นมากที่สุด **(Figure 1)**

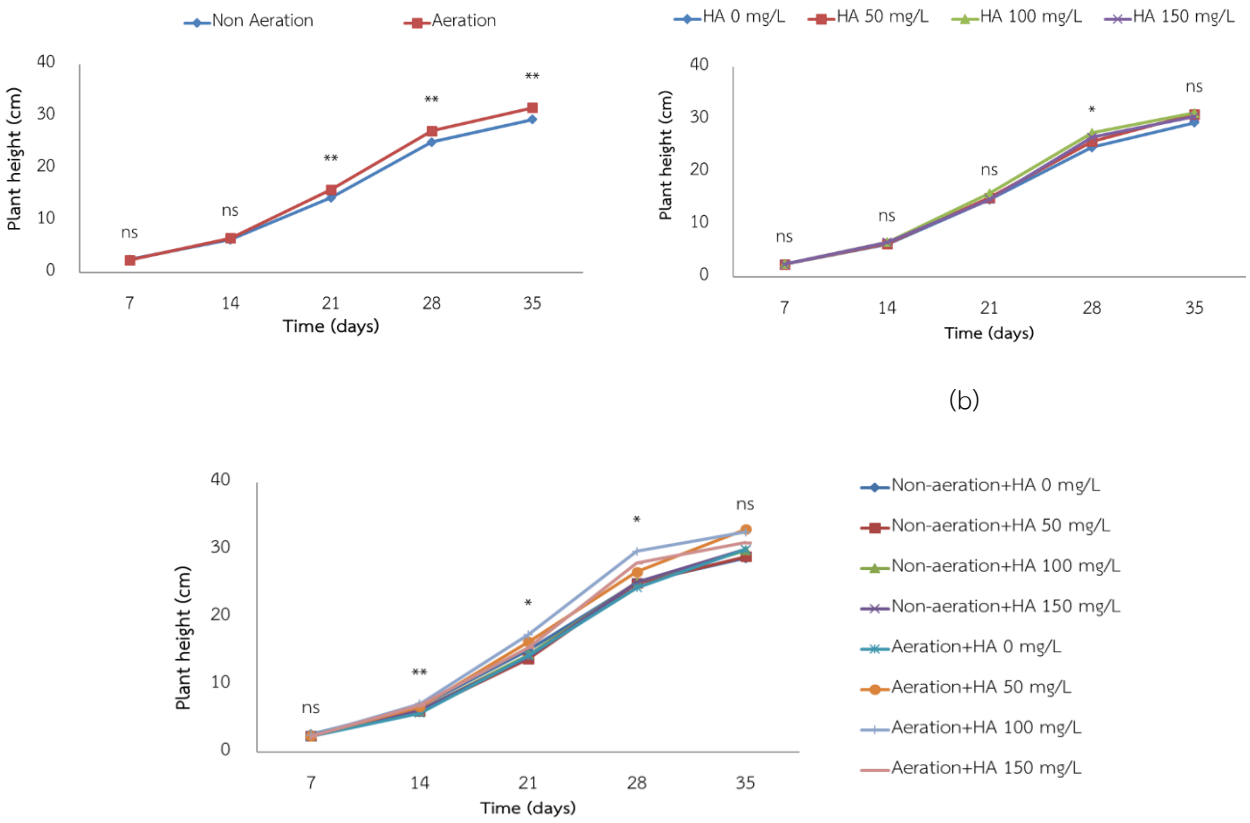


**Figure 1** Effect of aeration (a), humic acid concentrations (b), and interaction between aeration and humic acid concentrations (c) on plant height of kale under hydroponic conditions.

**เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น** จากการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัย A การเติมและไม่เติมอากาศ พบว่าคะน้า อายุ 21-35 วัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการเติมอากาศทำให้คะน้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากกว่าการไม่เติมอากาศ ส่วนผลของความเข้มข้นของกรดฮิวมิก พบว่า ต้นคะน้าอายุ 28 และ 35 วัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ตามลำดับ โดยความเข้มข้น 150 100 และ 50 mg/L ทำให้คะน้ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยในคะน้าอายุ 21-35 วัน โดยการเติมอากาศร่วมกับความเข้มข้นกรดฮิวมิก 150 100 และ 50 mg/L ทำให้คะน้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด **(Figure 2)**

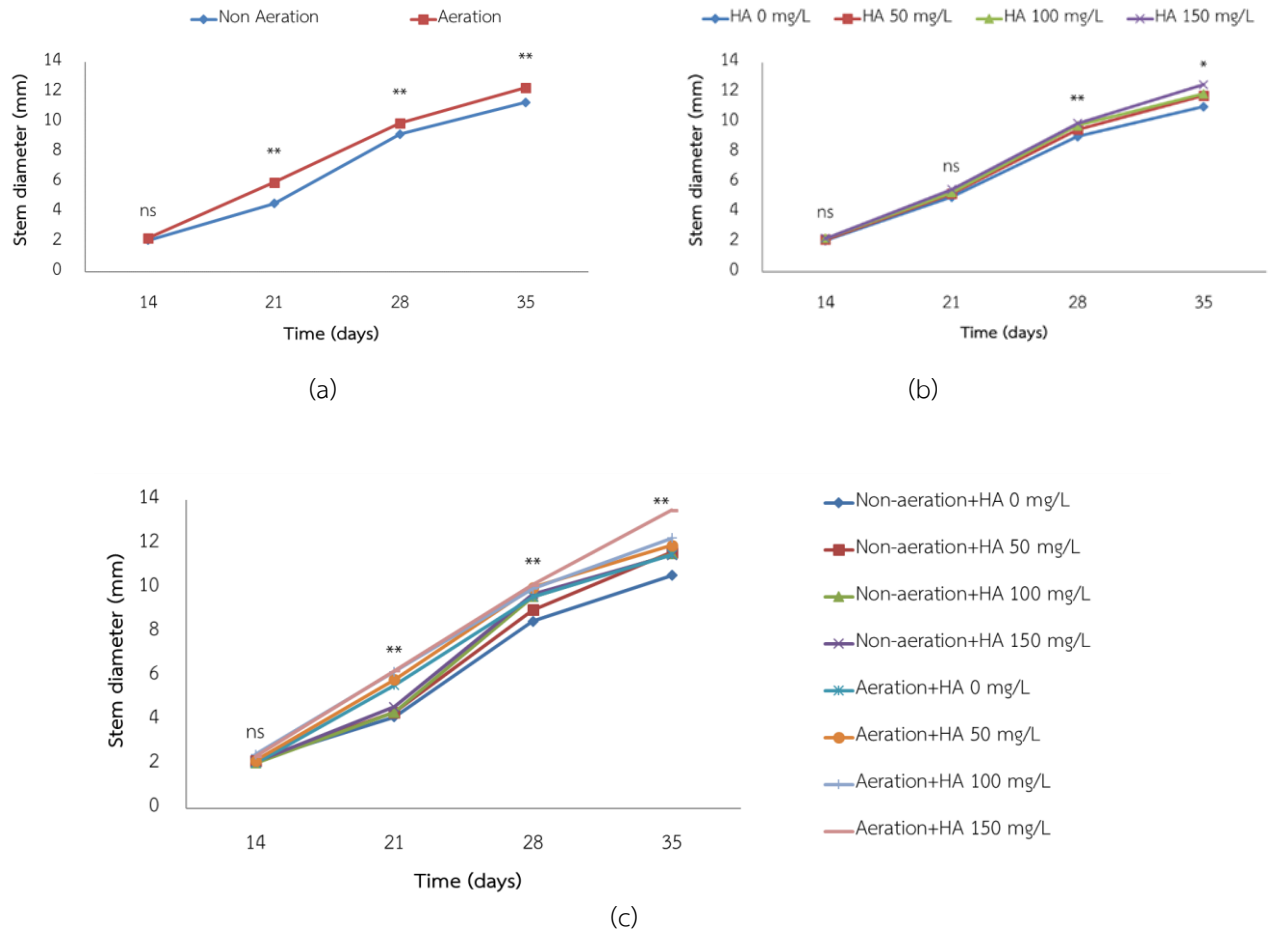


**Figure 2** Effect of aeration (a), humic acid concentrations (b), and interaction between aeration and humic acid concentrations (c) on stem diameter of kale under hydroponic conditions.

**ความกว้างทรงพุ่ม** จากการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัย A การเติมและไม่เติมอากาศ พบว่าคะน้าอายุ 7-21 วัน มีความกว้างทรงพุ่มแตกต่างกันทางสถิติ โดยการเติมอากาศทำให้คะน้ามีความกว้างทรงพุ่มมากกว่าการไม่เติมอากาศ ส่วนผลของกรดฮิวมิก พบว่าต้นคะน้าอายุ 7-21 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยความเข้มข้น 100 150 และ 50 mg/L ทำให้คะน้ามีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด ตามลำดับ และไม่พบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย **(Figure 3)**

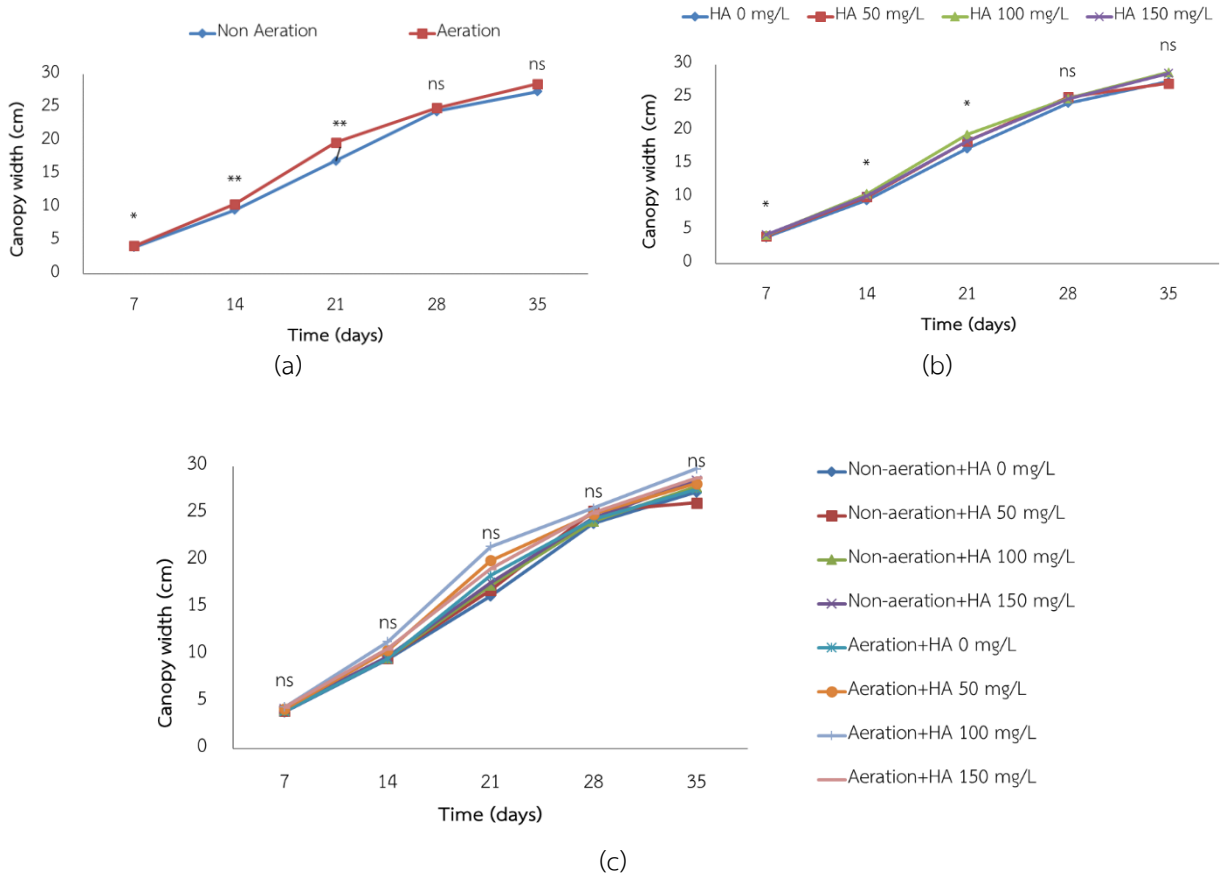


**Figure 3** Effect of aeration (a), humic acid concentrations (b), and interaction between aeration and humic acid concentrations (c) on canopy width of kale under hydroponic conditions.

**ความยาวราก** จากการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัย A การเติมและไม่เติมอากาศ พบว่าคะน้าอายุ 14-35 วัน มีความยาวรากแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการเติมอากาศทำให้คะน้ามีความยาวรากมากกว่าการไม่เติมอากาศ และเมื่อพิจารณาปัจจัย B ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แต่พบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย โดยพบว่าการเติมอากาศร่วมกับความเข้มข้นของกรดฮิวมิก ทำให้คะน้ามีความยาวรากที่อายุ 14-35 วัน มากกว่าการไม่เติมอากาศร่วมกับความเข้มข้นของกรดฮิวมิก **(Figure 4)**

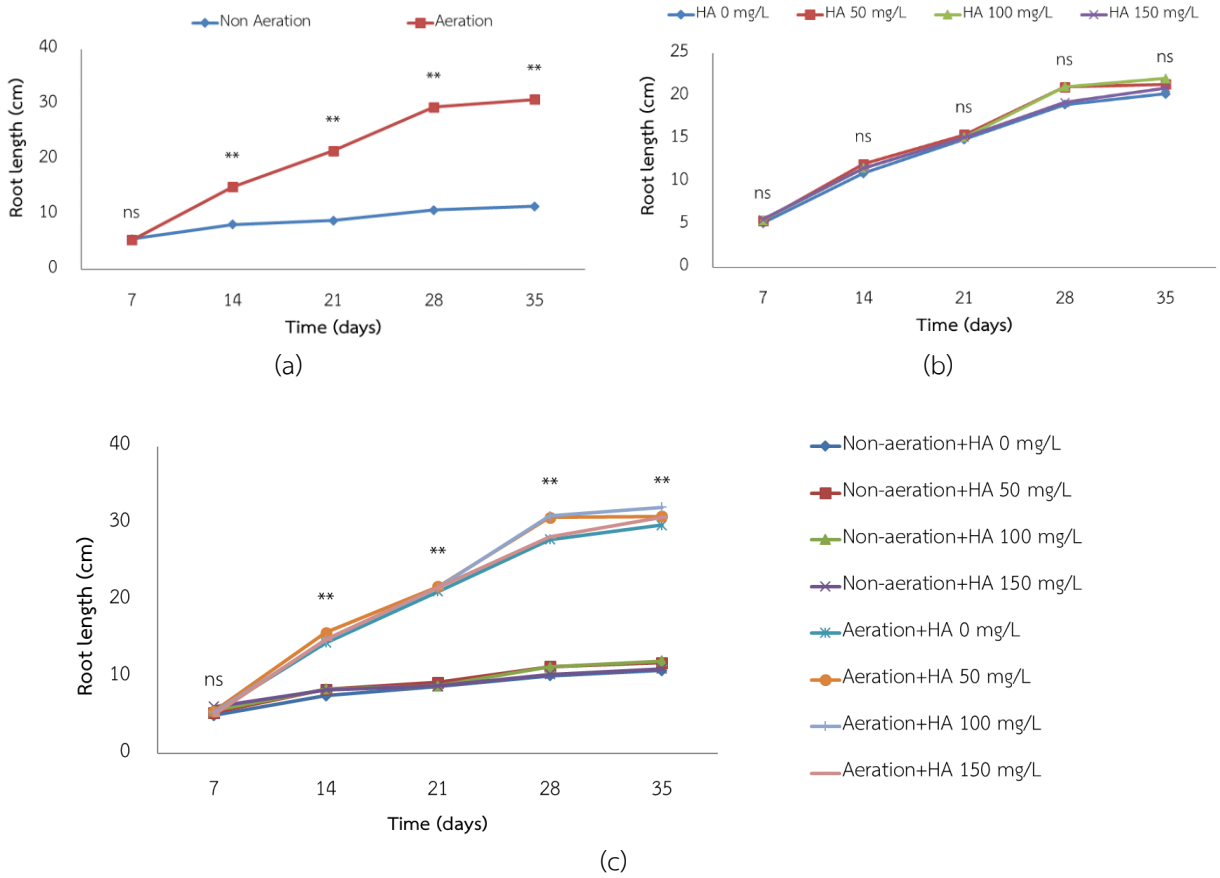


**Figure 4** Effect of aeration (a), humic acid concentrations (b), and interaction between aeration and humic acid concentrations (c) on root length of kale under hydroponic conditions.

**การเจริญเติบโตทางใบ**

จากการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัย A การเติมและไม่เติมอากาศเพียงอย่างเดียว พบว่าจำนวนใบ ความยาวใบ และค่าความเขียวของใบ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการเติมอากาศทำให้คะน้ามีจำนวนใบ ความยาวใบ และค่าความเขียวของใบมากกว่าการไม่เติมอากาศ ขณะที่ความกว้างของใบและประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ไม่มีความแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาปัจจัย B ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกพบว่า ค่าความเขียวของใบมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยความเข้มข้น 50 150 และ 100 mg/L ทำให้คะน้ามีค่าความเขียวของใบสูงที่สุด ส่วนจำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ และประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ไม่มีความแตกต่างกัน และไม่พบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย **(Table 1)**

**น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง**

จากการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัย A การเติมและไม่เติมอากาศ พบว่าน้ำหนักสดในส่วนของใบ ลำต้น และน้ำหนักรวมมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการเติมอากาศทำให้คะน้ามีน้ำหนักสดมากกว่าการไม่เติมอากาศ ส่วนน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อพิจารณาปัจจัย B ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก พบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในลักษณะน้ำหนักสดในส่วนของใบ ลำต้น และน้ำหนักรวม โดยความเข้มข้น 100 150 และ 100 mg/L ทำให้คะน้ามีน้ำหนักสดมากที่สุด ส่วนน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยในด้านน้ำหนักสดของใบ ลำต้นและน้ำหนักรวม โดยพบว่ากรรมวิธีเติมอากาศร่วมกับกรดฮิวมิกความเข้มข้น 50 100 และ 150 mg/L มีน้ำหนักใบและน้ำหนักรวมมากที่สุด **(Table 2)**

**Table 1** Effect of aeration, humic acid concentrations and interaction between aeration and humic acid concentrations on number of leaves, leaf width, leaf length, leaf greenness index and chlorophyll fluorescence of kale under hydroponic conditions

| Treatments | Number of leaves | Leaf width (cm) | Leaf length (cm) | Leaf greenness index (SPAD unit) | Chlorophyll fluorescence (FV/FM) |
|---|---|---|---|---|---|
| Non-aeration | 8.17b | 12.32 | 14.31b | 41.15b | 0.81 |
| Aeration | 8.53a | 12.61 | 14.81a | 44.93a | 0.80 |
| HA 0 mg/L | 8.09 | 12.29 | 14.29 | 40.92b | 0.80 |
| HA 50 mg/L | 8.44 | 12.31 | 14.37 | 44.11a | 0.81 |
| HA 100 mg/L | 8.50 | 12.48 | 14.75 | 43.27ab | 0.80 |
| HA 150 mg/L | 8.38 | 12.76 | 14.81 | 43.86a | 0.81 |
| Non-aeration + HA 0 mg/L | 7.75 | 12.19 | 14.15 | 40.91 | 0.80 |
| Non-aeration + HA 50 mg/L | 8.38 | 12.21 | 14.24 | 42.70 | 0.81 |
| Non-aeration + HA 100 mg/L | 8.31 | 12.41 | 14.37 | 42.66 | 0.81 |
| Non-aeration + HA 150 mg/L | 8.25 | 12.46 | 14.46 | 41.44 | 0.81 |
| Aeration + HA 0 mg/L | 8.44 | 12.40 | 14.44 | 40.93 | 0.80 |
| Aeration + HA 50 mg/L | 8.50 | 12.42 | 14.50 | 45.53 | 0.81 |
| Aeration + HA 100 mg/L | 8.69 | 12.56 | 15.13 | 43.88 | 0.80 |
| Aeration + HA 150 mg/L | 8.50 | 13.06 | 15.16 | 46.27 | 0.80 |
| A (Non-aeration/Aeration) | * | ns | * | ** | ns |
| B (HA) | ns | ns | ns | * | ns |
| A x B | ns | ns | ns | ns | ns |

ns = non-significant, *, ** significant at P<0.05 and P<0.01, respectively. Mean with the same letter(s) in the same column of each part are significantly different at P<0.05, as determined by DMRT.

**Table 2** Effect of aeration, humic acid concentrations and interaction between aeration and humic acid concentrations on fresh weight and dry weight of kale under hydroponic conditions

| Treatments | Fresh weight (gram) | | | | Dry weight (gram) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Leaf | Stem | Root | Total | Leaf | Stem | Root | Total |
| Non-aeration | 62.61b | 28.50b | 13.68 | 104.79b | 4.64 | 1.59 | 1.19 | 7.43 |
| Aeration | 76.68a | 33.55a | 13.86 | 124.09a | 5.01 | 1.77 | 1.21 | 7.99 |
| HA 0 mg/L | 62.59b | 28.02b | 12.44 | 103.05b | 4.46 | 1.57 | 1.10 | 7.14 |
| HA 50 mg/L | 71.28a | 29.11ab | 13.74 | 114.13ab | 4.89 | 1.59 | 1.18 | 7.67 |
| HA 100 mg/L | 72.64a | 33.67a | 14.88 | 121.19a | 5.10 | 1.84 | 1.29 | 8.23 |
| HA 150 mg/L | 72.06a | 33.31a | 14.03 | 119.39a | 4.86 | 1.71 | 1.23 | 7.80 |
| Non-aeration + HA 0 mg/L | 58.41c | 25.65b | 11.93 | 95.99c | 4.45 | 1.54 | 1.04 | 7.04 |
| Non-aeration + HA 50 mg/L | 62.67c | 25.79b | 13.28 | 101.75c | 4.73 | 1.47 | 1.15 | 7.36 |
| Non-aeration + HA 100 mg/L | 63.02c | 31.12ab | 15.07 | 109.21bc | 4.71 | 1.74 | 1.29 | 7.73 |
| Non-aeration + HA 150 mg/L | 66.34bc | 31.44ab | 14.44 | 112.22bc | 4.68 | 1.63 | 1.28 | 7.59 |
| Aeration + HA 0 mg/L | 66.77bc | 30.38ab | 12.96 | 110.11bc | 4.47 | 1.61 | 1.16 | 7.24 |
| Aeration + HA 50 mg/L | 79.89a | 32.42ab | 14.19 | 126.50ab | 5.05 | 1.72 | 1.21 | 7.97 |
| Aeration + HA 100 mg/L | 82.27a | 36.22a | 14.68 | 133.17a | 5.49 | 1.95 | 1.29 | 8.73 |
| Aeration + HA 150 mg/L | 77.77ab | 35.17a | 13.62 | 126.56ab | 5.03 | 1.80 | 1.19 | 8.02 |
| A (Non-aeration/Aeration) | ** | ** | ns | ** | ns | ns | ns | ns |
| B (HA) | * | * | ns | * | ns | ns | ns | ns |
| A x B | * | * | ns | * | ns | ns | ns | ns |

ns = non-significant, *, ** significant at P<0.05 and P<0.01, respectively. Mean with the same letter(s) in the same column of each part are significantly different at P<0.05, as determined by DMRT.

**วิจารณ์**

จากการศึกษาผลของการเติมอากาศและความเข้มข้นของกรดฮิวมิกต่ออัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้า พบว่าปัจจัยของการเติมอากาศมีผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น ทำให้คะน้ามีความสูงต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวรากของคะน้ามากที่สุด ซึ่งชิติ (2556) กล่าวว่า การปลูกพืชในน้ำ หรือในสารละลาย รากพืชมักขาดออกซิเจน จำเป็นต้องให้ออกซิเจนให้เพียงพอต่อความต้องการของพืชในรูปฟองอากาศที่แทรกในสารละลายด้วยการใช้ปั๊มหรือการใช้ระบบหมุนเวียน เนื่องจากก๊าซออกซิเจน ($O_2$) เป็นองค์ประกอบของอากาศในน้ำที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากพืช โดยรากพืชที่ได้รับก๊าซออกซิเจนอย่างเพียงพอจะมีสีขาว ยาว และมีรากฝอยมาก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) และจากการศึกษาของ Mobini et al. (2015) รายงานว่าการเติมอากาศความเข้มข้นสูงในการปลูกมะเขือเทศระบบไฮโดรโปนิกส์ ทำให้มะเขือเทศมีความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความยาวราก และจำนวนใบมากขึ้น

ขณะที่ปัจจัยของความเข้มข้นของกรดฮิวมิก พบว่าต้นคะน้าที่เติมกรดฮิวมิกมีความสูงต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม เพิ่มขึ้นมากกว่าต้นที่ไม่ได้เติมกรดฮิวมิก สอดคล้องกับรัชชากรณ์ (2556) รายงานว่ากรดฮิวมิกสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชในหลาย ๆ ด้าน โดยการเติมกรดฮิวมิกความเข้มข้น 25 mg/L ร่วมกับอาหาร 1/4 MS ช่วยทำให้ต้นอ่อนมะเขือเปราะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งด้านความสูงต้น น้ำหนักสดของต้น ราก และน้ำหนักสดรวม รวมถึงความเข้มของสีใบ เนื่องจากกรดฮิวมิกทำหน้าที่คล้ายกับฮอร์โมนกลุ่มออกซิน ช่วยเร่งการเจริญเติบโต การแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ โดยเฉพาะส่วนของยอดและราก (ยงยุทธ, 2557) สอดคล้องกับรายงานที่พบว่าฮิวมิกสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์แครอทให้มีปริมาณสูงขึ้น

เทียบเท่ากับการใช้ฮอร์โมนออกซินในอาหารเลี้ยงเซลล์ รวมถึงสัณฐานวิทยาที่มีความคล้ายคลึงกับเซลล์ในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีองค์ประกอบของออกซินกลุ่ม IAA (Muscolo et al., 1999) แต่ไม่มีผลต่อความยาวราก จำนวนใบ ความกว้างและความยาวของใบ และประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ในคะน้า รัชชากรณ์ (2556) รายงานว่าการให้กรดฮิวมิกความเข้มข้นสูงกว่า 25 mg/L จะส่งผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนมะเขือเปราะ ซึ่งนพดล (2537) รายงานว่าการใช้ฮอร์โมนกลุ่มออกซินความเข้มข้นสูงจะยับยั้งการเจริญเติบโต เนื่องจากออกซินจะกระตุ้นให้เซลล์พืชสร้างเอทิลีนออกมา ซึ่งมีผลยับยั้งการยืดตัวและการขยายขนาดในส่วนของรากและลำต้น และเนื่องจากปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชคือ น้ำและธาตุอาหาร ซึ่งกรดฮิวมิกช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารให้ละลายได้มากขึ้น และช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่มีผลต่อการดูดซับ การลำเลียง การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ (ยงยุทธ, 2557) ซึ่งสอดคล้องกับ Liu et al. (1998) ที่รายงานว่าการใช้กรดฮิวมิกความเข้มข้น 0 100 200 และ 400 mg/L ทำให้ปริมาณแมกนีเซียม แมงกานีส และซัลเฟอร์สูงขึ้นในหญ้าเบอร์มิวดา และ Fortún et al. (1985) รายงานว่ากรดฮิวมิกที่สกัดได้จากวัสดุเหลือใช้และถ่านหินมีผลส่งเสริมปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองสูงขึ้นในหญ้าไรย์ และกรดฮิวมิกมีผลทำให้ค่าความเขียวของใบ และน้ำหนักสดของคะน้าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรัชชากรณ์ (2556) รายงานว่ากรดฮิวมิกความเข้มข้น 25 mg/L ทำให้การสะสมน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และอัตราการสังเคราะห์แสงของมะเขือเปราะดีที่สุด ในการทดลองพบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยในลักษณะความสูงต้น โดยการเติมอากาศร่วมกับกรดฮิวมิกความเข้มข้น 100 และ 150 mg/L ทำให้คะน้ามีความสูงต้นมากที่สุด

## สรุป

การเติมอากาศร่วมกับการใช้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก สามารถทำให้คะน้ามีการเจริญเติบโตทางลำต้น การเจริญเติบโตทางใบ และน้ำหนักสดของคะน้ามากกว่าการไม่เติมอากาศและไม่ใส่กรดฮิวมิก โดยความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่แนะนำคือ 100 mg/L กรรมวิธีเติมอากาศร่วมกับกรดฮิวมิกความเข้มข้น 100 mg/L ส่งผลให้คะน้าที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์มีน้ำหนักใบ ลำต้น และน้ำหนักรวมสูงที่สุด

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2558. เอกสารคำแนะนำที่ 5/2558 การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งข้อมูล: https://esc.doae.go.th/wp-content/uploads/2018/11/hydroponics.pdf. ค้นเมื่อ 12 กันยายน 2565.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2563. คะน้า ปี 2562. ศูนย์เทคโนโลนีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมส่งเสริมการเกษตร. แหล่งข้อมูล http://www.agriinfo.doae.go.th/year63/plant/rortor/veget/คะน้า.pdf. ค้นเมื่อ 16 พฤศจิกายน 2565.

ไฉน ยอดเพชร. 2542. พืชผักในตระกูลครูเฟอร์. สำนักพิมพ์รั้วเขียว. กรุงเทพฯ.

ชิติ ศรีตนทิพย์. 2556. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics culture). สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, ลำปาง.

ชิติ ศรีตนทิพย์, สันติ ช่างเจรจา, ยุทธนา เขาสุเมรุ, สัญชัย พันธโชติ, ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์, และสุนันท์ เลสัก. 2560. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินต้นทุนต่ำ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, ลำปาง.

นภาพร จิตต์ศรัทธา และวัชรวิทย์ รัศมี. 2559. ผลของชนิดวัสดุปลูกและจำนวนต้นที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าพันธุ์เห็ดหอมในระบบ DRFT. น. 517-551. ใน: การประชุมวิชาการวิจัยรำไพพรรณี ครั้งที่ 10 “ก้าวสู่งานวิจัยในศตวรรษที่ 21” 19-20 ธันวาคม 2559. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, จันทบุรี.

นพดล จรัสสัมฤทธิ์. 2537. ฮอร์โมนพืชและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์รั้วเขียว, กรุงเทพฯ.

เพ็ญนภา กาญจนมั่งศักดิ์, เวณิกา เบ็ญจพงษ์, นริศรา ม่วงศรีจันทร์ และวีรยา การพานิช. 2553. ปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างไม่เหมาะสมในการเพาะปลูกคะน้า. วารสารพิษวิทยาไทย. 25(2): 133-143.

พีระศักดิ์ ฉายประสาท. 2553. การปลูกผักไฮโดรโปรนิกส์ (HYDROPONICS). ภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.), กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2557. การใช้สารเร่งเชิงชีวภาพเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช. วารสารดินและปุ๋ย. 36(1-4): 27-54.

รัชชากรณ์ ว่องไววิริยกิจ. 2556. การศึกษากรดฮิวมิกที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในการแทนที่สารคีเลตต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของเมล็ดมะเขือเปราะ โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ระดับธาตุอาหารต่ำ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.

วิวัฒน์ โตธิรกลุ, พลยุทธ ศุขสมิติ, และจินดารัตน์ โตกมลธรรม. 2552. การเตรียมสารประกอบเกลือฮิวเมตจากดินปนถ่านหินจากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง. สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 (ภาคเหนือ), กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม. แหล่งข้อมูล: http://110.78.6.14/dt/pper/000001266808708.pdf. ค้นเมื่อ 23 กันยายน 2565.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2565. ตัวชี้วัดเศรษฐกิจการเกษตรของประเทศไทย ปี 2564. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งข้อมูล: https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/jounal/2565/indicator2564.pdf. ค้นเมื่อ 23 กันยายน 2565.

สำนักสถิติพยากรณ์. 2545. สถิติการปลูกคะน้า จำแนกตามภาคและจังหวัด ปีเพาะปลูก 2543/44. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. กรุงเทพ ฯ.

Adani, F., P. Genevini, P. Zaccheo, and G. Zocchi. 1998. The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. Journal of plant nutrition. 21(3): 561-575.

Fortún, C., S. Rapsch, and C. Ascaso. 1985. Action of humic acid preparations on leaf development, mineral elements contents and chloroplast ultrastructure of ryegrass plants. Photosynthetica. 19(3): 294-299.

Haghighi, M., and J. A. Teixeira Da Silva. 2013. Amendment of hydroponic nutrient solution with humic acid and glutamic acid in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) culture. Soil Science and Plant Nutrition. 59(4): 642-648.

Kratky, B.A. 2009. Three non-circulating hydroponic methods for growing lettuce. International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics. 843: 65-72.

Liu, C., R.J. Cooper, and D. C. Bowman. 1998. Humic acid application affects photosynthesis, root development, and nutrient content of creeping bentgrass. HortScience. 33(6): 1023-1025.

Mobini, S.H., M.R. Ismail, and H. Aroiuee. 2015. The impact of aeration on potato (*Solanum tuberosum* L.) minituber production under soilless conditions. African Journal of Biotechnology. 14(11): 910-921.

Muscolo, A., F. Bovalo, F. Gionfriddo, and S. Nardi. 1999. Earthworm humic matter produces auxin-like effects on Daucus carota cell growth and nitrate metabolism. Soil Biology and biochemistry. 31(9): 1303-1311.