

ผลของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร ต่อการเติบโตและคุณภาพดอกของทิวลิปที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์

Effects of Electrical Conductivity of Nutrient Solution on Growth and Flower Quality of Tulip Grown in Hydroponics System

วีระศักดิ์ วิชาเป้ง^{1*}, ชัยอาทิตย์ อินคำ^{2,3}, กนกวรรณ ปัญจะมา^{1,3} และ ไสระยา ร่วมรังษี^{1,3}
Weerasak Wichapeng^{1*}, Chaiartid Inkham^{2,3}, Kanokwan Panjama^{1,3} and Soraya Ruamrungsri^{1,3}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Science and Technology Research Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

³ศูนย์บริการการพัฒนขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่เนื่องมาจากพระราชดำริ จ. เชียงใหม่ 50230

³H.M. The King's Initiative Centre for Flower and Fruit Propagation, Chiang Mai 50230, Thailand

*Corresponding author: Email: weerasak.wichapeng@gmail.com

(Received: 1 January 2022; Accepted: 26 April 2023)

Abstract: Nutrient concentrations in term of electrical conductivity value is one of the important factors that affected the growth and quality of tulips grown in hydroponics. The optimum concentration brought about good quality of flowers. However, the research on nutrient levels for the growth and quality of tulips in Thailand was rarely reported. Therefore, this study was aimed to determine the effect of plant nutrient concentrations in the culture solution on the growth and flowering of tulip 'Orange Juice'. Tulip bulbs with an average of 12 cm circumference were grown in a hydroponics system using double pots system under a plant factory with an average temperature of 20 ± 2 °C, average light intensity $442 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and 80 - 90 % RH. The experimental design was completely randomized design (CRD) with 5 treatments and 4 replications. Plants were supplied with five different electrical conductivity (EC) levels i.e., 0, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 dS/m. Plant growth, photosynthesis rate, flowers and new bulbs quality were measured. The results showed that there were not significantly different between treatments on days to flowering and stalk diameter parameters. Plants supplied with EC levels at 0, 1.0 and 1.5 dS/m, photosynthesis rate and transpiration rate were not significant. However, plants height, stalk length, total fresh weight, photosynthesis rate and transpiration rate were decreased when the plant was supplied with high EC levels at 2.0 and 2.5 dS/m but bulb fresh weight, bulb circumference and number of new bulbs per plant were not significant between treatments. Plants supplied with 0 dS/m of nutrient solution showed 66.6 % of stem topple characteristics, while plants supplied with 2.5 dS/m showed 22.2 % of flower abortion.

Keywords: Nutrient solution, electrical conductivity, tulip, hydroponics, cut flowers

บทคัดย่อ: ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารซึ่งวัดด้วยค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของทิวลิปที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ ค่าความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมนำไปสู่คุณภาพดอกที่ดี อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมการเติบโตของทิวลิปในประเทศไทยยังมีรายงานอยู่น้อยมาก การทดลองนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของทิวลิปพันธุ์ 'Orange Juice' ทำการศึกษาโดยปลูกหัวทิวลิปขนาดเส้นรอบวงเฉลี่ย 12 เซนติเมตร ในระบบไฮโดรพอนิกส์ด้วยการใช้กระถาง 2 ชั้น ในโรงเรือนที่มีการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ย 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงเฉลี่ย 442 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ความชื้นที่ 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยให้พืชได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 0, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร กรรมวิธีละ 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต การสังเคราะห์แสง คุณภาพดอก และคุณภาพหัวใหม่ ผลการทดลองพบว่า ทุกกรรมวิธีให้ผลของจำนวนวันที่ดอกบานและเส้นผ่านศูนย์กลางก้านดอกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม กรรมวิธีที่พืชได้รับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 0, 1.0, 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการคายน้ำไม่แตกต่างกัน ส่วนในความเข้มข้นที่มีค่า EC 2.0 และ 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้ความสูงต้น น้ำหนักสด ความยาวก้านดอก อัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการคายน้ำของทิวลิปลดลง แต่น้ำหนักสดหัวใหม่ เส้นรอบวงหัวใหม่ และจำนวนหัวใหม่ไม่แตกต่างกัน ทิวลิปที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร พบอาการก้านดอกล้มสูงถึง 66.6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กรรมวิธีที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร พบอาการดอกแห้ง 22.2 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: สารละลายธาตุอาหาร ค่าการนำไฟฟ้า ทิวลิป ไฮโดรพอนิกส์ ไม่ตัดดอก

คำนำ

ทิวลิป (*Tulipa gesneriana* L.) จัดอยู่ในพืชวงศ์ Liliaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ตอนกลางของทวีปเอเชีย กระจายพันธุ์จากแถบเทียนชานไปยังทางเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ แถบไซบีเรีย มองโกเลีย และจีน ทางใต้แพร่กระจายไปยังอินเดียทางตะวันตก แพร่กระจายไปยังอัฟกานิสถาน อิหร่าน คอเคซัส และตุรกี (Le Nard and De Hertogh, 1993) เป็นไม้ดอกประเภทหัวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของโลก ใช้ประโยชน์ในการผลิตเพื่อตัดดอกและปลูกประดับมาอย่างยาวนาน (Maslanka and Bach, 2014) จากข้อมูลของ Royal FloraHolland (2017) มูลค่าของทิวลิปที่ตัดดอกมีค่าเฉลี่ย 281 ล้านยูโร (10,678 ล้านบาท) ซึ่งเป็นดอกไม้ที่มีความต้องการสูงเป็นอันดับสามของโลก รองจากกุหลาบและดอกเบญจมาศ โดยทั่วไปนิยมปลูกในช่วงฤดูใบไม้ร่วงหรือประมาณเดือนตุลาคม หากเริ่มมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในช่วงที่อุณหภูมิลดต่ำลง

ตายอดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง น้ำหนักแห้งของหัวพันธุ์ลดลงเรื่อย ๆ ส่วนของลำต้นเหนือดินค่อย ๆ ยืดยาวขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงฤดูหนาว เมื่อเข้าสู่ฤดูใบไม้ผลิ อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น พืชจึงมีการเจริญเติบโตพร้อมกับการออกดอก (Le Nard and De Hertogh, 1993) ในประเทศไทยทิวลิปเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมสูงในการใช้เป็นไม้ตัดดอกและปลูกประดับ ซึ่งการปลูกทิวลิปในประเทศไทยยังไม่มีรายงานที่สามารถผลิตหัวพันธุ์ได้ ดังนั้นจึงต้องนำเข้าหัวพันธุ์จากต่างประเทศแล้วทำการปลูกทิวลิปในแถบพื้นที่สูงที่สภาพแวดล้อมเหมาะสมหรือปลูกในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (Puripunyavanicha et al., 2019)

การผลิตทิวลิปเพื่อการตัดดอกด้วยระบบไฮโดรพอนิกส์ภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิกำลังเป็นที่นิยมทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ซึ่งบริษัทพีทีทีแอลเอ็นจีจำกัด ได้นำความเย็นเหลือทิ้งจากการเปลี่ยนสถานะก๊าซมาทดลองปลูกทิวลิปในระบบไฮโดรพอนิกส์ เนื่องจากการปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์

สามารถควบคุมปริมาณธาตุอาหารได้อย่างแม่นยำ (Olympios, 1999) และควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนให้เหมาะสมตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพสูง นอกจากนั้นยังลดปัญหาจากโรคที่เกิดทางดิน (Hoagland and Arnon, 1950) การควบคุมปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมส่งผลให้การเติบโตและคุณภาพผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อพืชได้รับสภาวะของปริมาณธาตุอาหารที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้พืชเกิดความเครียดหรือเก็บสะสมธาตุอาหารมากจนเกิดความเป็นพิษต่อพืช ทำให้การเติบโตและคุณภาพผลผลิตลดลงได้เช่นกัน (Gorbe and Calatayud, 2010) โดยการวัดปริมาณธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชระบบไฮโดรพอนิกส์สามารถวัดได้จากค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity; EC) ซึ่งเป็นค่าการนำไฟฟ้าของเกลือของธาตุอาหาร ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในสารละลายนั้น โดยปกติแล้วน้ำบริสุทธิ์ มีค่าความนำไฟฟ้าเป็นศูนย์ แต่เมื่อนำธาตุอาหารพืชมาละลายในน้ำ เกลือของธาตุอาหารเหล่านี้แตกตัวเป็นประจุบวกและประจุลบ ซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าทำให้มีค่าความนำไฟฟ้า และค่าความนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเกลือของธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำ เมื่อพืชมีการดูดใช้ธาตุอาหารทำให้ประจุของเกลือมีการเปลี่ยนแปลง บ่งบอกถึงความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เปลี่ยนแปลงไป (Ho and Adams, 1995) ทำให้การวัดค่า EC เป็นดัชนีหนึ่งที่จะช่วยบ่งชี้ถึงปริมาณของธาตุอาหารในสารละลายได้ นอกจากนั้นการวัดค่า EC สามารถทำได้ง่ายและสะดวกต่อการทำงานของผู้ปลูก ดังนั้นในการผลิตทิวลิปในระบบไฮโดรพอนิกส์ในประเทศไทย จึงจำเป็นต้องศึกษาระดับของค่าการนำไฟฟ้าของสูตรปุ๋ยที่เหมาะสม ซึ่งมีผลต่อการเติบโตและคุณภาพดอก Dole and Wilkins (1999) รายงานว่าค่า EC ระหว่าง 1.25 ถึง 2.25 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เป็นช่วงที่สามารถให้กับไม้ดอกส่วนใหญ่ได้ ขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ และระยะของพืช สอดคล้องกับรายงานของ Miller (2002) สารละลายธาตุอาหารที่มีการเพิ่มแคลเซียมไนเตรทสำหรับปลูกทิวลิปที่เหมาะสมมีค่า EC 1.5

เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทิวลิปที่ได้รับระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารไม่เหมาะสม มักเกิดอาการขาดแคลเซียม ทำให้แสดงอาการดอกแห้ง ก้านดอกหัก (Klougart, 1980) และการได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีการเพิ่มไนโตรเจนสูงยังส่งผลให้ความยาวก้านดอก ความยาวกลีบดอกลดลง (Lee and Suh, 2005) ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ส่งผลต่อการเติบโตและคุณภาพของทิวลิปในประเทศไทยยังมีน้อยมาก ดังนั้น จึงดำเนินการวิจัยนี้เพื่อหาระดับค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสม สำหรับการปลูกทิวลิป วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของระดับค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของทิวลิปที่ผลิตในระบบไฮโดรพอนิกส์ ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการผลิตทิวลิปเป็นการค้าในประเทศไทยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ปลูกหัวพันธุ์ทิวลิปพันธุ์ 'Orange Juice' ที่มีขนาดเส้นรอบวง 12 เซนติเมตรขึ้นไป จำนวน 60 หัว โดยการนำมาชำในถาดพลาสติกและใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูก ที่ห้องเย็นอุณหภูมิประมาณ 9 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการออกรากและแทงยอดนาน 2 สัปดาห์ หรือจนกระทั่งยอดสูงประมาณ 5 เซนติเมตร จึงทำการย้ายปลูกลงในชุดปลูกระบบไฮโดรพอนิกส์ด้วยการใช้กระถาง 2 ชั้น ขนาด 12 นิ้ว ปลูกในระบบการปลูกพืชในน้ำนิ่ง แบบเติมอากาศ (deep water culture) จำนวน 3 ต้นต่อกระถาง ทำการทดลองในโรงเรือน plant factory ที่ควบคุมสภาพแวดล้อม โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงเฉลี่ย 442 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ได้รับแสงที่ 8 - 10 ชั่วโมงต่อวัน และความชื้นที่ 80 - 90 เปอร์เซ็นต์

วางแผนการทดลองแบบ สุ่ม สมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ เริ่มให้สารละลายธาตุอาหารโดยใช้สูตรของ Hoagland and Arnon (1950) ซึ่งประกอบไปด้วยไนโตรเจน 224.00, ฟอสฟอรัส 62.00, โพแทสเซียม 235.00, แคลเซียม 160.00, แมกนีเซียม 24.00, กำมะถัน

32.00, เหล็ก 1.00, โมลิบดีนัม 0.05, ทองแดง 0.03, สังกะสี 0.13, โบรอน 0.27 และแมงกานีส 0.11 มิลลิกรัม ต่อลิตร ซึ่งสูตรสารละลายธาตุอาหารนี้มีค่า EC เริ่มต้นที่ 1.2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปรับระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารทุกตัวเพื่อให้ได้ค่าตามค่าการนำไฟฟ้า (ค่า EC) ที่กำหนด โดยคงสัดส่วนของธาตุอาหารทุกตัวเท่าเดิม ได้แก่ 0 (กรรมวิธีควบคุมโดยปลูกในน้ำปราศจากประจุไฟฟ้า หรือ deionized water), 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ควบคุมค่า pH อยู่ที่ 5.6 - 6.0 และเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารใหม่ทุก ๆ 1 สัปดาห์

ทำการบันทึกข้อมูลดังนี้ 1) การเจริญเติบโตของต้นทิวลิปที่ระยะดอกบาน (4 สัปดาห์หลังปลูก) ได้แก่ ความสูงของต้นวัดจากโคนต้นถึงปลายใบ (เซนติเมตร) ความยาวราก (เซนติเมตร) จำนวนใบต่อต้น ค่าความเขียวของใบด้วยเครื่อง chlorophyll meter (Minolta SPAD-502) โดยวัดที่ใบอ่อน (ใบที่สองนับจากยอด) และวัดที่ใบแก่ (ใบแรกนับจากโคนต้น) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (กรัม) ต่อต้นเมื่อดอกบาน พื้นที่ใบรวมต่อต้น (ตารางเซนติเมตร) วัดด้วยเครื่อง leaf area meter (รุ่น LI-3100C) อัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปิดปากใบ อัตราการคายน้ำ การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณใบด้วยเครื่องวัดการสังเคราะห์แสง (LCpro-SD portable โดยวัดที่เวลา 10.00 - 11.00 น. ที่ตำแหน่งใบแรกนับจากโคนต้น) 2) ข้อมูลคุณภาพดอก ได้แก่ ความยาวก้านดอก วัดจากโคนก้านดอกถึงกลีบดอก (เซนติเมตร) ความยาวดอก วัดจากโคนกลีบดอกถึงปลายกลีบดอก (เซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดอก (เซนติเมตร) จำนวนวันตั้งแต่ปลูกถึงดอกบาน 3) คุณภาพหัวพันธุ์ ที่ระยะ 8 สัปดาห์หลังปลูก ได้แก่ เส้นรอบวงหัว (เซนติเมตร) น้ำหนักสด (กรัม) จำนวนหัวใหม่ (หัว)

วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม Statistix 8 (SXW Tallahassee, FL, USA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้ค่า least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโต

จากผลการทดลองพบว่า การปลูกทิวลิปด้วยสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในระยะ 4 สัปดาห์หลังปลูก พบว่า กรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 0, 1.0, 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ให้ค่าความสูงต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพืชมีค่าความสูงเฉลี่ยที่ 29.9, 29.3, 28.9 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งให้ค่าความสูงต้นน้อยที่สุด ส่วนกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นที่ 27.9 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าการได้รับสารละลายที่มีค่า EC 0 และ 1.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (Table 1)(Figure 1) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากค่าของ EC ที่ 2.0 - 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เป็นระดับที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตจากความเป็นพิษของความเข้มข้นของสารละลายที่มากเกินไป Hsiao (1973) รายงานว่า สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงมีปริมาณไอออนของธาตุอาหารมากทำให้ค่าแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ของสารละลายสูง ส่งผลทำให้ค่าศักย์ (water potentials) ในเซลล์พืชต่ำมีผลให้น้ำแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์พืชลดลง ทำให้แรงดันเต่ง (turgor pressure) ภายในเซลล์พืชต่ำ การขยายขนาดของเซลล์พืชจึงลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Savvas *et al.* (2002) ที่พบว่า การให้สารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC สูง (EC 2.1 - 3.8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ทำให้ความสูงต้นของเจอบีร่าลดลง ในส่วนข้อมูลจำนวนใบต่อต้น ในแต่ละกรรมวิธีทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยของจำนวนใบในแต่ละกรรมวิธีเท่ากับ 3 ใบต่อต้น (ไม่ได้แสดงข้อมูล)

Table 1. Effect of different nutrient solution concentrations on growth parameters of tulips grown hydroponics at flowering stage (4 weeks after planting)

EC levels (dS/m)	Plant growth at the flowering stage (4 weeks after planting)						
	Plant height (cm) ¹	Root length (cm) ¹	Leaf greenness (SPAD unit) ¹		Leaf area (cm ²) ¹	Total fresh weight (g) ¹	Total dry weight (g) ¹
			Young leaf	Old leaf			
0	29.9 a	10.7	38.0 b	35.6 b	235.9 b	92.5 a	10.18
1.0	29.3 a	11.7	42.0 a	36.6 b	256.5 a	84.8 ab	10.15
1.5	28.9 ab	10.5	38.6 b	35.3 b	237.7 b	82.9 ab	11.29
2.0	27.9 bc	10.9	41.9 a	40.3 a	237.3 b	78.4 bc	11.13
2.5	27.1 c	11.0	40.8 a	43.9 a	224.1 c	70.4 c	10.75
%CV	3.98	8.79	5.91	4.18	2.45	7.09	17.34
LSD _{0.05}	*	ns	*	*	*	*	ns

¹ Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test at $P \leq 0.05$

^{ns} not significant

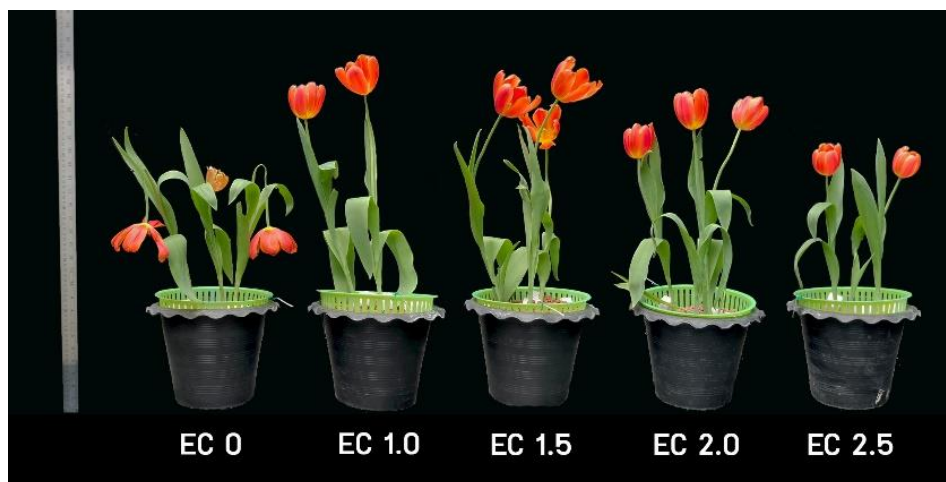


Figure 1. Visible effect of different nutrient solution concentrations on 'Orange Juice' tulip growth attributes after 4 weeks of treatment. Left to right: EC 0, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 dS/m

ในการทดลองนี้ยังพบว่า ค่าความเขียวของใบที่ใบอ่อนอยู่ในช่วง 38.0 - 42.0 SPAD unit กรรมวิธีที่ให้ค่า EC ที่ 2.0 และ 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าความเขียวของใบที่ใบอ่อนมากกว่ากรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 0,

1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งในระยะนี้ใบอยู่ในช่วงกำลังพัฒนายังไม่เจริญเติบโตเต็มที่ ดังนั้น ค่าความเขียวของใบจึงยังมีความแปรปรวนอยู่บ้าง ส่วนในใบแก่ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วพบว่า การให้ความเข้มข้น

สารละลายธาตุอาหารที่ค่า EC 0, 1.0, 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้ค่าความเขียวของใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 35.6, 36.6, 35.3 ตามลำดับ ซึ่งทั้งสามกรรมวิธีมีค่าความเขียวของใบน้อยกว่ากรรมวิธีที่ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยค่าความเขียวของใบสูงที่สุดที่ 43.9 และกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าความเขียวของใบรองลงมาซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 40.3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะที่ใบแก่ที่เจริญเติบโตเต็มที่ มีการสร้างคลอโรฟิลล์ได้มากกว่าใบอ่อน เมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC สูง มีปริมาณธาตุอาหารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างคลอโรฟิลล์ เช่น ไนโตรเจน แมกนีเซียม เหล็ก สูงตามด้วย ทำให้พืชมีการสร้างคลอโรฟิลล์มากขึ้น ส่งผลให้ใบพืชมีสีเขียวเข้ม สอดคล้องกับรายงานของ Saloner and Bernstein (2020) ที่กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณธาตุไนโตรเจนที่มากเกินไป ความต้องการส่งผลให้ใบแก่จะมีสีเขียวเข้ม เนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น และในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ อาจทำให้ปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอในการสร้างคลอโรฟิลล์ ทำให้ใบมีสีซีดจางถึงเหลืองได้

พื้นที่ใบ พบว่า กรรมวิธีที่ให้สารละลายธาตุอาหารที่ EC 1.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้พืชมีค่าพื้นที่ใบมากที่สุดมีค่าเฉลี่ย 256.5 ตารางเซนติเมตร กรรมวิธีที่ค่า EC 0, 1.5 และ 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าพื้นที่ใบรองลงมา (เฉลี่ย 235.9, 237.7 และ 237.3 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ) กรรมวิธีที่ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าพื้นที่ใบน้อยที่สุดเฉลี่ย 224.1 ตารางเซนติเมตร ทั้งนี้ อาจมีสาเหตุจากค่า EC ที่สูงเกินไปทำให้เกิดอาการเป็นพิษในทิวลิป ส่งผลให้การเจริญเติบโตและพื้นที่ใบของพืชลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Li and Stanghellini (2001) การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารส่งผลให้พื้นที่ใบของมะเขือเทศลดลง เช่นเดียวกับการทดลองในผักกาดหอม (Samarakoon *et al.*, 2006)

ในส่วนของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง พบว่า กรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดน้อยที่สุด (เฉลี่ย 70.4 กรัม)

และไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (เฉลี่ย 78.4 กรัม) กรรมวิธีที่ให้ค่าน้ำหนักสดมากที่สุดคือกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 1.0, 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (เฉลี่ย 92.5, 84.8, 82.9 กรัม ตามลำดับ) ในส่วนของน้ำหนักแห้งทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะที่ 4 สัปดาห์ พืชมีการใช้ธาตุอาหารที่สะสมในหัวพันธุ์ในการเจริญเติบโตและยังไม่ได้มีการสะสมอาหารและสร้างหัวใหม่ จึงทำให้น้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน และในส่วนค่าน้ำหนักสดพืชมีการเติบโตแตกต่างกัน ซึ่งในกรรมวิธีที่ได้รับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ค่า EC 2.0 - 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดต่ำกว่ากรรมวิธีอื่น อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารไม่เหมาะสม ส่งผลต่อกระบวนการลำเลียงน้ำซึ่งมีผลโดยตรงทำให้แรงดันเต่ง (turgor pressure) ภายในเซลล์พืชลดลง มีผลทำให้ขยายขนาดของเซลล์ได้น้อย พื้นที่ภายในเซลล์ที่ใช้สะสมสารที่เป็นของเหลวหรือน้ำลดลงทำให้น้ำหนักสดน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ นอกจากนั้นยังส่งผลต่อไปยังกลไกการเปิด-ปิด ปากใบ (Van Ieperen, 1996) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง ทั้งนี้ การลำเลียงน้ำและธาตุอาหารซึ่งมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในพืช โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นส่วนประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิก และฮอร์โมน ไซโตไคนิน ออกซิน มีบทบาทในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดเซลล์ (Sruamsiri, 2012) สอดคล้องกับงานทดลองของ Sonneveld and Voogt (2008) พบว่า น้ำหนักสดของลิลลี่ลดลง เมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีระดับความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น

ค่าการเปิดปากใบ การคายน้ำ การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการสังเคราะห์แสง

ในส่วนของค่าการเปิดปากใบ (stomatal conductance) พบว่า กรรมวิธีที่ได้รับสารละลายความเข้มข้น EC 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (Figure 2A) มีค่าสูง

ที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 1.0, 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ กรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากแรงดันเต่งในเซลล์พืชที่ลดลง ซึ่งพืชใช้เป็นกลไกหลักในการทำให้เกิดการเปิด-ปิดของเซลล์ปากใบ สอดคล้องกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ให้ค่าอัตราการคายน้ำ (transpiration rate) ต่ำที่สุด (Figure 2B) อาจเป็นผลมาจากที่กรรมวิธีที่ค่า EC สูง ส่งผลให้ปากใบเปิดได้ลดลงหรือใช้เวลานานขึ้น ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออัตราการคายน้ำของพืช สำหรับค่าการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (intercellular CO₂) พบว่า ที่ความเข้มข้นต่ำ EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ในส่วนค่าอัตราการสังเคราะห์แสง (Figure 2D) พบว่า กรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 1.0, 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.5

เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำที่สุด ทั้งนี้ ค่าการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ บ่งบอกถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในเซลล์พืช ซึ่งพืชจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อพืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์พืชจึงลดลง นอกจากนั้นผลของค่าการเปิดปากใบ การคายน้ำ และการสังเคราะห์แสง อาจเป็นผลเกี่ยวเนื่องจากแรงดันเต่งในเซลล์พืชซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อการขยายขนาดเซลล์ การเปิด-ปิดปากใบ การขนส่งในท่อลำเลียงน้ำและธาตุอาหาร การขนส่งผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ที่ลดลง (Taiz and Zeiger, 2002) ธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบของสารสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่งผลให้มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ต่ำ สอดคล้องกับอัตราการสังเคราะห์แสงในมะเขือเทศ (Van Ieperen, 1996) และผักกาดหอม (Albornoz *et al.*, 2014) ลดลงเมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีระดับความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น

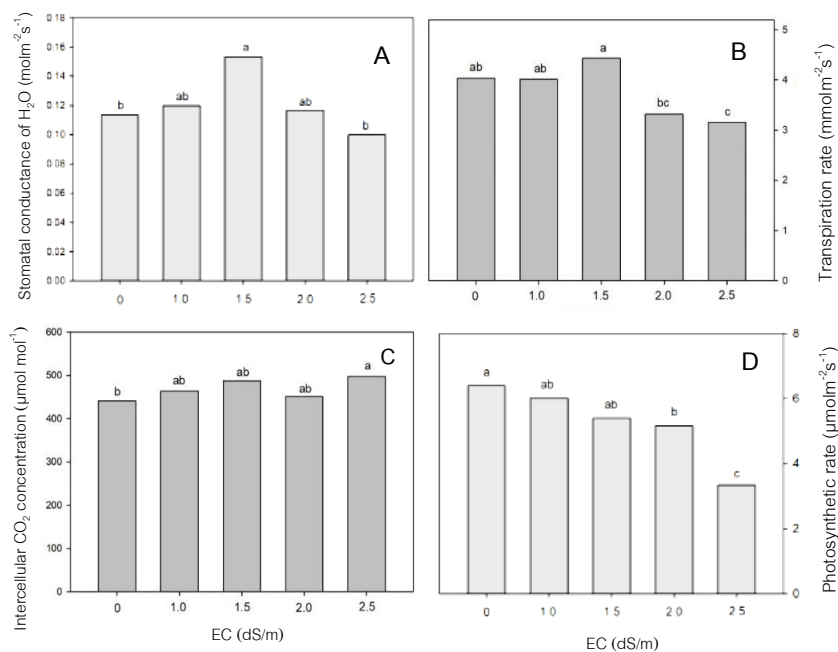


Figure 2. Effect of different electrical conductivity (EC) treatments on stomatal conductance (A), transpiration rate (B), intercellular CO₂ concentration (C) and photosynthetic rate (D) after 4 weeks of treatment

คุณภาพดอก

การให้สารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นแตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพดอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า การให้สารละลายธาตุอาหารที่ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ให้ค่าความยาวก้านดอกที่ต่ำที่สุด และรองลงมาคือกรรมวิธีที่ให้ค่า EC 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (28.5, 37.1 เซนติเมตร ตามลำดับ)(Table 2) สอดคล้องกับการทดลองของ Savvas *et al.* (2002) พบว่า ในเจอบีราเมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นสูงส่งผลให้ความยาวก้านดอกลดลงโดยทั่วไปแล้วการผลิตทิวลิปตัดดอกในเชิงการค้าก้านดอกควรยาวมากกว่า 30 เซนติเมตร ซึ่งจากการทดลองให้สารละลายธาตุอาหารที่ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้คุณภาพของทิวลิปไม่สามารถที่จำหน่ายได้นอกจากนี้ ในกรรมวิธีที่ค่า EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ให้ค่าความยาวก้านดอกสูงที่สุดและพบอาการก้านดอกหัก (stem topple)(Figure 3A) มีค่าเฉลี่ย 66.6 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของ Nelson and Niedziela (1998) พบว่า ทิวลิปที่ได้รับเพียงน้ำบริสุทธิ์ส่งผลให้

ก้านดอกยืดยาวและแสดงอาการก้านดอกหัก ซึ่งทิวลิปมีส่วนของใบที่เปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เป็นส่วนของสมอาหาร ทำให้สามารถเจริญเติบโตได้ในระยะแรก แม้ไม่ได้รับธาตุอาหารจากสารละลาย เมื่อมีการใช้ธาตุอาหารที่สะสมจนไม่เพียงพอจึงจะแสดงอาการผิดปกติ ซึ่งอาการก้านดอกหักอาจเกิดจากการปริมาณของแคลเซียมไม่เพียงพอในช่วงการยืดยาวอย่างรวดเร็วของเซลล์ก้านดอก ทำให้ชั้นของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ไม่สมบูรณ์สูญเสียความแข็งแรง จึงไม่สามารถรับน้ำหนักดอกได้เมื่อดอกบาน (De Hertogh, 1974) ในส่วนของอาการดอกแห้ง (Figure 3B) พบในกรรมวิธีที่ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ย 22.2 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่าพืชมีการดูดใช้น้ำและขนส่งธาตุอาหารลดลง ส่งผลให้ธาตุแคลเซียมไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถชักนำให้เกิดการอาการดอกแห้งได้ (Nelson and Niedziela, 1998) ซึ่งลักษณะที่ผิดปกติของทั้งสองอาการจะทำให้ผลผลิตไม่มีคุณภาพ ทำให้ไม่สามารถนำไปจำหน่ายเชิงการค้าได้

Table 2. Effect of different nutrient solution concentrations on flower quality parameters of tulips grown hydroponics at full flowering stage (4 weeks after planting)

EC levels (dS/m)	Flower quality							
	Days to flowering	Flower period	Flower width	Flower length	Stalk length	Stalk diameter	Flower abortion	Stem topple
	(day) ¹	(day) ¹	(mm) ¹	(cm) ¹	(cm) ¹	(mm) ¹	(%)	(%)
0	31.0	10.5 c	35.8 a	5.7 a	39.5 a	5.7	0	66.6
1.0	31.2	12.7 a	36.7 a	5.6 a	39.2 ab	5.6	0	0
1.5	31.2	13.0 a	34.5 ab	5.2 ab	38.1 ab	5.5	0	0
2.0	31.0	12.7 a	37.0 a	5.5 a	37.1 b	5.5	0	0
2.5	31.2	11.5 b	32.1 b	4.7 b	28.5 c	5.2	22.2	0
%CV	1.24	5.00	6.32	6.66	4.14	4.63	-	-
LSD _{0.05}	ns	*	*	*	*	ns	-	-

¹ Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test at $P \leq 0.05$

ns not significant



Figure 3. The characteristic of stem topple symptoms (A) and flower abortion symptoms (B) in tulip

ในด้านความกว้างและความสูงดอก พบว่าความเข้มข้นที่ระดับค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ยของความกว้างดอกและความสูงดอกน้อยที่สุด (37.0 มิลลิเมตร และ 5.5 เซนติเมตร ตามลำดับ) (Table 2) สอดคล้องกับรายงานของ De Hertogh (1974) การให้ปริมาณธาตุอาหารที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ความสูงต้นและขนาดดอกของเอสเตอร์ลิลลดลง และ Rouphael *et al.* (2008) รายงานว่า เจอรานิยมที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นสูงมีผลให้ขนาดดอกลดลง

ระยะเวลาบานดอก พบว่า กรรมวิธีที่ค่า EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีระยะเวลาบานดอกน้อยที่สุด (10.5 วัน) รองลงมาคือกรรมวิธีที่ให้ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (11.5 วัน) (Table 2) เนื่องมาจากเกิดความเสียหายจากอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เกิดจากปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช (Taiz and Zeiger, 2002) ด้วยที่กาบใบที่เป็นแหล่งสะสมอาหารอาจช่วยส่งเสริมการเจริญและพัฒนาของช่อดอกในระยะแรกได้และเมื่อปลูกเลี้ยงในสภาพความเข้มข้นสูงจึงจำกัดโดยการดูดใช้ธาตุอาหารที่ลดลงจากสภาวะเครียดของพืช (Van Ieperen, 1996) ส่งผลให้คุณภาพดอกและระยะเวลาในการบานดอกลดลง

คุณภาพหัวพันธุ์

ในส่วนของคุณภาพหัวพันธุ์ พบว่า ที่ระยะ 8 สัปดาห์หลังจากได้รับการกรูมวิธีทดลอง ทุกกรรมวิธีมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของหัวใหม่ต่อต้น ค่าเฉลี่ยเส้นรอบวงหัวใหม่ ค่าเฉลี่ยจำนวนใหม่ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเส้นรอบวงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.6 - 9.0 เซนติเมตร (Table 3) ในส่วนจำนวนหัวใหม่ มีค่าเฉลี่ย 4.5 - 5.5 หัวต่อต้น (Table 3) ส่วนน้ำหนักสดของหัวใหม่ต่อต้น มีค่าเฉลี่ย 33.9 - 39.9 กรัม (Table 3) โดยปกติการวัดคุณภาพของหัวพันธุ์ในเชิงการค้าสามารถวัดได้จากเส้นรอบวงหัวพันธุ์ ซึ่งมีขนาดอยู่ที่ 13 เซนติเมตรขึ้นไป จากการทดลองหัวพันธุ์ที่ได้ทุกกรรมวิธีมีขนาดค่อนข้างเล็ก ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมในโรงเรือนมีอุณหภูมิสูงเกินไปสำหรับการสร้างหัวอุณหภูมิที่สูงกว่า 20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง (Ruamrungsri, 2015) ทำให้การลำเลียงและสะสมอาหารไปเก็บไว้ที่หัวใหม่ยังไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ผลการทดลองทุกกรรมวิธีให้ผลไม่แตกต่างกัน ซึ่งอุณหภูมิต่ำช่วยให้การเสื่อมสภาพของเซลล์เกิดได้ช้า ทำให้การสร้างอาหารของใบและการสะสมอาหารของหัวใหม่มีระยะเวลายาวนาน จึงส่งผลต่อขนาดของหัวใหม่ (Khodorova and Boitel-Conti, 2013)

Table 3. Effect of different nutrient solution concentrations on bulb quality parameters of tulips grown hydroponically at 8 weeks after planting

EC levels (dS/m)	Bulbs quality		
	Bulb fresh weight (g) ¹	Bulb circumference (cm) ¹	Number of new bulbs per plant (bulb) ¹
0	37.0	8.6	5.3
1.0	34.6	8.8	4.5
1.5	37.3	8.8	4.5
2.0	33.9	8.7	5.0
2.5	39.9	9.0	5.5
%CV	23.43	6.61	26.47
LSD _{0.05}	ns	ns	ns

¹ Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test at $P \leq 0.05$

^{ns} not significant

สรุป

การให้สารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความนำไฟฟ้า หรือ EC 1.0 และ 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร สำหรับปลูกเลี้ยงทิวลิปในระบบไฮโดรพอนิกส์ในระบบการปลูกพืชในน้ำนิ่ง แบบเติมอากาศ (deep water culture) ในโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อม มีแนวโน้มทำให้ทิวลิปมีการเติบโตและคุณภาพดอกดีกว่ากรรมวิธีอื่น ส่วนการปลูกทิวลิปในน้ำปราศจากไอออน (DI water, EC = 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) พบว่า ทิวลิปสามารถเติบโตได้ แต่ให้คุณภาพดอกต่ำกว่า เนื่องมาจากเกิดความเสียหายจากการขาดธาตุอาหารส่งผลให้แสดงอาการก้านดอกล้ม สำหรับระดับของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าสูง EC 2.0 - 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีผลให้การเจริญเติบโตและคุณภาพดอกลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด สำหรับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัย และหัวพันธุ์ทิวลิปใช้ในการทดลอง และศูนย์บริการการพัฒนา

ขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่อันเนื่องมาจากพระราชดำริที่สนับสนุนสถานที่ทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Albornoz, F. , J. H. Lieth and J. A. González-Fuentes. 2014. Effect of different day and night nutrient solution concentrations on growth, photosynthesis, and leaf NO_3^- content of aeroponically grown lettuce. Chilean Journal of Agricultural Research 74(2): 240-245.
- De Hertogh, A. 1974. Principles for forcing tulips, hyacinths, daffodils, Easter lilies and Dutch irises. Scientia Horticulturae 2(4): 313-355.
- Dole, J. M. and H. F. Wilkins. 1999. Floriculture Principles and Species. 2nd ed. Prentice-Hall, New Jersey. 1048 p.
- Gorbe, E. and A. Calatayud. 2010. Optimization of nutrition in soilless systems: A Review. Advances in Botanical Research 53: 193-245.

- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The Water-Culture Method for Growing Plants Without Soil. Circular 347. California Agricultural Experiment Station, The College of Agriculture, University of California, Berkeley. 32 p.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology 24: 519-570.
- Ho, L.C. and P. Adams. 1995. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. Acta Horticulturae 396: 33-44.
- Klougart, A. 1980. Calcium uptake of tulips during forcing. Acta Horticulturae 109: 89-95.
- Lee, K.H. and J.-K. Suh. 2005. Effects of nutrient solution composition and plant growth retardants on growth and flowering in hydroponics of cut tulip. pp. 519-523. In: International Symposium on Flower Bulbs, Niigata.
- Le Nard, M. and A.A. De Hertogh. 1993. Tulipa. pp. 617-682. In: A.A. De Hertogh and M. Le Nard (eds.). The Physiology of Flower Bulbs. Elsevier, Amsterdam.
- Li, Y. L. and C. Stanghellini. 2001. Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. Scientia Horticulturae 89(1): 9-21.
- Maslanka, M. and A. Bach. 2014. Induction of bulb organogenesis in *in vitro* cultures of tarda tulip (*Tulipa tarda* Stapf.) from seed-derived explants. In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant 50(6): 712-721.
- Miller, W.B. 2002. A primer on hydroponic cut tulips. Greenhouse Product News 12(8): 8-12.
- Khodorova, N.V. and M. Boitel-Conti. 2013. The role of temperature in the growth and flowering of geophytes. Plants 2(4): 699-711.
- Nelson, P.V. and C.E. Niedziela Jr. 1998. Effects of calcium source and temperature regime on calcium deficiency during hydroponic forcing of tulip. Scientia Horticulturae 73(2-3): 137-150.
- Olympios, C.M. 1999. Overview of soilless culture: Advantages, constraints and perspectives for its use in Mediterranean countries. Cahiers Options Méditerranéennes 31: 307-324.
- Puripunyanich, V., A. Pagpianb and W. La-ongsri. 2019. First endeavour to produce Tulip bulbs in Thailand. pp. 356-362. In: Proceedings of the Burapha University International Conference 2019. Chonburi. (in Thai)
- Rouphael, Y., M. Cardarelli, E. Rea and G. Colla. 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. Scientia Horticulturae 118(4): 328-337.
- Royal FloraHolland. 2017. The value of cut flowers on Royal FloraHolland (Online). Available: <https://np-royalfloraholland-production.s3-eu-west-1.amazonaws.com/3-Financieel/Documenten/Jaarverslagen/royal-floraholland-annual-report-2017-EN.pdf> (December 1, 2021)
- Ruamrungsri, S. 2015. Physiology of Flowers Bulbs. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 276 p. (in Thai)
- Saloner, A. and N. Bernstein. 2020. Response of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.) to nitrogen supply under long photoperiod.

- Frontiers in Plant Science 11: 572293, doi: 10.3389/fpls.2020.572293.
- Samarakoon, U.C., P.A. Weerasinghe and W.A.P. Weerakkody. 2006. Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce. Tropical Agricultural Research 18: 13-21.
- Savvas, D. , G. Manos, A. Kotsiras and S. Souvaliotis. 2002. Effects of silicon and nutrient-induced salinity on yield, flower quality and nutrient uptake of gerbera grown in a closed hydroponic system. Journal of Applied Botany 76: 153-158.
- Sonneveld, C. and W. Voogt. 2008. Nutrient concentrations of plant tissues of greenhouse crops as affected by the EC of the external nutrient solution. Acta Horticulturae 779: 313-320.
- Sruamsiri, P. 2012. Mineral Nutrient in Horticultural Crop Production. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 326 p. (in Thai)
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. Plant Physiology, 3rd ed. Sinauer Associates, Sunderland Massachusetts. 623 p.
- Van Ieperen, W. 1996. Effects of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield and quality of tomato. Journal of Horticultural Science 71(1): 99-111.
-