

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสะสมไนเตรทของผักกาดหอมของฟาร์มไฮโดรโพนิกส์ที่ปลูกภายใต้โรงเรือนระบบปิดและระบบเปิด

Factors Affecting to Nitrate Accumulation in Lettuces of Hydroponically Farms Grown under Close and Open Greenhouses

นัจจักษ์ สุขสวัสดิ์^{1,2 *} และ ชัยสิทธิ์ แก้วจรรณู^{1,2}Najjapak Sooksawat^{1,2 *} and Chaiyasit Kaewcharoon^{1,2}

Received date: 25 ม.ค. 65 Revised date: 9 ส.ค. 66 Accepted date: 1 ก.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.11.22.009>

บทคัดย่อ

การสะสมไนเตรทในผักกาดทำให้เกิดอันตรายเมื่อบริโภคไนเตรทที่มากเกินไป งานวิจัยนี้ศึกษาการสะสมไนเตรทในผัก (กรีนโอ๊ค เรดโอ๊คและคอส) ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์ในโรงเรือนปิดและโรงเรือนเปิด ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยตรวจวัดค่าการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC), ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไนเตรทในน้ำปุ๋ย อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มแสง เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมไนเตรทของผัก ผลการทดลองพบว่า คอสอายุผัก 36 วันมีการสะสมไนเตรทมากที่สุดที่ 2,342.6 mg/kg FW ในโรงเรือนปิดช่วงฤดูร้อน รองลงมาคือเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค (1,985.6 และ 1,879.0 mg/kg FW, ตามลำดับ) ผลการศึกษาปัจจัยทางสภาวะการปลูกต่อการสะสมไนเตรทในผัก โดยใช้การวิเคราะห์วิธีเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นตอน พบว่า ในฤดูหนาว ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมไนเตรทในกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และคอส คือ วันที่เก็บวิเคราะห์ตัวอย่าง อายุผัก ค่า pH ระบบโรงเรือน ค่า EC และน้ำหนักผักสด โดยสมการสามารถพยากรณ์การสะสมไนเตรทในผักทั้งสามชนิดได้ถูกต้องร้อยละ 80, 89 และ 77 ตามลำดับ ส่วนในฤดูร้อน ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมไนเตรทในคอส คือ ความชื้นอากาศและค่า pH ในน้ำปุ๋ย สมการสามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องร้อยละ 70 สรุปได้ว่าการปรับค่า pH (5.5-7.0) การให้ความชื้นอากาศที่เหมาะสม (63-74%) และการลดการให้ปุ๋ยลงในช่วง 1 สัปดาห์ก่อนการเก็บเกี่ยว ช่วยลดการสะสมไนเตรทในผักสลัดได้

คำสำคัญ: การสะสมไนเตรท กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค คอส ไฮโดรโพนิกส์

Abstract

Leaf vegetables can accumulate nitrate. Too much nitrate consumption is harmful to human. The objective of this research is to study nitrate accumulation in three salad vegetable varieties; green oak, red oak and cos, in hydroponic farms under close and open systems during winter and summer. Solution fertilizer factors; electrical conductivity (EC), pH and nitrate concentration in fertilizer were examined and weather condition factors; temperature, humidity and light intensity were recorded. The result shows that 36-day cos had a highest nitrate accumulation of 2,342.6 mg/kg FW under close system in summer and red oak and green oak in open system in summer (1,985.6 and 1,879.0 mg/kg FW, respectively). Factors affecting nitrate accumulation in vegetables were analyzed by using stepwise regression analysis. In winter, the factors affecting nitrate accumulation in green oak, red oak and cos were sample collecting date, age, pH, greenhouse system, fresh weight and EC value. The stepwise equations were able to predict nitrate accumulation in green oak, red oak, and cos correctly 80, 89 and 77%, respectively. In summer, the factors affecting nitrate accumulation in green oak are humidity and pH value. The equations can predict as correctly as 70%. In conclusion, adjustment of pH (5.5-7.0), humidity (63-74%), and decrease of adding fertilizer on a-week pre-harvesting period could reduce nitrate accumulation in vegetables.

Keywords: nitrate accumulation, green oak, red oak, cos, hydroponics

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี 20110

² ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเครื่องจักรกลเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี 20110

¹ Department of Agricultural Engineering and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi 20110

² Center of Excellence in Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, 20110

* Corresponding Author: Email najjapak_so@rmutto.ac.th, najjapak@gmail.com

คำนำ

ผัก เนื้อสัตว์และน้ำ เป็นแหล่งสะสมของไนเตรทโดยส่วนใหญ่ ผักโดยทั่วไปให้ปริมาณไนเตรท 300-940 mg/g ของหน่วยบริโภคต่อวัน ผักสดมีไนเตรท 1-2 mg/kg โดยน้ำหนัก แต่พบไนเตรทเพิ่มสูงขึ้นได้จากการปนเปื้อนและการซ้ำของผักที่เกิดความเสียหายระหว่างการเก็บรักษาหลายวันที่อุณหภูมิห้อง (Walker, 1990; Santamaria, 2006) การได้รับไนเตรทจากผักในชาวยุโรป ละตินอเมริกา เอเชีย ตะวันออกไกล และแอฟริกา สูงอยู่ในช่วง 300-900 mg/g (Harrison, 2004) ซึ่งมากกว่าค่าระดับที่ยอมรับได้ต่อวัน (Acceptable Daily Intake, ADI) ซึ่งอยู่ในช่วง 100-700 mg/g สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 60 kg ผักเป็นแหล่งสะสมของไนเตรท และมนุษย์บริโภคไนเตรทจากผักเป็นปริมาณสูงถึง 72%-94% (Walker, 1990) โดยทั่วไปไนเตรทไม่มีความเป็นพิษแต่ถ้าหากเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ในร่างกาย ซึ่งจะสามารถทำปฏิกิริยากับ amines และ amides จะให้สารประกอบ N-nitroso compound ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งมาจากการยับยั้งการดูดซึมไอโอดีน (Tonacchera et al., 2004) และยังทำให้เกิดโรค Methaemoglobinaemia ซึ่งทำให้มีอาการตัวเขียวเนื่องจากการขาดออกซิเจน (Vermeer et al., 1998) ผักใบสามารถมีไนเตรทสะสมได้สูงมากกว่า 5,000 mg/kg (Feng, 2006) แต่อย่างไรก็ตามความเป็นพิษเฉียบพลันเมื่อรับไนเตรททางการบริโภคนั้นค่อนข้างต่ำ ปริมาณที่เป็นพิษในมนุษย์ถึงขั้นเสียชีวิตนั้นอยู่ที่ 330 mg/kg ของน้ำหนักร่างกาย (European Union Scientific Panel, 2008)

ปัจจุบันการปลูกผักนั้น มีทั้งการปลูกในดิน และการปลูกไร้ดิน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เป็นชุมชนเมืองมากขึ้น พื้นที่การเพาะปลูกด้วยดินน้อยลง การปลูกผักไร้ดินจึงได้รับความสนใจมากขึ้นในเขตชุมชนเมือง จากการศึกษาของ Phupai et al. (2009) พบว่าตัวอย่างผักกาดหอมที่สุ่มจากท้องตลาดและมีระบบการปลูกผักที่แตกต่างกัน คือ การปลูกผักแบบดั้งเดิม การปลูกผักปลอดสารพิษ การปลูกผักด้วยปุ๋ยอินทรีย์ และการปลูกผักไร้ดิน ทำให้มีไนเตรทตกค้างในผักที่แตกต่างกัน Jarsaing (2012) พบว่าผักสลัด (Green oak) ที่ปลูกในระบบไร้ดินมีไนเตรทตกค้างน้อยกว่าผักสลัดที่ปลูกในดินต่างชนิดกัน งานวิจัยของ Phasuk et al. (2019) พบว่า เรดโอ๊คมีการสะสมไนเตรทในปริมาณที่สูงได้ถึง 162.3 g/kg ซึ่งสูงกว่าคอส กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด และเรดคอรัล ในการปลูกระบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT) 5 สัปดาห์หลังการย้ายอนุบาล ทั้งนี้ในปัจจุบันมีการทำฟาร์มไฮโดรโพนิกส์ที่มีทั้งระบบโรงเรือนแบบปิด และระบบโรงเรือนเปิดกลางแจ้ง มีทั้งระบบ Nutrient film technique (NFT) และ DRFT ซึ่งได้รับความนิยมในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก

โดยทั่วไป ผักผักที่สะสมไนเตรท จัดอยู่ในกลุ่ม Brassicaceae (rocket, radish, mustard), Chenopodiaceae (beetroot, swiss chard, spinach), Amarantaceae, Asteraceae (lettuce) และ Apiaceae (celery, parsley) การสะสมปริมาณไนเตรทที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งของเอนไซม์ nitrate reductase ในพืชผักและรวมถึงความสามารถในการดูดซึมไนเตรท และขนส่งในต้นพืช (Maynard & Barker, 1979) ผักกรีนโอ๊ค เรดโอ๊คและคอสจัดอยู่ในกลุ่ม lettuce ซึ่งเป็นผักใบที่มีการสะสมไนเตรท การปลูกผักแบบไฮโดรโพนิกส์ทางการค้าเน้นใช้ปุ๋ยเคมีละลายลงในน้ำด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกันเพื่อปลูกผักในระยะที่แตกต่างกันตั้งแต่ต้นอ่อนไปจนถึงต้นผักที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ ระบบโรงเรือนและสภาวะการปลูกที่แตกต่างกัน รวมไปถึงชนิดพันธุ์ผัก (vegetable variety) ที่แตกต่างกัน อาจส่งผลต่อการสะสมไนเตรทที่แตกต่างกันด้วย ทั้งนี้ทางผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปริมาณไนเตรทที่สะสมในช่วงการเจริญเติบโตของผักที่ปลูกไฮโดรโพนิกส์จนกระทั่งถึงช่วงการเก็บเกี่ยวสู่ผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผักสลัดซึ่งเป็นผักใบที่มีการสะสมไนเตรทสูง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการให้ปุ๋ยและการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมต่อการปลูกผักแต่ละชนิด และเพิ่มความปลอดภัยทางอาหารสู่ผู้บริโภคต่อไป

วิธีการศึกษา

การปลูกผักสลัด

เมล็ดผักกรีนโอ๊ค (*Lettuca sativa* var. *crispa* L.) เรดโอ๊ค (*Lettuca sativa* var. *crispa* L.) และคอส (*Lettuca sativa* var. *longifolia*) ชนิดที่ไม่เคลือบเมล็ดแบบเดียวกัน ถูกนำมาเพาะแล้วปลูกในโรงเรือนปิดและโรงเรือนเปิดในฤดูหนาวตั้งแต่เดือนธันวาคม 2561 ถึงมกราคม 2562 และฤดูร้อนตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเมษายน 2562 ฟาร์มทั้งสองระบบไม่มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชทางเคมี ฟาร์มผู้ประกอบการผักไฮโดรโพนิกส์ ตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี มีโรงเรือนแบบเปิดโล่ง มีระบบราง DRFT และระบบราง NFT ที่มีการติดตั้งการพ่นหมอก ส่วนฟาร์มโรงเรือนปิด ณ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี มีการปลูกด้วยระบบราง NFT ที่มีการติดตั้งการพ่นหมอกและพัดลมระบายอากาศภายในโรงเรือน ในโรงเรือนปิด ทำการเพาะเมล็ดผัก เมื่อเมล็ดผักงอกและเริ่มมีใบเป็นเวลาอายุผัก 7-10 วันจึงย้ายไปปลูกในรางระบบ NFT และเริ่มให้ปุ๋ยน้ำเคมี (A และ B) โดยมีค่า EC ประมาณ 1.0-1.8 mS/cm² เป็นเวลาประมาณ 6 สัปดาห์ (อายุผัก 42-46 วัน) ส่วนในโรงเรือนเปิด เมื่อเพาะเมล็ดเป็นระยะเวลา

1-2 สัปดาห์ จึงย้ายต้นกล้าผักไปปลูกในรางอนุบาลระบบ DRFT โดยให้ปุ๋ยน้ำเคมีที่ค่า EC ประมาณ 1.0-1.4 mS/cm² เป็นระยะเวลา 2-3 สัปดาห์ ต่อมาย้ายไปลงรางระบบ DRFT อีกครั้งแต่เป็นรางที่มีระยะห่างของหลุมมากขึ้น ให้ปุ๋ยที่ EC ประมาณ 1.4-1.8 mS/cm² อีกประมาณ 2 สัปดาห์ จากนั้นย้ายไปลงเพาะปลูกในระบบ NFT ในสองสัปดาห์สุดท้าย

การเตรียมตัวอย่าง

ตัดส่วนต้นและราก นำตัวอย่างผักที่ซังน้ำหนักแล้วไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ซับด้วยกระดาษ แล้วนำตัวอย่างไปอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างมาซังเพื่อหาน้ำหนักแห้ง แล้วบดตัวอย่างผักด้วยเครื่องบด กรองผ่านตะแกรงขนาด 1.4 mm จากนั้นนำผักที่บดแล้วไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท โดยการสกัดตัวอย่างผักที่บด 0.2 g ด้วยน้ำกลั่น 20 ml จำนวน 8 ซ้ำ เขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ความเร็วรอบ 180 rpm เวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายที่สกัดได้ไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,000 rpm เวลา 20 นาที จำนวน 2 รอบ แล้วนำส่วนใสมาวิเคราะห์ค่าไนเตรท (Phimsirikul, 2004)

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดปริมาณไอออนไนเตรท (Hanna Instrument, USA) โดยทำการวิเคราะห์ไนเตรทในตัวอย่าง โดยดูดสารสกัดตัวอย่าง 10 ml จำนวน 8 ซ้ำ มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดปริมาณไอออนไนเตรท (Hanna, USA) ทำการเทียบกับสารละลายมาตรฐานไนเตรทความเข้มข้น 10, 100 และ 1,000 mg/L ก่อนการหาปริมาณไนเตรทในสารสกัดตัวอย่าง หลังจากนั้นคำนวณปริมาณการสะสมไนเตรทในผักที่ศึกษา (Phupaibul et al., 2009)

การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบค่าการสะสมของไนเตรทในผักสลัดทั้ง 3 ชนิด และหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ค่า EC pH และค่าไนเตรทในน้ำปุ๋ย อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นของอากาศ และความเข้มแสง ในช่วงเช้าของทุก 3-4 วัน ในระยะปลูกสองสัปดาห์ ก่อนการเก็บเกี่ยว ช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน ทั้งในโรงเรือนปิดและโรงเรือนเปิดกลางแจ้ง โดยใช้การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วย One-Way ANOVA และ Tukey HSD test จากโปรแกรม SPSS ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ($P < 0.05$) และวิเคราะห์ตัวแปรอิสระในการพยากรณ์สภาวะการปลูกต่อไนเตรทที่สะสมในผัก โดยใช้การวิเคราะห์ Stepwise Regression ในโปรแกรม SPSS ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโตและการสะสมไนเตรทในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และคอส

จากผลการทดลอง (Table 1) พบว่าผักกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และคอสในโรงเรือนปิดช่วงฤดูหนาวเมื่ออายุผัก 35, 39 และ 42 วันมีน้ำหนักสดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ANOVA, $P < 0.05$) แต่เมื่อมีอายุผัก 46 วัน น้ำหนักผักทั้งสามชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น (กรีน โอ๊ค 78.8 g, เรดโอ๊ค 64.2 g และคอส 139.1 g) ซึ่งแสดงถึงผักทั้งสามชนิดมีการเจริญเติบโตเมื่อเทียบกับอายุผัก 35 วัน (13.2, 19.7 และ 21.2 g ตามลำดับ) โดยผักคอสให้น้ำหนักสดมากกว่าเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค ส่วนการสะสมไนเตรทในเรดโอ๊คมีค่าสูงที่สุดในอายุผัก 39 วันอยู่ที่ 1,075.2 mg/kg FW และเมื่อให้ปุ๋ยลดลงในวันที่อายุผัก 39 วัน พบว่าเรดโอ๊คสะสมไนเตรทน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ (952.6 และ 864.1 mg/kg FW ตามลำดับ, Table 1, $P < 0.05$) โดยสภาวะน้ำปุ๋ยมีค่า pH ที่ต่ำลงและค่า EC ที่ลดลง หลังจากลดการให้ปุ๋ยลงเมื่ออายุผัก 39 วัน พบว่าคอสอายุผัก 46 วัน สะสมไนเตรทน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ (930.3 mg/kg FW, Table 1, $P < 0.05$) ในขณะที่ผักกรีนโอ๊คมีการสะสมไนเตรทเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (1,144.70 mg/kg FW, Table 1) ซึ่งอาจสัมพันธ์กับน้ำหนักของกรีนโอ๊คที่เพิ่มขึ้นด้วย (Table 1, $P < 0.05$) การลดการให้ปุ๋ยในวันที่อายุผัก 39 วัน (1 สัปดาห์ก่อนเก็บเกี่ยว) เมื่อเรดโอ๊คมีน้ำหนัก 39-41 g และคอสมีน้ำหนัก 46-55 g อาจทำให้ค่า EC และค่าไนเตรทในน้ำปุ๋ยลดลงอย่างสัมพันธ์กัน และช่วยลดการสะสมไนเตรทในเรดโอ๊คและคอสลงได้ในช่วงเก็บเกี่ยว

Table 1 Weight and nitrate accumulation in three vegetables and environmental factors under close system of greenhouse in winter

Parameter		Day			
		35	39	42	46
Fresh weight (g)	Green oak	13.18±4.20 ^a	38.77±18.09 ^a	30.09±8.23 ^a	78.81±38.39 ^b
	Red oak	19.65±7.33 ^a	40.52±14.13 ^{ab}	39.15±15.95 ^{ab}	64.16±24.64 ^b
	Cos	21.23±9.67 ^a	55.00±41.84 ^a	46.22±31.54 ^a	139.08±26.69 ^b
Nitrate accumulation (mg/kg FW)	Green oak	669.89±80.43 ^a	686.92±67.75 ^a	834.45±52.27 ^b	1144.70±96.33 ^c
	Red oak	904.80±54.96 ^{ab}	1075.21±76.35 ^c	952.57±59.69 ^b	864.08±27.72 ^a
	Cos	751.50±64.33 ^a	798.72±34.96 ^a	1323.23±61.89 ^c	930.30±50.07 ^b
EC (mS/cm ²)		1.37±0.00 ^c	1.44±0.01 ^d	0.37±0.01 ^b	0.20±0.00 ^a
pH		6.31±0.08 ^c	6.07±0.06 ^{bc}	5.95±0.15 ^b	5.67±0.09 ^a
Nitrate (mg/L)		64.17±5.44 ^c	64.23±3.35 ^c	11.70±1.51 ^b	2.85±0.71 ^a

a-d represents significant difference using statistical analysis with One-Way ANOVA and post-hoc Tukey HSD test at significant level of 95% when comparing among four vegetable ages (35, 39, 42 and 46 days)

ผักสลัดทั้งสามชนิดในโรงเรือนเปิดช่วงฤดูหนาวมีการเจริญเติบโตในช่วง 40 ถึง 51 วัน โดยมีน้ำหนักผักสดที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Table 2, $P < 0.05$) ในช่วงอายุผักที่ใกล้เคียงกัน ผักกรีนโอ๊คที่ปลูกในโรงเรือนปิด (46 วัน, 78.8 g) มีน้ำหนักมากกว่า ผักกรีนโอ๊คที่ปลูกในโรงเรือนเปิด (47 วัน, 31.9 g) ในทำนองเดียวกับผักเรดโอ๊ค (โรงเรือนปิด 46 วัน, 64.2 g และโรงเรือนเปิด 47 วัน, 25.0 g) และคอส (โรงเรือนปิด 46 วัน, 139.1 g และโรงเรือนเปิด 47 วัน, 34.9 g) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะอากาศและสารละลายปลูกซึ่งอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมไนเตรทของผักสลัดทั้งสามชนิด นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์การสะสมไนเตรทในผักสลัดทั้งสามชนิดในโรงเรือนเปิดช่วงฤดูหนาว พบว่ามีการสะสมไนเตรทเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออายุผักมากขึ้น (Table 2)

Table 2 Weight and nitrate accumulation in three vegetables and environmental factors in open system of greenhouse in winter

Parameter		Day			
		40	44	47	51
Fresh weight (g)	Green oak	12.83±2.74 ^a	23.38±4.19 ^b	31.93±6.07 ^b	44.96±8.89 ^c
	Red oak	10.63±4.18 ^a	21.47±5.71 ^{ab}	24.98±9.40 ^{bc}	35.07±10.57 ^c
	Cos	13.42±4.26 ^a	23.20±9.02 ^{ab}	34.89±5.90 ^{bc}	40.62±10.35 ^c
Nitrate accumulation (mg/kg FW)	Green oak	624.93±16.68 ^a	687.35±53.93 ^a	1094.48±88.25 ^b	1081.40±83.64 ^b
	Red oak	750.13±20.26 ^a	1006.32±58.55 ^b	1082.88±85.65 ^b	1295.61±63.10 ^c
	Cos	806.26±22.48 ^a	990.13±115.64 ^b	1020.25±35.61 ^b	1199.24±101.41 ^c
EC (mS/cm ²)		1.63±0.00 ^d	1.54±0.00 ^c	1.35±0.00 ^b	1.32±0.00 ^a
pH		6.53±0.04 ^a	6.80±0.05 ^b	7.04±0.03 ^c	7.19±0.04 ^d
Nitrate (mg/L)		145.00±7.81 ^c	112.33±2.52 ^{bc}	73.00±14.62 ^a	79.93±20.00 ^{ab}

a-c represents significant difference using statistical analysis with One-Way ANOVA and post-hoc Tukey HSD test at significant level of 95% when comparing among four vegetable ages (40, 44, 47 and 51 days)

ผักสลัดทั้งสามชนิดในโรงเรือนปิดช่วงฤดูร้อนมีน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นเมื่ออายุผักมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ผักคอสมีน้ำหนักสดมากที่สุด 148.4 g รองลงมาเป็นกรีนโอ๊ค (76.3 g) และเรดโอ๊ค (42.8 g) ตามลำดับที่อายุผัก 43 วัน ที่อายุผักใกล้เคียงกันการปลูกในโรงเรือนปิดช่วงฤดูหนาวให้น้ำหนักผักสดของผักทั้งสามชนิด (กรีนโอ๊ค 30.1 g, เรดโอ๊ค 39.2 g และคอส 46.2 g ที่อายุผัก 42 วัน, Table 1) น้อยกว่าการปลูกในช่วงฤดูร้อน (กรีนโอ๊ค 76.3 g, เรดโอ๊ค 42.8 g และคอส 148.4 g ที่อายุผัก 43 วัน, Table 3) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสภาวะแวดล้อมทั้งทางน้ำปุ๋ยและอากาศที่แตกต่างกันในสองฤดูกาล นอกจากนี้ยังพบว่าค่าไนเตรทใน

น้ำปุ๋ยของโรงเรือนปิดช่วงฤดูร้อน (104.7-125.3 mg/L, Table 3) มีค่ามากกว่าช่วงฤดูหนาว (2.9-64.2 mg/L, Table 1) ซึ่งอาจส่งผลให้การสะสมไนเตรทในผักสลัดทั้งสามชนิดในช่วงฤดูร้อนมากกว่าช่วงฤดูหนาวเมื่อเปรียบเทียบที่ช่วงอายุผักใกล้เคียงกัน (42-43 วัน) การสะสมไนเตรทในผักสลัดทั้งสามชนิด (กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และคอส) ที่อายุผัก 42 วัน ช่วงฤดูหนาวและอายุผัก 43 วันช่วงฤดูร้อน คอสที่ปลูกในช่วงฤดูร้อนมีการสะสมไนเตรท (2,121.8-2,342.6 mg/kg FW, Table 3) มากที่สุดและมากกว่าผักเรดโอ๊ค และกรีนโอ๊ค (1,550.7-1,863.5 และ 1,314.1-1,778.3 mg/kg FW ตามลำดับ, Table 3)

Table 3 Weight and nitrate accumulation in three vegetables and environmental factors under close system of greenhouse in summer

Parameter		Day			
		33	36	40	43
Fresh weight (g)	Green oak	50.12±8.78 ^a	62.28±18.03 ^{ab}	60.89±25.32 ^{ab}	76.30±14.16 ^b
	Red oak	32.94±7.18 ^a	47.89±7.93 ^b	60.04±10.21 ^c	42.75±8.98 ^{ab}
	Cos	70.85±9.01 ^a	84.05±21.89 ^{ab}	110.08±28.02 ^b	148.43±18.03 ^c
Nitrate accumulation (mg/kg FW)	Green oak	1553.59±137.77 ^b	1494.59±175.74 ^{ab}	1778.34±212.42 ^c	1314.14±82.67 ^a
	Red oak	1738.07±214.92 ^{ab}	1863.50±82.57 ^b	1550.69±149.02 ^a	1700.12±194.10 ^{ab}
	Cos	2219.64±80.75 ^{ab}	2342.63±187.55 ^b	2240.46±172.86 ^{ab}	2121.83±64.90 ^a
EC (mS/cm²)		1.36±0.01 ^c	1.06±0.01 ^a	1.29±0.00 ^b	1.30±0.00 ^b
pH		7.36±0.14	7.07±0.34	7.31±0.09	7.37±0.04
Nitrate (mg/L)		105.63±25.06	104.67±4.62	125.33±9.29	109.33±4.04

a-c represents significant difference using statistical analysis with One-Way ANOVA and post-hoc Tukey HSD test at significant level of 95% when comparing among four vegetable ages (33, 36, 40 and 43 days)

ผักสลัดทั้งสามชนิดในโรงเรือนเปิดช่วงฤดูร้อนมีน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นเมื่ออายุผักมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ผักคอสมีน้ำหนักสดมากที่สุด 58.8 g รองลงมาเป็นกรีนโอ๊ค (37.2 g) และเรดโอ๊ค (30.9 g) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผักสลัดที่ปลูกในโรงเรือนเปิดช่วงฤดูร้อน (Table 4) และช่วงฤดูหนาว (Table 2) พบว่าน้ำหนักผักสดของผักสลัดทั้งสามชนิดที่อายุผัก 47 วันใกล้เคียงกัน (Table 2 และ 4) โดยผักคอสมีน้ำหนักสดมากที่สุด รองลงมาเป็นกรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม การสะสมไนเตรทในผักที่ปลูกช่วงฤดูหนาวอายุผัก 50-51 วันมีค่าน้อยกว่า (1,020.3-1,094.5 mg/kg FW, Table 2) ในฤดูร้อน (1,723.2-1,847.1 mg/kg FW, Table 4)

Table 4 Weight and nitrate accumulation in three vegetables and environmental factors in open system of greenhouse in summer

Parameter		Day			
		40	43	47	50
Fresh weight (g)	Green oak	10.31±3.95 ^a	16.80±6.39 ^a	30.05±9.46 ^b	37.22±7.32 ^b
	Red oak	19.40±7.35 ^a	21.75±6.87 ^a	26.37±3.86 ^{ab}	30.90±4.53 ^b
	Cos	16.83±6.41 ^a	27.61±9.96 ^{ab}	41.85±11.61 ^{bc}	58.84±15.13 ^c
Nitrate accumulation (mg/kg FW)	Green oak	1879.04±238.93 ^c	894.32±36.88 ^a	1619.39±84.81 ^b	1847.09±175.88 ^c
	Red oak	1985.64±137.94 ^d	977.56±38.50 ^a	1296.63±108.41 ^b	1800.50±99.48 ^c
	Cos	1982.57±214.44 ^d	571.18±27.06 ^a	792.29±85.70 ^b	1723.15±74.54 ^c
EC (mS/cm²)		1.49±0.00 ^a	1.50±0.00 ^a	1.71±0.03 ^b	1.68±0.00 ^b
pH		6.27±0.02 ^a	6.74±0.02 ^d	6.53±0.01 ^c	6.47±0.03 ^b
Nitrate (mg/L)		142.67±2.08 ^{bc}	114.00±3.61 ^a	161.00±14.73 ^c	132.33±5.03 ^{ab}

a-c represents significant difference using statistical analysis with One-Way ANOVA and post-hoc Tukey HSD test at significant level of 95% when comparing among four vegetable ages (40, 43, 47 and 50 days)

ปัจจัยทางสภาวะน้ำปุ๋ยต่อการสะสมไนเตรทในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และคอสในฤดูหนาว

เมื่อทำการเก็บข้อมูล EC pH และไนเตรทในน้ำปุ๋ยในโรงเรือนปิดช่วงฤดูหนาว (Figure 1a) พบว่า ช่วงอายุผัก 33-39 วัน มีการให้ปุ๋ยและค่า EC อยู่ในช่วง 0.8-1.6 mS/cm² และเมื่อทำการลดการให้ปุ๋ยในผักอายุ 39 วัน พบว่าค่า EC ลดลงอยู่ในช่วง 0.2-0.5 mS/cm² (Figure 1a) ซึ่งค่าไนเตรทในน้ำปุ๋ยมีแนวโน้มลดลงเช่นกันจากช่วงอายุผัก 33-40 วัน มีค่าไนเตรทในน้ำปุ๋ยอยู่ในช่วง 64.17-64.23 mg/L และเมื่อทำการลดการให้ปุ๋ยในผักอายุ 39 วัน พบว่าค่าไนเตรทในน้ำปุ๋ยลดลงอยู่ในช่วง 2.85-11.70 mg/L ทั้งนี้มีค่า pH อยู่ในช่วง 5.5-7.0 ในช่วงผักอายุ 33-47 วัน (Figure 1a)

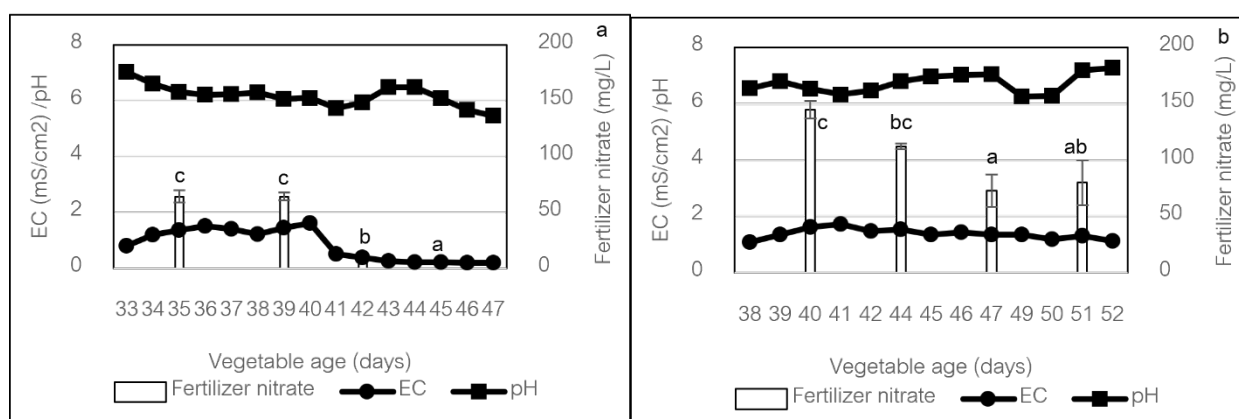


Figure 1 Environmental factors in solution fertiliser; a) in close greenhouse, and b) in open greenhouse, during winter (a-c represents significant difference using statistical analysis with One-Way ANOVA and post-hoc Tukey HSD test at significant level of 95% when comparing among four vegetable ages, in close greenhouse; 35, 39, 42 and 46 days, and in open-air greenhouse; 40, 44, 47 and 51 days)

ในโรงเรือนเปิดช่วงฤดูหนาวไม่มีการลดการให้ปุ๋ยและมีสภาวะน้ำปุ๋ย ได้แก่ ค่า EC อยู่ในช่วง 1.1-1.7 mS/cm² ค่าไนเตรทในน้ำปุ๋ยอยู่ในช่วง 73.0-145.0 mg/L และมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.3-7.3 (Figure 1b) การเจริญเติบโตและการสะสมไนเตรทของผักทั้งสามชนิดขึ้นอยู่ค่า pH ที่สูง ซึ่งอาจส่งผลต่อการละลายธาตุอาหารในน้ำปุ๋ยที่ลดลง (Jarsaing, 2012) ทำให้ค่า EC และค่าไนเตรทในน้ำปุ๋ยลดลงด้วย ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า pH ที่สูง (6.3-7.3) อาจทำให้ลดการละลายธาตุอาหาร ทำให้ผักมีการดูดซึมน้ำและสะสมไนเตรทที่มากขึ้นผ่านราก ดังนั้นแนวทางการลดการสะสมไนเตรทในผักอาจทำได้โดยการปรับ pH ให้ลดลงอยู่ในช่วง 5.5-7.0 (Figure 1a) เพื่อให้ค่า EC และค่าไนเตรทในน้ำปุ๋ยสูงขึ้น สำหรับการดูดซึมนิเตรทไปใช้

ปัจจัยทางสภาวะน้ำปุ๋ยและสภาวะทางอากาศต่อการสะสมไนเตรทในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และคอสในฤดูร้อน

เมื่อทำการเก็บข้อมูลสภาวะทางน้ำปุ๋ย ได้แก่ EC pH และไนเตรทในน้ำปุ๋ยในโรงเรือนปิดช่วงฤดูร้อน ในเวลา 11.00 น. (Figure 2a) พบว่า ช่วงอายุผัก 33-43 วัน มีการให้ปุ๋ยและค่า EC อยู่ในช่วง 1.0-1.4 mS/cm² (Figure 2a, Table 3) มีค่า pH อยู่ในช่วง 7.1-7.7 และมีค่าไนเตรทในน้ำปุ๋ยอยู่ในช่วง 104.7-125.3 mg/L เมื่อทำการเก็บข้อมูลสภาวะทางอากาศ ได้แก่ ความชื้นอากาศ อุณหภูมิ และความเข้มแสง พบว่า ช่วงอายุผัก 33-43 วัน มีค่าความชื้นอากาศอยู่ในช่วง 33.0-50.0% (Figure 2b) มีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 34.3-43.6 °C และมีค่าความเข้มแสงอยู่ในช่วง 8,800-34,167 lux

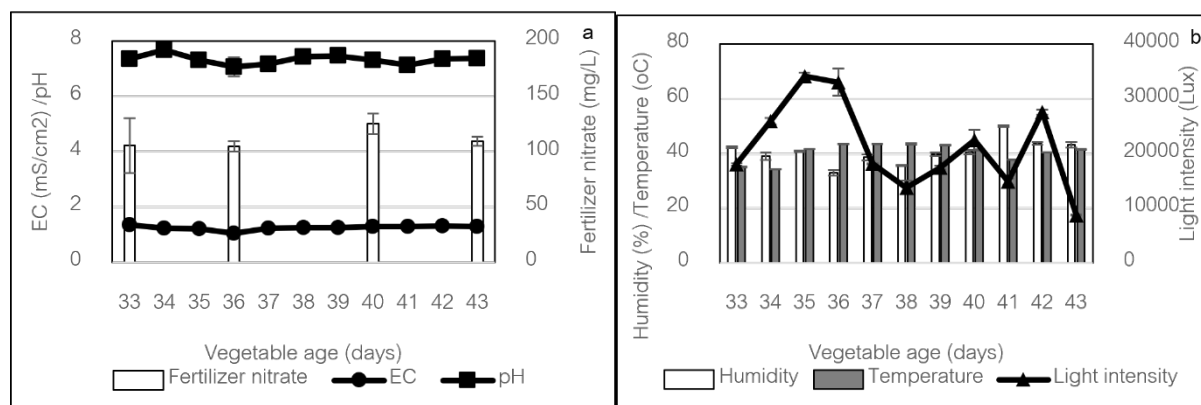


Figure 2 Environmental factors; a) in solution fertiliser, and b) in air condition, in close greenhouse in summer

ช่วงฤดูร้อนผักสลัดที่ปลูกในโรงเรือนเปิดต้องใช้เวลาในการเจริญเติบโต (50 วัน, Table 4) นานกว่าการปลูกในโรงเรือนปิด (33 วัน, Table 3) เมื่อพิจารณาน้ำหนักผักสดที่ใกล้เคียงกัน เมื่อทำการเก็บข้อมูลสถานะทางน้ำปุ๋ย (Figure 3a) ได้แก่ EC pH และไนเตรทในน้ำปุ๋ยในโรงเรือนเปิดช่วงฤดูร้อน ในเวลา 8.00 น. พบว่า ช่วงอายุผัก 40-50 วัน มีการให้ปุ๋ยและค่า EC อยู่ในช่วง 1.3-1.7 mS/cm² (Figure 3a) มีค่า pH อยู่ในช่วง 5.8-6.7 และมีค่าไนเตรทในน้ำปุ๋ยอยู่ในช่วง 114.0-161.0 mg/L และเมื่อทำการเก็บข้อมูลสถานะทางอากาศ (Figure 3b) พบว่า ช่วงอายุผัก 40-50 วัน มีค่าความชื้นอากาศอยู่ในช่วง 63.0-74.3% (Figure 3b) มีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 31.4-35.5 °C และมีค่าความเข้มแสงอยู่ในช่วง 10,766-14,320 lux ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการปลูกในโรงเรือนทั้งสองแหล่งมีปัจจัยทางสถานะน้ำปุ๋ยและปัจจัยทางอากาศที่แตกต่างกันซึ่งในวันที่ผักอายุ 43 วันมีสถานะอากาศความชื้นสูงและค่าไนเตรทในน้ำปุ๋ยน้อย

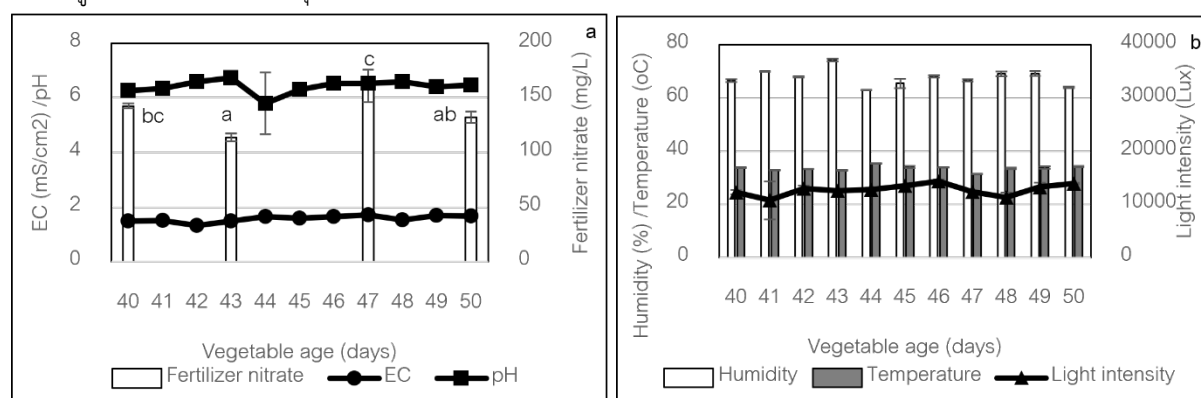


Figure 3 Environmental factors; a) in solution fertiliser, and b) in air condition, in open greenhouse in summer (a-c represents significant difference using statistical analysis with One-Way ANOVA and post-hoc Tukey HSD test at significant level of 95% when comparing among four vegetable ages in open-air greenhouse; 40, 43, 47 and 50 days)

จากการวิเคราะห์ตัวแปรอิสระด้านปัจจัยทางสถานะน้ำปุ๋ยและทางอากาศต่อการสะสมไนเตรทในผักสลัดด้วย stepwise regression (Table 5) พบว่าในฤดูหนาว วันที่เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ (4 ครั้งในทุก 3-4 วัน) มีผลต่อการสะสมไนเตรทในกรีนโอ๊คที่เพิ่มขึ้น (Table 5, $R^2=0.80$) ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมไนเตรทในเรดโอ๊ค คือ อายุผัก ค่า pH ระบบโรงเรือน และค่า EC โดยอายุผักที่มากขึ้น ค่า pH ที่สูงขึ้น ระบบโรงเรือนปิด และค่า EC ที่สูงขึ้นมีผลต่อการสะสมไนเตรทในเรดโอ๊คที่มากขึ้น (Table 5, $R^2=0.89$) และปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมไนเตรทในคอส คือ วันที่เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ น้ำหนักสดและค่า EC โดยระยะเวลาที่มากขึ้น น้ำหนักผักสดที่น้อยและค่า EC ที่น้อย ทำให้เกิดการสะสมไนเตรทที่มากขึ้น (Table 5, $R^2=0.77$) เป็นที่น่าสนใจว่า ในฤดูร้อนไม่มีปัจจัยที่สามารถทำนายการสะสมไนเตรทในกรีนโอ๊คและเรดโอ๊คได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในคอสพบว่ามีค่าความชื้นอากาศและค่า pH ที่มีผลต่อการสะสมไนเตรทในคอส โดยความชื้นที่น้อยลงและค่า pH ที่น้อยลง จะทำให้เกิดการสะสมไนเตรทในคอสที่มากขึ้น

(Table 5, $R^2=0.70$) ดังนั้นอีกแนวทางหนึ่งในการลดการสะสมไนเตรตในคอสในฤดูร้อนคือการเพิ่มความชื้นให้อยู่ในช่วง 63-74% (Figure 3b) เช่น โดยการพ่นหมอก เป็นต้น

Table 5 Stepwise regression analysis of environmental factors affecting nitrate accumulation in vegetables in close and open greenhouses

Nitrate accumulation (Y)	Factors involved (X)	Prediction Equation	R^2
In winter			
Green oak	Collecting date _{x1}	$Y=411.2+(157.3X1)$	0.80
Red oak	Age _{x1} , pH _{x2} , Greenhouse _{x3} , EC _{x4}	$Y=-1858.9+(32.4X1)+(292.7X2)-(426.8X3)+(153.8X4)$	0.89
Cos	Collecting date _{x1} , Fresh weight _{x2} , EC _{x3}	$Y=895.5+(125.7X1)-(3.1X2)-(114.6X3)$	0.77
In summer			
Green oak	No factor correlated	-	-
Red oak	No factor correlated	-	-
Cos	Humidity _{x1} , pH _{x2}	$Y=10131.8-(55.4X1)-(784.6X2)$	0.70

+, Positive correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed), and -; Negative correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

Conversa et al. (2021) ได้ศึกษาการลดปริมาณไนเตรตในผักกาดหอม (*Lactuca sativa* หรือ baby-leaf lettuce) โดยการจัดการการปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่า ระบบการปลูกแบบน้ำไหล (ebb and flow) และการให้ปุ๋ยปริมาณที่ต่างกัน 2.5 และ 3.5 dS/m ในช่วงฤดูหนาว ระบบการปลูกแบบน้ำไหลและการให้ปุ๋ย 3.5 dS/m ส่งผลให้การสะสมไนเตรตในผักโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต อีกทั้งยังมีคุณภาพ เช่น สี น้ำหนัก คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ วิตามินซี และฟีนอลที่ดีขึ้นด้วย การสะสมที่น้อยลงนี้อาจเกี่ยวกับกลไกการตอบสนองของพืชต่อความเครียดจากเกลือ (Salt stress) จึงเกิดการดูดซึมไนเตรตพร้อมกับไอออนอื่น เช่น คลอไรด์ (Cl⁻) ในสารอาหารได้น้อยลง อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูร้อนทำให้สูญเสียการควบคุมการดูดซึมไนเตรต และเกลือประจุในสารอาหารจากการให้ปุ๋ย 3.5 dS/m นอกจากนี้งานวิจัยของ Conversa et al. (2021) ยังพบว่าปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมลดลงหลังจากการหยุดให้ปุ๋ยใน 3 วัน สอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ที่พบว่าการลดการให้ปุ๋ยใน 3 วันทำให้การสะสมไนเตรตในเรดโอ๊คและคอสลดลง (Table 1) ในทางเดียวกับงานวิจัยของ Tabaglio et al. (2020) ที่พบว่าการปลูกผักกาดหอมในระบบราง NFT ที่มีการหยุดการให้ปุ๋ย 2-4 วัน ก่อนการเก็บเกี่ยวอาจลดการสะสมไนเตรตในผักได้ 29-58% จากการให้ปุ๋ย 7-16% ตามลำดับ ทั้งนี้สภาวะการเจริญเติบโตของผักเป็นปัจจัยสำคัญของระบบการผลิตผักที่มีการสะสมไนเตรตน้อย

สรุปผลการศึกษา

ผักสลัดทั้งสามชนิดมีการเจริญเติบโตมากขึ้นในช่วงอายุที่ศึกษาก่อนการเก็บเกี่ยว ซึ่งผักมีการเจริญเติบโตมากขึ้นทำให้ผักมีน้ำหนักสดที่มากขึ้น ทั้งนี้การสะสมไนเตรตในผักสลัดทั้งสามชนิดนั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่หลายประการ ได้แก่ การเจริญเติบโตของผักตามช่วงอายุ ชนิดพันธุ์ผัก สภาวะน้ำปุ๋ย และสภาวะอากาศ โดยผักทั้งสามชนิดในการปลูกในโรงเรือนทั้งสองแบบ ผักคอสให้น้ำหนักสดสูงที่สุดซึ่งมากกว่ากรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค ตามลำดับ ส่วนการสะสมไนเตรตในผักทั้งสามชนิดมีค่าการสะสมที่แตกต่างกันออกไป ในงานวิจัยนี้คอสอายุ 36 วันมีการสะสมไนเตรตมากที่สุดที่ 2,342.6 mg/kg FW ในโรงเรือนปิดช่วงฤดูร้อน รองลงมาคือเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค (1,985.6 และ 1,879.0 mg/kg FW, ตามลำดับ) ในโรงเรือนเปิดช่วงฤดูร้อน ทั้งนี้อุณหภูมิอากาศที่สูงและความชื้นอากาศที่ต่ำอาจทำให้มีการสะสมไนเตรตที่มากขึ้น การสะสมไนเตรตในผักทั้งสามชนิดมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานไนเตรตที่สะสมในผักที่ปลูกในโรงเรือนในช่วงฤดูหนาว (5,000 mg/kg FW ในโรงเรือนปิด และ 4,000 mg/kg FW ในโรงเรือนเปิด) และช่วงฤดูร้อน (4,000 mg/kg FW ในโรงเรือนปิด และ 3,000 mg/kg FW ในโรงเรือนเปิด) ตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรป (European Commission, 2011)

เอกสารอ้างอิง

- Conversa, G., Bonasia, A., Lazzizzera, C., Rotonda, P., & Elia, A. (2021). Reduction of nitrate content in baby-leaf lettuce and *Cichorium endivia* through the soilless cultivation system, electrical conductivity and management of nutrient solution. **Frontiers in Plant Science**, 12, 1-20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.645671>
- European Commission. (2011). **Commission Regulation (EC) No. 1258/2011 of 2 December 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards Maximum Levels for Nitrates in Foodstuffs**. Official Journal of the European Union No. L320/15.
- European Union Scientific Panel. (2008). Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables. **European Food Safety Authority**, 689, 1–79.
- Feng, J. (2006). Assessment of nitrate exposure in Beijing residents via consumption of vegetables. **Chinese Journal of Food Hygiene**, 18(6), 514-516.
- Harrison, J., Hirel B., & Limani, A. M. (2004). Variation in nitrate uptake and assimilation between two ecotypes of *Lotus japonicus* and their recombinant inbred lines. **Physiologia Plantarum**, 120, 124–131.
- Jarsaing, K. (2012). **Nitrate Accumulation in Green Oak**. Dissertation in Bachelor of Science (Biology), Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai).
- Maynard, D. N., & Barker, A. V. (1979). Regulation of nitrate accumulation in vegetables. **Acta Horticulturae**, 93, 153–162.
- Phasuk, A., Chutichudet P., & Chutichoodej, B. (2019). Growth, product, and amount of nitrate accumulation in 5 vegetable varieties growing in hydroponic system. **Science and Technology Journal Mahasarakham University**, 38(4), 391-401 (in Thai).
- Phimsirikul, P. (2004). **The Preliminary Study on Nitrate Accumulation in Vegetables produced by Hydroponics and Hygienic Cultures sold in Market**, pp. 1-55. Thailand Science Research and Innovation. (in Thai).
- Phupaibul, P., Soiklom S., & Bourngam, W. (2009). Analysis of nitrate accumulation in fresh vegetables. In **Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference: Plants**, pp. 289-298. Kasetsart University. (in Thai).
- Santamaria, P. (2006). Review – Nitrate in vegetables: toxicity content, intake and EC regulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 86, 10-17.
- Tabaglio, V., Boselli, R., Fiorini, A., Ganimede, C., Beccari, P., Santelli, S., & Nervo, G. (2020). Reducing nitrate accumulation and fertilizer use in lettuce with modified instrument nutrient film technique (NFT) system. **Agronomy**, 10(8), 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081208>
- Tonacchera, M., Pinchera, A., Dimida, A., Ferrarini, E., Agretti, P., Vitti, P., Santini, F., Crump, K., & Gibbs, J. (2004). Relative potencies and additivity of perchlorate, thiocyanate, nitrate, and iodide on the inhibition of radioactive iodide uptake by the human sodium iodide symporter. **Thyroid**, 14, 1012-1019.
- Vermeer, T. M., Pachen, M. F., Dallinga, J. W., Kleinjans, J. C., & Maanen, M. S. (1998). Volatile N-nitrosamine formation after intake of nitrate at the ADI level in combination with an amine-rich diet. **Environmental Health Perspectives**, 106, 459–463.
- Walker, R. (1990). Nitrates, nitrites and N-nitrosocompounds: a review of the occurrence in food and diet and the toxicological implications. **Food Additives and Contaminants**, 7, 717–768.