

# การวิเคราะห์ไนเตรตในผักไฮโดรโปนิคส์ โดย Capillary Electrophoresis Analysis of Nitrate in Hydroponics Vegetable by Capillary Electrophoresis

นฤมล วชิรปัทมา ศิรินทราน น่วมอินทร์ วีรวัฒน์ รอดคุ้ม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

เยาวพา จิระเกียรติกุล

ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

## บทคัดย่อ

อาหารที่ปนเปื้อนจะส่งผลให้ผู้บริโภคเสี่ยงต่อความปลอดภัยด้านสุขภาพ เช่น ผักที่มีการซื้อขายกันในท้องตลาดบางชนิดอาจมีการปนเปื้อนด้วยไนเตรต ซึ่งไนเตรตจัดเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นจึงได้นำเทคนิค capillary electrophoresis แบบ indirect detection มาใช้ในการตรวจวัดสารไนเตรตในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์โดยใช้ capillary column ยาว 50 cm ให้ศักย์ไฟฟ้าทางลบ 30 kV มีสารละลาย 4 mM  $\text{CrO}_3$  ที่ pH 8.3 เป็น background electrolyte และทำการตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 372 nm ได้ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดของไนเตรต 0.08  $\mu\text{g/g}$  สามารถประยุกต์เทคนิค capillary electrophoresis เพื่อใช้หาปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมพันธุ์ green oak ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ และพบความเข้มข้นของไนเตรตมีค่า 3,266 mg/kg เมื่อเก็บผักจากสารละลายธาตุอาหารที่ปลูก แต่ความเข้มข้นของไนเตรตลดลงเหลือ 3,046, 1,299 mg/kg และ 1,123 mg/kg เมื่อให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารเป็นเวลา 1, 2 และ 3 วันก่อนการเก็บเกี่ยวตามลำดับ

**คำสำคัญ :** ไนเตรต ผักไฮโดรโปนิคส์ กรีนโอ๊ค แคลฟิลลาริโอเล็กโทรโฟริซิส

## Abstract

Contaminated foods affect to human health safety. For examples, some vegetables which are sole in market may contaminate with nitrate. Nitrate is classified as carcinogen. Therefore, capillary electrophoresis using indirect detection was used for the analysis of nitrate in lettuce grown under hydroponics system. The

experiment was performed on capillary column 50 cm length with negative applied potential 30 kV. The composition of 4 mM CrO<sub>3</sub> at pH 8.3 was used as background electrolyte and detected at wavelength 372 nm. The detection limit (S/N=3) of nitrate was 0.08 µg/g. This capillary electrophoresis condition was applied to determine nitrate in lettuce var. green oak grown under hydroponics system and nitrate found was 3,266 mg/kg after harvesting from nutrient solution. However, concentrations of nitrate were reduced to 3,046, 1,299 and 1,123 mg/kg when plants were grown in tap water for 1, 2 and 3 days before harvesting, respectively.

**Keywords:** nitrate, hydroponics vegetable, green oak, capillary electrophoresis

## 1. บทนำ

ไนเตรดเป็นสารที่นิยมใช้เป็นสารกันบูดในอาหารสำเร็จรูปประเภทเนื้อสัตว์ และเป็นส่วนประกอบของปุ๋ย ซึ่งใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโตของพืช หากใช้ในปริมาณมากและต่อเนื่อง จะมีผลให้เกิดการสะสมในเนื้อเยื่อพืช ดังนั้นจึงมักพบไนเตรดปริมาณสูงในผักบางชนิด เช่น ผักโขม (spinach) บรอกโคลี (broccoli) และผักกาดหัว (white radish) ดังตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณไนเตรดที่วิเคราะห์ได้ในผักบางชนิดของยุโรป และประเทศจีน [1] เมื่อรับประทานผักที่มีปริมาณไนเตรดตกค้างสูง ไนเตรดจะเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรต์ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรค methemoglobinemia [2] โดยเกิดจาก hemoglobin ในเลือดถูก oxidized ด้วยไนไตรต์ เป็น methemoglobin ทำให้ไม่สามารถพาออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกาย [1]

มีรายงานในปี 2008 [1] และ 2009 [3] ว่า ผิวหนังและปากของเด็กทารกเพศชายวัย 9 และ 6 เดือนเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน (blue) หลังจากรับประทานข้าวต้มเครื่องที่ปรุงขึ้นเองโดยใส่ผักโขมและกะหล่ำปลี (petiole chinese cabbage) ที่มีปริมาณไนเตรดสูงมาก จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรค methemoglobinemia หรือ blue baby syndrome

นอกจากนี้ไนไตรต์ยังสามารถทำปฏิกิริยากับ secondary และ tertiary amines เกิดเป็นสาร nitrosamines ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้อีกด้วย โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านอาหารระดับนานาชาติ หรือ JECFA (joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) ได้ประเมินความปลอดภัยของปริมาณไนเตรดในอาหารที่บริโภคได้ต่อวัน (acceptable daily intake, ADI) ควรอยู่ในช่วง 0-3.7 mg/kg น้ำหนักตัวหรือประมาณ 219 mg ต่อวันต่อคนที่น้ำหนัก 60 kg อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรดสูงสุดในผักกาดหอม ตามข้อบังคับของสหภาพยุโรป พ.ศ. 2536 มีค่า 2,500 mg/kg ในช่วงเดือนเมษายน-ตุลาคม และมีค่า 3,500 mg/kg ในช่วงเดือนพฤศจิกายน-เมษายน [4] การตรวจวัดปริมาณไนเตรดในอาหารสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่แยกสารได้เร็วและประหยัดสารเคมีที่ใช้กันมากในปัจจุบันคือเทคนิค capillary electrophoresis เช่น งานวิจัยของ Ozteken และคณะ [5] และ Merusi และคณะ [6] ที่หาปริมาณไนเตรดในผักโขม โดย Ozteken และคณะ ใช้ Tris buffer เป็น electrolyte และตรวจวัดไนเตรดที่ความยาวคลื่น 210 nm [5] แต่ Merusi และคณะใช้ phosphate buffer เป็น electrolyte และตรวจวัดไนเตรดที่ความยาวคลื่น 214 nm [6]

นอกจากนี้งานวิจัยของ Alonso และ Prego [7] ได้หาปริมาณไนเตรตในแม่น้ำโดยใช้ chromate เป็น electrolyte และตรวจวัดไนเตรดที่ความยาวคลื่น 254 nm

ตาราง 1 เปรียบเทียบปริมาณไนเตรตในผักบางชนิด

ผัก	ปริมาณไนเตรต (mg/kg)	
	ยุโรป	ปักกิ่ง ประเทศจีน
ผักโขม	64-3048	1388-5214
ผักกาดหัว	135-3488	1105-3721
กะหล่ำปลี	47-833	780-4489
ผักกาดขาวปลี	77-1928	1419-3832
ผักกวางตุ้ง	-	1503-6534
ผักคะน้า	-	3072-5473
กะหล่ำดอก	7-390	164-854
บรอกโคลี	16-758	-

ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงปริมาณไนเตรดที่สะสมในผัก จึงได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์ไนเตรดโดยวิธี capillary electrophoresis ให้วิเคราะห์ได้เร็วและมีความไวในการตรวจวัด จากนั้นนำวิธีที่พัฒนาได้นี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อหาปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมพันธุ์ green oak ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ โดยจะทำการเก็บเกี่ยวจากสารละลายธาตุอาหารเมื่อครบอายุเก็บเกี่ยว และให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารนาน 1, 2 และ 3 วันก่อนการเก็บเกี่ยว รวมทั้งตรวจหาปริมาณไนเตรดจากผักกาดหอมที่ขายในซูเปอร์มาเก็ตซึ่งปลูกด้วยระบบเดียวกัน ผักไฮโดรโปนิคส์นี้เป็นผักที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารโดยรากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง ดังนั้นผักชนิดนี้จึงน่าจะเป็นตัวอย่างผักที่ดีในการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรดที่สะสมในใบผัก

## 2. การทดลอง

### 2.1 เครื่องมือ

Fused silica capillary column (Polymicro technology (Phoenix, AZ, USA) ยาว 50 cm (75  $\mu$ m I.D.) โดยมีความยาวจากจุดที่ฉีดสารถึง detector 41.5 cm และเคลือบภายใน column ด้วย 0.5% poly (diallyl-dimethylammonium chloride) (PDDAC) เครื่อง capillary electrophoresis ที่ใช้แยก analytes ออกจากกันคือ HP<sup>3D</sup> CE (Agilent Technologies, Bracknell, UK) และให้ศักย์ไฟฟ้า -30 kV ที่อุณหภูมิ 25°C โดยฉีดที่ความดัน 50 mbar เป็นเวลานาน 10 วินาที สำหรับ background electrolyte ประกอบด้วย 4 mM CrO<sub>3</sub> และ ปรับ pH เป็น 8.3 ด้วยสารละลาย Tris (hydroxymethyl) aminomethane ทำการตรวจวัด Electrophoretic zone ของไนเตรดที่ความยาวคลื่น 372 nm

### 2.2 สารเคมี

น้ำที่ใช้เป็นน้ำ deionised (DI water), Ammonium dihydrogenphosphate (99.999%, Aldrich, Milwaukee, USA), Chromium trioxide (99%, Carlo Erba, Lombardia, Italy), Poly-(diallyldimethylammonium chloride) (20 wt%, Aldrich, Milwaukee, USA), Potassium nitrate (99.0%, Carlo Erba, Lombardia, Italy), Sodium chloride (99.999%, Aldrich, St.Louis, USA), Sodium sulfate (99.99%, Aldrich, Milwaukee, USA) และ Tris (hydroxymethyl) aminomethane (99.8%, Aldrich, St.Louis, USA)

### 2.3 การปลูกผักกาดหอมพันธุ์ green oak และการเตรียมตัวอย่างเพื่อหาปริมาณไนเตรด

เพาะเมล็ดผักกาดหอมพันธุ์ green oak ในฟองน้ำที่ชุ่มน้ำขนาด 3x3 เซนติเมตร และกรีดตรง

กลางลึกประมาณ 1 เซนติเมตร เพาะเมล็ดลงใน ฟองน้ำแต่ละช่องๆ ละ 1 เมล็ด นำฟองน้ำไปแช่น้ำนาน 7 วัน เพื่อให้เมล็ดงอก จากนั้นย้ายต้นกล้ามา เพาะในสารละลายธาตุอาหารสูตร Resh Tropical Dry Summer [8] ความเข้มข้นครึ่งเท่าเป็นเวลา 2 วัน และความเข้มข้นหนึ่งเท่าอีก 7 วัน โดยสารละลายธาตุอาหารสูตร Resh Tropical Dry Summer ความเข้มข้นหนึ่งเท่าประกอบด้วย 1475.94 mg/l  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 23.6 mg/l Fe-EDTA; 230.53 mg/l  $\text{KNO}_3$ ; 369.72 g/l  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 188.65 mg/l  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ; 10.89 mg/l  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 2.86 mg/l  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 0.22 mg/l  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0.08 mg/l  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 1.54 mg/l  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0.017 mg/l  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 162.65 mg/l  $\text{NaSO}_4$  และ 241.36 mg/l  $\text{K}_2\text{SO}_4$  เมื่อดันกล้าแข็งแรงจึงย้ายลงระบบปลูกแบบไม่หมุนเวียน (non-circulating system) ที่เดิม ออกซิเจน โดยปลูกในกระบะพลาสติกขนาด 31 x 46.5 x 18 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) นำต้นกล้า สอดลงในแผ่นโฟมที่มีขนาดเท่ากับกระบะพลาสติก และมีช่องสำหรับปลูกโดยมีระยะปลูก 20x15 เซนติเมตร (4 ช่องต่อ 1 แผ่นปลูก) เติมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้นหนึ่งเท่าประมาณ 25 ลิตร ที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหารเท่ากับ 5.76 ด้วยกรดไนตริก มีค่า EC ประมาณ 2.0 mS/cm จากนั้นยึดแผ่นโฟมกับกระบะด้วยเชือกฟาง และเจาะรูขนาดเล็กบริเวณกึ่งกลางแผ่นโฟมเพื่อต่อท่อสายยางกับปั๊มออกซิเจน เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารใหม่เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์ หรือหลังย้ายลงระบบแล้ว 2 สัปดาห์ ทำการเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 7 สัปดาห์ โดยแบ่งเก็บ 4 ระยะเวลา คือ 1) เก็บจากสารละลายทันที 2-4) ให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารนาน 1, 2 และ 3 วัน ตามลำดับก่อนการ

เก็บเกี่ยว จากนั้นนำตัวอย่างผักมาวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรด เปรียบเทียบกับผักที่ซื้อจากซูเปอร์มาเก็ต โดยซังใบผักกาดหอมที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆหนัก 5 กรัม ใส่ลงในเครื่องปั่น (blender) และเติมน้ำ DI ปริมาตร 200 ml ทำการปั่น 1 นาที และตามด้วย sonicate สารตัวอย่าง 15 นาที จากนั้นปรับปริมาตรสารตัวอย่างด้วยน้ำ DI ใน volumetric flask ขนาด 250 ml กรองสารตัวอย่างผ่านตะแกรงร่อนเพื่อกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่ออกก่อนกรองผ่านตัวกรองขนาด 0.45  $\mu\text{m}$  นำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรดตามวิธีที่พัฒนา

### 3. ผลและวิจารณ์ผล

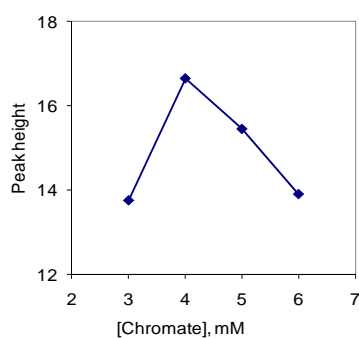
#### 3.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการหาปริมาณไนเตรดด้วยเทคนิค CE

องค์ประกอบของ background electrolyte ที่เป็นตัวให้สัญญาณคือ  $\text{CrO}_4^{2-}$  (เกิดจากการละลาย  $\text{CrO}_3$  ในน้ำ) โดยศึกษาความเข้มข้นของ  $\text{CrO}_4^{2-}$  ในช่วง 3-6 mM พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 4 mM  $\text{CrO}_4^{2-}$  เพราะให้ peak height ของไนเตรดสูงสุด (รูปที่ 1) และศึกษา pH ของ background electrolyte โดยใช้สารละลาย Tris (hydroxymethyl) aminomethane เข้มข้น 150 mM เป็นตัวปรับ pH ของสารละลายโดยศึกษาในช่วง pH 8, 8.3, 8.6 และ 9 พบว่า pH ที่เหมาะสมคือ 8.3 เพราะให้ peak height ของไนเตรดสูงสุด (รูปที่ 2) จากนั้นศึกษาการดูดกลืนแสงของ background electrolyte พบว่า background electrolyte ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 372 nm จึงเลือกเป็น detection wavelength ของการหาปริมาณไนเตรด นอกจากนี้มีการศึกษาค่า negative applied potential ในช่วง -20 kV ถึง -30 kV พบว่า -30 kV เหมาะสมที่สุดเพราะให้ค่า peak height ของไนเตรดสูงสุดและค่า migration time ของ peak ไนเตรดน้อย

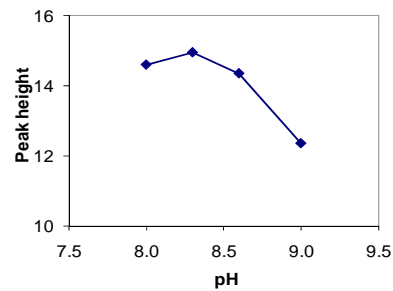
สำหรับ injection time ได้ศึกษาในช่วง 5-20 วินาที ที่ความดัน 50 mbar พบว่า injection time ที่เหมาะสมคือ 10 วินาที เพราะให้ความกว้างของ peak แคบ (narrow peak shape) ดังรูปที่ 3 แสดง electropherogram ของสารมาตรฐานคลอไรด์ (chloride) ซัลเฟต (sulfate) และไนเตรต (nitrate) ซึ่งใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 2 นาที โดย peak ของไนเตรตไม่มี peak รบกวนจากไนไตรต์ (nitrite) และฟอสเฟต (phosphate)

### 3.2 Analytical performance characteristics

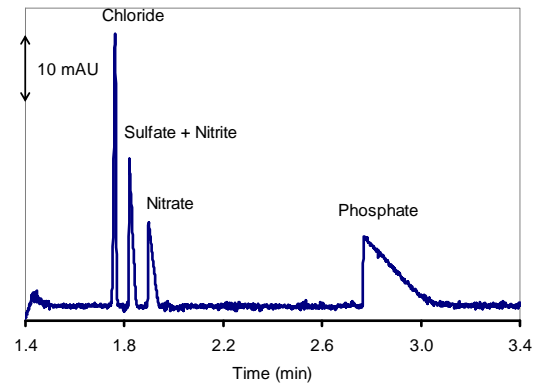
Detection limits (ศึกษาที่ signal-to-noise ratio เท่ากับ 3) ที่เกิดจากการฉีดสารละลายมาตรฐานเป็นเวลานาน 10 วินาทีที่ความดัน 50 mbar ของ chloride, sulfate และ nitrate มีค่า 0.17 mg/mL, 0.17 mg/mL และ 0.08 mg/mL ตามลำดับ จากการฉีดสารมาตรฐานทุกตัวซ้ำ 5 ครั้ง พบว่าเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์หรือ percentage of relative standard deviation (% RSD) ของ migration time และ peak area ของสารมาตรฐาน chloride, sulfate และ nitrate อยู่ในช่วง 0.15-0.16 % และในช่วง 1.06-1.53% ตามลำดับ external standard calibration curve ให้เส้นตรงอยู่ในช่วง 2.5-40 mg/mL ( $r^2 = 0.9998$ )



รูปที่ 1 ผลของความเข้มข้น  $\text{CrO}_4^{2-}$  ต่อ peak height



รูปที่ 2 ผลของ pH ต่อ peak height

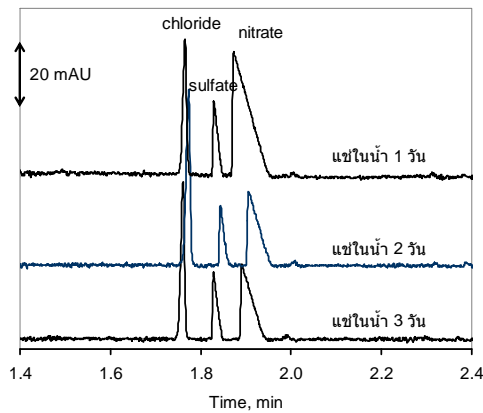


รูปที่ 3 Electropherogram ของสารมาตรฐาน chloride (10 mg/l), sulfate (10 mg/l), nitrite (10 mg/l), nitrate (10 mg/l) และ phosphate (20 mg/l)

### 3.3 ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมพันธุ์ green oak

ประยุกต์ใช้ background electrolyte และ condition ที่เหมาะสมในการหาปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมพันธุ์ green oak ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์โดยเก็บเกี่ยวทันที และให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยว 1, 2 และ 3 วัน จากการตรวจวัดปริมาณไนเตรต พบว่ามีปริมาณไนเตรตสะสมในใบผักกาดหอมพันธุ์ green oak เท่ากับ 3,266 mg/kg, 3,046 mg/kg, 1,299 mg/kg และ 1,123 mg/kg ตามลำดับ ดังรูปที่ 4 แสดง

electropherogram ของไนเตรดในผักกาดหอมพันธุ์ green oak ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์และเก็บที่ระยะเวลาแตกต่างกัน



**รูปที่ 4** Electropherogram ของไนเตรดในผักกาดหอมพันธุ์ green oak ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์หลังให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารเป็นเวลา 1, 2 และ 3 วันก่อนการเก็บเกี่ยว

สำหรับการตรวจวัดปริมาณไนเตรดในผักกาดหอมพันธุ์ green oak ที่ปลูกด้วยระบบเดียวกันที่วางขายในซูเปอร์มาเก็ต 2 แห่ง ในจังหวัดปทุมธานี พบว่ามีปริมาณไนเตรด 1,842 mg/kg และ 4,084 mg/kg การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการให้น้ำแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยว 2 และ 3 วัน เพื่อนำมารับประทานหรือเพื่อการจำหน่ายนั้น จะทำให้ปริมาณไนเตรดลดลงประมาณ 60-65% ของค่าที่ได้จากต้นที่เก็บเกี่ยวจากสารละลายธาตุอาหารทันที ดังนั้นเกษตรกรผู้ปลูกผักด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ จึงควรให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยวอย่างน้อย 2 วัน เพื่อให้ค่าไนเตรดในผักที่ปลูกลดลง ซึ่งจากผลการทดลองนี้

สอดคล้องกับคิเรก [4] ที่ได้รายงานไปถึงการจัดการการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพื่อลดปริมาณไนเตรดตกค้างในพืช สามารถทำได้โดยลดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกในสัปดาห์สุดท้ายและให้น้ำประปา แทนการให้สารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยว 1-2 วัน นอกจากนี้ควรให้พืชได้รับแสงอย่างเต็มที่ก่อนการเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์ เพราะเอนไซม์ไนเตรดรีดักเตส (nitrate reductase) จะถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วยแสงแดด ทำให้ไนเตรดเปลี่ยนเป็นไนไตรต์ และเป็นแอมโมเนียมก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นอินทรีย์สารเพื่อสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนและโปรตีนในที่สุด และในสารละลายธาตุอาหารควรมีธาตุโมลิบดีนัม (molybdenum; Mo) ด้วย เนื่องจากเป็นธาตุที่ช่วย (cofactor) ในการทำงานของเอนไซม์รีดักเตส

#### 4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาหาปริมาณไนเตรดโดยใช้เทคนิค capillary electrophoresis ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งสิ้นเพียง 2 นาที และสามารถนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้หาปริมาณไนเตรดที่สะสมในใบผักกาดหอมพันธุ์ green oak ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ และเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาแตกต่างกัน จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณไนเตรดมีค่า 3,266 mg/kg, 3,046 mg/kg, 1,299 mg/kg และ 1,123 mg/kg เมื่อเก็บต้นจากสารละลายธาตุอาหารทันที และให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยว 1, 2 และ 3 วันตามลำดับ

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Yau, J., 2008, Nitrate in food, Centre for Food Safety, 25th Issue, Hong Kong.

- [2] Hyun, S.E., *et al.*, 2009, Methemoglobinemia Development after Ingestion of a Chinese Herbal Medicine: A Case Report. Korean Journal of Pediatrics 52: 385-388.
- [3] Chen, M., 2010, Nitrate and Nitrite in Vegetables and Infant Feeding, Food Safety Focus, 49th Issue, Hong Kong.
- [4] ดิเรก ทองอร่าม, 2547, การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน : หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย, พิมพ์ครั้งที่ 2, ชมรมรักการพิมพ์, ราชบุรี, 724 น.
- [5] Oztekin, N., Nutku, M.S. and Erim, F.B., 2002, Simultaneous Determination of Nitrite and Nitrate in Meat Products and Vegetables by Capillary Electrophoresis, Food Chemistry 76: 103-106.
- [6] Merusi, C., Corradini, C., Cavazza, A., Borromei, C. and Salvadeo, P., 2010, Determination of Nitrates, Nitrites and Oxalates in Food Products by Capillary Electrophoresis with pH-dependent Electroosmotic Flow Reversal, Food Chemistry 120: 615-620.
- [7] Alonso, M.C.B. and Prego, R., 2000, Determination of Silicate, Simultaneously with Other Nutrients (Nitrite, Nitrate and Phosphate), in River Waters by Capillary Electrophoresis, Analytica Chimica Acta 416: 21-22.
- [8] Resh, M.H., 1978, Hydroponics for Food Production, Woodbridge Press Publishing Company, California, 277 p.