

ผลของไอโอดีนและไอโอเดตต่อการเจริญเติบโต และการสะสม ในผักบ่งจิ้นที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์

Effects of Iodide and Iodate on Growth and Accumulation in Water Convolvulus Grown under Hydroponics Technique

นิสา แซ่ลิ้ม และเยาวพา จิระเกียรติกุล

ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

นภาพร ยังวิเศษ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของไอโอดีน 2 รูป: ไอโอไดด์ (I^-) และไอโอเดต (IO_3^-) ที่ความเข้มข้น 6 ระดับ คือ 0, 1, 5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและการสะสมในผักบ่งจิ้นพันธุ์ยอดไผ่ 9 ในระบบไฮโดรโปนิคส์แบบสารละลายที่มีการเติมอากาศ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) และหาปริมาณไอโอไดด์และไอโอเดตในพืชโดยใช้วิธี Potentiometry ร่วมกับ Ion Selective Electrode (ISE) และ Flow Injection Analysis (FIA) ตามลำดับ จากการทดลอง พบว่า ดินที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอดีนมีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นมากที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับดินที่เติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 10 - 100 ไมโครโมลาร์และไอโอเดตทุกความเข้มข้น แต่ความสูง จำนวนใบ และน้ำหนักแห้งรากไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนน้ำหนักสดและแห้งต้น และน้ำหนักสดรากที่ไอโอเดตความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่ามากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับที่เติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์หรือมากกว่า และไอโอเดตความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ ปริมาณไอโอไดด์สะสมในต้นมากกว่าราก และสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อความเข้มข้นของไอโอไดด์ในสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณไอโอเดตในต้นและรากสูงสุดที่ไอโอเดตความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ในสารละลายธาตุอาหารไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบ่งจิ้นพันธุ์ยอดไผ่ 9 และมีปริมาณไอโอไดด์สะสมในต้นเท่ากับ 1.32 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งปริมาณสะสมดังกล่าวมากกว่าปริมาณไอโอเดตที่สะสมเมื่อเติมที่ความเข้มข้นเดียวกัน และเพียงพอต่อการเสริมไอโอดีนเพื่อการบริโภค

คำสำคัญ: การเจริญเติบโต ผักบ่งจิ้น ไฮโดรโปนิคส์ ไอโอไดด์ ไอโอเดต

Abstract

The effects of two iodine species, iodide (I^-) and iodate (IO_3^-), with 6 different concentrations: 0, 1, 5, 10, 50 and 100 μM on growth, yield and iodide – iodate accumulations of water convolvulus cv. Yodpai 9 grown in solution culture with air pump were investigated. The experiment was arranged in Completely Randomized Design (CRD). The accumulations of iodide and iodate in plant tissue were determined using Potentiometry with Ion Selective Electrode (ISE) and Flow Injection Analysis (FIA) methods, respectively. The greatest of stem diameter occurred in the control treatment which was significantly different with those at 10 – 100 μM iodide and at all concentrations of iodate. However, plant height, leaf number and root dry weight were insignificantly different among the treatments. The fresh and dry weight of shoot and dry weight of root at 1 μM iodate were significantly higher than those at 10 μM iodide or higher and at 100 μM iodate. The accumulation of iodide in shoots was higher than in roots and significantly increased when iodide concentrations in the nutrient solution increased. The highest concentrations of iodate occurred in shoots and roots at 100 μM iodate. The results from this experiment indicated that addition of 1 μM iodide in the nutrient solution had no effect on the growth and yield of water convolvulus cv. Yodpai 9. The iodide accumulation in shoots were 1.32 ± 0.15 mg/kg fresh weight which were higher than the iodate accumulation in the plant shoots at the same additional concentration and are probably enough to supplement iodine through dietary intake.

Keywords: growth, hydroponics, iodate, iodide, water convolvulus

1. บทนำ

ไอโอดีนเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่สำคัญต่อการสร้างฮอร์โมนไทรอยด์ในต่อมไทรอยด์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตของสมอง ประสาท และเนื้อเยื่อของร่างกาย ซึ่งร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ถ้าร่างกายได้รับสารไอโอดีนไม่เพียงพอกับความ ต้องการของร่างกายก็จะทำให้ต่อมไทรอยด์โตขึ้น เรียกว่า คอพอก (simple goiter) ส่งผลให้สมองทึบ เหนื่อยง่าย และร่างกายเจริญเติบโตช้า [1] โดยทั่วไป ไอโอดีนอยู่ในรูปของเกลือไอโอดด์ (iodide) หรือ เกลือไอโอเดต (iodate) พบได้น้อยในอาหาร ยกเว้น ในอาหารทะเลที่มีไอโอดีนประมาณ 400 มิลลิกรัมต่อ

100 กรัม โรคคอพอกและโรคปัญญาอ่อนในเด็กหรือ โรคเอื้อยยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่ง อาจเกิดจากผู้บริโภคมีฐานะยากจน ไม่สามารถซื้อ อาหารทะเลมาบริโภคได้เพียงพอ รวมทั้งไม่นิยมปรุงร อาหารด้วยเกลือผสมไอโอดีน หรือเกลือไอโอดีนที่ ใช้ อาจมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน ผู้ใหญ่ต้องการ ไอโอดีนวันละประมาณ 150 ไมโครกรัม [2] หาก บริโภคเกลือไอโอดีนเฉลี่ย 2 กรัม จะได้รับไอโอดีน 60 ไมโครกรัม จึงจะเพียงพอต่อการป้องกันการเกิด โรคคอพอก [3] จากปัญหาดังกล่าวจึงควรมีทางเลือก อื่นในการส่งเสริมให้ผู้บริโภคได้รับธาตุไอโอดีน เช่น การผลิตผักเสริมไอโอดีน มีการศึกษาการเสริม ไอโอดีนในรูปไอโอดด์และไอโอเดตในพืชบางชนิด

เช่น ข้าว พบว่า มีไอโอดีนสะสมเพิ่มขึ้นในส่วนของ ต้น ใบ และราก แต่ในเมล็ดข้าวพบน้อยมาก เนื่องจาก ปัญหาของการเคลื่อนย้ายธาตุทางท่อลำเลียงอาหาร (phloem transport) [4] หรือในผักปวยเล้ง การเสริม ไอโอดีนที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 10 ไมโครโมลาร์ ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของปวยเล้ง ลดลง และเมื่อนำต้นมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน พบว่า การเสริมไอโอดีนที่ระดับความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีไอโอดีนเข้มข้นประมาณ 3 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสดใบ ซึ่งเพียงพอต่อการ บริโภค [5] ส่วนในผักบุงเงินได้มีการศึกษาโดย Weng และคณะ [6] ซึ่งใช้ไอโอดีน 3 ชนิด คือ ไอโอดีน (I⁻), ไอโอดेट (IO₃⁻) และกรดไอโอดิแอซิก (CH₂ICOO⁻) จาก NaI, NaIO₃ และ CH₂ICOO⁻Na พบว่า ความเข้มข้นของไอโอดีนตั้งแต่ 0.5 - 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้การเจริญเติบโตของ ผักบุงเงินลดลง และไอโอดีนต่างชนิดกันทำให้มีการ สะสมไอโอดีนในต้นต่างกันด้วย โดยกรดไอโอดิแอซิกมีการสะสมของไอโอดีนในเนื้อเยื่อมากที่สุด รองลงมาคือ ไอโอดีน และ ไอโอดेट ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการเสริมไอโอดีนในรูปไอโอดีน และ ไอโอดेटจากโพแทสเซียมไอโอดีน (KI) และ โพแทสเซียมไอโอดेट (KIO₃) ในผักบุงเงินยังไม่มี การศึกษา ดังนั้นในการศึกษานี้เป็นการทดลอง เสริมไอโอดีนในรูปไอโอดีนและไอโอดेटที่ความ เข้มข้นต่างๆ เพื่อศึกษาถึงผลของไอโอดีนทั้ง 2 รูปต่อ การเจริญเติบโตและการสะสมในต้นและรากของ ผักบุงเงิน ซึ่งการเสริมไอโอดีนในผักบุงเงินนอกจาก จะเพิ่มคุณค่าทางอาหารแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าทาง การค้าของผลผลิตอีกด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ก่อนเพาะเมล็ด นำเมล็ดผักบุงเงินพันธุ์ยอด ไร่ 9 แฉกในน้ำเดือด (100 องศาเซลเซียส) นาน 30 วินาที จากนั้นแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นให้เกิดการงอก เลือกเมล็ดที่คุดน้ำ และพองมาเพาะในฟองน้ำที่ชุ่มน้ำขนาด 3x3 เซนติเมตร ที่กริดตรงกลางลึกประมาณ 1 เซนติเมตร ใส่ 2 เมล็ดต่อช่อง นำฟองน้ำไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 วัน คัดเลือกต้นกล้าที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดย ให้เหลือต้นกล้าเพียง 1 ต้นต่อช่อง แล้วย้ายต้นกล้ามา เพาะในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland and Arnon [7] ความเข้มข้นครึ่งเท่าที่มีไอโอดีน 2 รูป คือ ไอโอดีนและไอโอดेट 6 ระดับความเข้มข้น 0, 1, 5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ โดยใช้ไอโอดีนจาก โพแทสเซียมไอโอดีนและโพแทสเซียมไอโอดेट เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นนำต้นกล้าย้ายลงกระบะ พลาสติกที่บรรจุสารละลายความเข้มข้น 1 เท่า โดย เติมไอโอดีนและไอโอดेटความเข้มข้นต่างๆ เช่นเดียวกับช่วงแรกในระบบปลูกแบบสารละลายที่มีการเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ วางแผนการ ทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 10 ต้น เมื่อดำเนินการปลูกผักบุงเงินมีอายุ 13, 17 และ 21 วันหลังเพาะเมล็ด ทำการบันทึกความสูง ต้น (เซนติเมตร), เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร) โดยใช้เวอร์เนียร์วัดลำต้นบริเวณเหนือใบเลี้ยง, จำนวน ใบนับเฉพาะใบที่กางเต็มที่ และในวันที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต (21 วันหลังเพาะเมล็ด) บันทึกน้ำหนักสดต้น และราก จากนั้นหั่นชิ้นส่วนพืชเป็นชิ้นเล็กๆ อบด้วย ตู้อบแห้ง (hot air oven) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักแห้งต้นและราก ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ ไอโอดีนด้วยวิธี Potentiometry ร่วมกับ Ion Selective Electrode (ISE)

และไอโอเดตด้วยวิธี Flow Injection Analysis (FIA) ที่สะสมในดินและรากตามวิธีของยาวพาและนภาพร [8] วิเคราะห์ตามวิธีของการทดลองแบบ CRD ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ 99% โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Statistical Analysis System (SAS) เวอร์ชัน 6.2

3. ผลการทดลอง

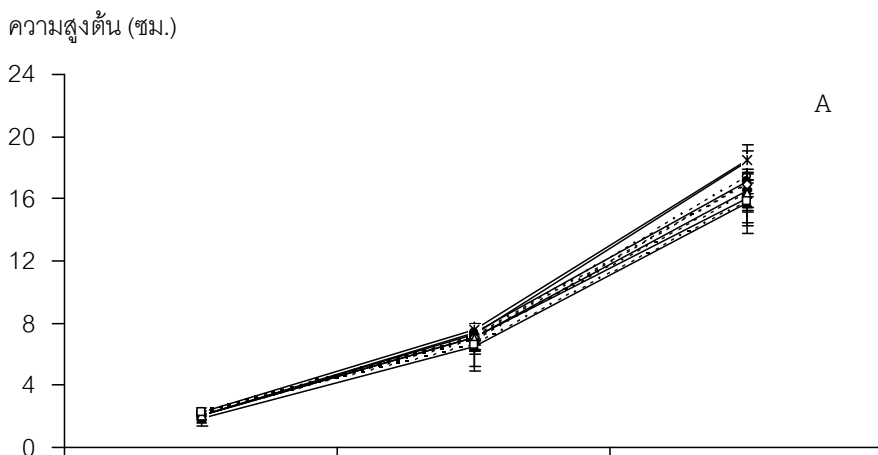
3.1 ความสูงต้น

จากการทดลองปลูกผักบุ้งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 9 ในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดด์และไอโอเดตความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ความสูงต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาเจริญเติบโต โดยต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีความสูงต้นมากที่สุดเมื่ออายุ 13, 17 และ 21 วันหลังเพาะเมล็ด เท่ากับ 2.28 ± 0.03 , 7.60 ± 0.18 และ 18.53 ± 0.93 เซนติเมตร ตามลำดับ และที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์

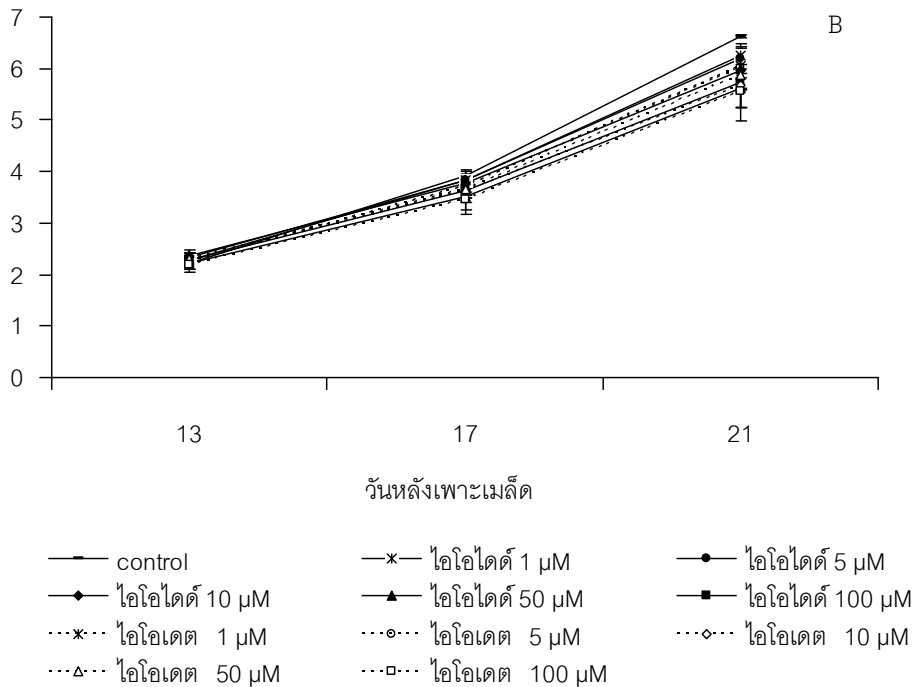
มีความสูงต้นน้อยที่สุด คือ 1.88 ± 0.50 , 6.45 ± 1.57 และ 15.73 ± 1.95 เซนติเมตร เมื่ออายุ 13, 17 และ 21 วันหลังเพาะเมล็ด ตามลำดับ (ภาพที่ 1A)

3.2 เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น

เมื่อต้นผักบุ้งจีนมีอายุ 13 และ 17 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นสูงสุด เท่ากับ 2.35 ± 0.06 มิลลิเมตร เมื่ออายุ 13 วันหลังเพาะเมล็ด และต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอไดด์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นสูงสุด เท่ากับ 3.92 ± 0.02 มิลลิเมตร เมื่ออายุ 17 วันหลังเพาะเมล็ด ส่วนที่อายุ 21 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า ต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอไดด์มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 6.62 ± 0.04 มิลลิเมตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 10 - 100 ไมโครโมลาร์ และไอโอเดตทุกความเข้มข้น (ภาพที่ 1B)



เส้นผ่าศูนย์กลางกลางลำต้น (มม.)



ภาพที่ 1 ความสูงต้น (A) และเส้นผ่าศูนย์กลางกลางลำต้น (B) ของผักนึ่งจีนพันธุ์ยอดไฟ่ 9 ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีไอโอไดด์และไอโอเดตความเข้มข้น 0, 1, 5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ เมื่ออายุ 13, 17 และ 21 วันหลังเพาะเมล็ด

3.3 จำนวนใบ

จำนวนใบเมื่ออายุ 13 วันหลังเพาะเมล็ดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่ออายุ 17 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า ต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครโมลาร์ มีจำนวนใบมากที่สุด เท่ากับ 6.7 ± 0.5 และ 6.6 ± 0.5

ใบ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ และไอโอเดตความเข้มข้น 5 - 100 ไมโครโมลาร์ เมื่อต้นมีอายุ 21 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า จำนวนใบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 จำนวนใบของผักนึ่งจินพันชู้ยอคไฟ่ 9 ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีไอโอไดด์และไอโอเดตความเข้มข้น 0, 1, 5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ เมื่ออายุ 13, 17 และ 21 วันหลังเพาะเมล็ด

ความเข้มข้น (ไมโครโมลาร์)	จำนวนใบ ^L เมื่ออายุ (วันหลังเพาะเมล็ด)			
	13	17	21	
I ⁻	0	2.1 ± 0.1	5.9 ± 0.4 ^{abc}	12.3 ± 0.9
	1	2.0 ± 0.1	6.5 ± 0.5 ^{ab}	13.2 ± 0.7
	5	2.0 ± 0.1	6.7 ± 0.5 ^a	13.7 ± 0.6
	10	2.0 ± 0.1	6.6 ± 0.5 ^a	12.8 ± 0.6
	50	2.0 ± 0.1	5.4 ± 1.2 ^c	12.2 ± 1.5
	100	2.0 ± 0.1	5.9 ± 0.2 ^{abc}	12.1 ± 0.8
IO ₃ ⁻	1	2.0 ± 0.1	6.0 ± 0.5 ^{abc}	13.3 ± 0.5
	5	2.0 ± 0.0	5.5 ± 0.6 ^{bc}	13.0 ± 0.7
	10	2.0 ± 0.1	5.3 ± 0.3 ^c	12.3 ± 1.1
	50	2.1 ± 0.1	5.6 ± 0.9 ^{bc}	12.0 ± 1.0
	100	2.0 ± 0.0	5.4 ± 0.3 ^c	12.1 ± 0.4
	F-test	ns	*	ns
C.V. (%)	3.1	10.0	6.8	

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

^L ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.4 น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก

ต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอดีนมีน้ำหนักสดต้นมากที่สุด เท่ากับ 14.57 ± 0.83 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 1 - 10 ไมโครโมลาร์ และไอโอเดตความเข้มข้น 1 - 50 ไมโครโมลาร์ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดด์

ความเข้มข้น 50 - 100 ไมโครโมลาร์ และไอโอเดตความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ น้ำหนักแห้งต้นพบว่า ต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอเดตความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักแห้งต้นมากที่สุด เท่ากับ 1.046 ± 0.138 กรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 10 - 100 ไมโครโมลาร์ (ตารางที่ 2) ส่วนน้ำหนักสดราก พบว่า ต้นที่ปลูกใน

สารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอดีนได้ความเข้มข้น 50 - 100 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักสดรากน้อยที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกัต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอดีน, เติมไอโอดีนได้ความเข้มข้น 1 - 5 ไมโครโมลาร์ และเติมไอโอดีนได้ความ

เข้มข้น 1 - 50 ไมโครโมลาร์ ส่วนน้ำหนักแห้งรากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกความเข้มข้น โดยต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอดีนได้ความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักแห้งรากมากที่สุด เท่ากับ 0.166 ± 0.034 กรัม (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 น้ำหนักสดและแห้งของต้นและรากของผักบุ้งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 9 ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีไอโอดีนและไอโอดีนได้ความเข้มข้น 0, 1, 5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์

ความเข้มข้น (ไมโครโมลาร์)	ต้น ^{1/}		ราก ^{1/}	
	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
I ⁻				
0	14.57 ± 0.83 ^a	0.980 ± 0.060 ^{ab}	2.34 ± 0.53 ^a	0.142 ± 0.022
1	13.99 ± 1.37 ^{ab}	0.926 ± 0.107 ^{ab}	2.43 ± 0.30 ^a	0.151 ± 0.019
5	14.37 ± 1.56 ^a	0.930 ± 0.085 ^{ab}	2.48 ± 0.49 ^a	0.150 ± 0.022
10	12.48 ± 1.51 ^{abc}	0.850 ± 0.072 ^{bc}	2.26 ± 0.35 ^{ab}	0.154 ± 0.018
50	10.18 ± 2.47 ^{cd}	0.672 ± 0.149 ^d	1.70 ± 0.30 ^b	0.125 ± 0.025
100	9.89 ± 2.14 ^d	0.690 ± 0.146 ^{cd}	1.71 ± 0.22 ^b	0.135 ± 0.017
IO ₃ ⁻				
1	14.42 ± 2.02 ^a	1.046 ± 0.138 ^a	2.75 ± 0.36 ^a	0.159 ± 0.019
5	13.82 ± 0.88 ^{ab}	1.027 ± 0.077 ^{ab}	2.45 ± 0.23 ^a	0.156 ± 0.015
10	12.32 ± 1.36 ^{abcd}	0.948 ± 0.105 ^{ab}	2.77 ± 0.34 ^a	0.154 ± 0.020
50	12.66 ± 1.77 ^{abc}	0.939 ± 0.147 ^{ab}	2.68 ± 0.60 ^a	0.166 ± 0.034
100	11.44 ± 0.37 ^{bcd}	0.867 ± 0.097 ^{ab}	2.30 ± 0.41 ^{ab}	0.151 ± 0.028
F-test	**	**	**	ns
C.V. (%)	12.50	12.50	16.75	14.94

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

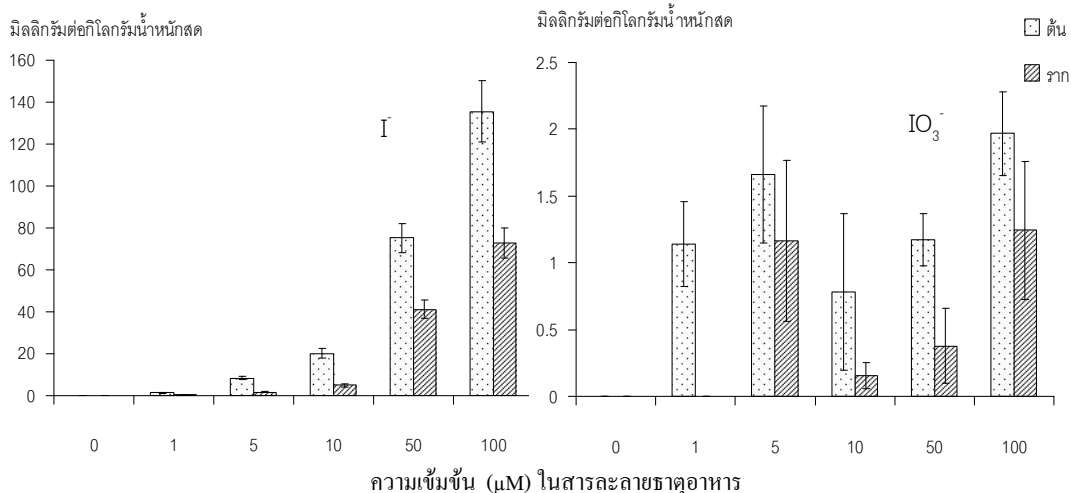
3.5 ปริมาณไอโอไดต์ในดินและราก

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณไอโอไดต์ที่สะสมในดินมากกว่าในราก และมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไอโอไดต์ในสารละลายธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้น โดยดินที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดต์ความเข้มข้น 1 และ 5 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณไอโอไดต์ในดิน เท่ากับ 1.32 ± 0.15 และ 8.39 ± 0.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับดินที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอไดต์ แต่น้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับดินที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดต์ความเข้มข้น 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ ที่มีปริมาณไอโอไดต์ เท่ากับ 20.14 ± 2.33 , 75.13 ± 6.94 และ 135.62 ± 14.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนในราก พบว่า ดินที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอไดต์ และที่เติมไอโอไดต์ความเข้มข้น 1 - 10 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณไอโอไดต์ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่น้อยกว่าและแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญยิ่งกับดินที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดต์ความเข้มข้น 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ ที่มีปริมาณไอโอไดต์ เท่ากับ 41.19 ± 4.45 และ 72.82 ± 7.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ภาพที่ 2)

3.6 ปริมาณไอโอเดเตนในดินและราก

ดินที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอเดเตความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์มีปริมาณไอโอเดเตสะสมในดินและรากมากที่สุด เท่ากับ 1.97 ± 0.31 และ 1.24 ± 0.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับดินที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอเดเตความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ที่มีปริมาณไอโอเดเตสะสมในดินและราก เท่ากับ 1.66 ± 0.51 และ 1.17 ± 0.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับปริมาณไอโอเดเตที่สะสมในดินและรากของดินที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอไดต์ และเติมไอโอเดเตความเข้มข้น 1, 10 และ 50 ไมโครโมลาร์ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ปริมาณไอโอไดต์และไอโอเดเต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่สะสมในดินและรากของผักบุ้งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 9 เมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีไอโอไดต์และไอโอเดเตความเข้มข้น 0, 1, 5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์

4. วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า การเติม ไอโอดีนลงในสารละลายธาตุอาหารทำให้การเจริญเติบโตของผักนึ่งจินลดลง โดยเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเติมไอโอดีนความเข้มข้นมากกว่า 10 ไมโครโมลาร์และเติมไอโอดีนที่ทุกความเข้มข้น ส่วนน้ำหนักสดและแห้งต้น และน้ำหนักสดรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเติมไอโอดีนที่ความเข้มข้นมากกว่า 10 ไมโครโมลาร์ หรือไอโอดีนที่ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ แต่การเติมไอโอดีนความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า การเติมไอโอดีนในความเข้มข้นต่ำจะส่งเสริมด้านผลผลิตของผักนึ่งจินพันธุ์ยอดไผ่ 9 อาจเนื่องจากไอโอดีน (I) เป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของผักชนิดนี้ ดังเช่นที่ Borst Pauwels [9] ได้รายงานไว้ว่า ไอโอดีนที่ความเข้มข้นต่ำในดิน (0.02 – 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีประโยชน์กับพืชหลายชนิด นอกจากนี้ สมบุญ [10] ได้กล่าวไว้ว่า พืชบางชนิดต้องการธาตุอาหารอื่นๆ โดยเฉพาะในการเจริญเติบโต นอกเหนือไปจากธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 16 ชนิด ธาตุอาหารเหล่านั้น ได้แก่ โคบอลต์ (Co) โซเดียม (Na) อลูมิเนียม (Al) แวนาเดียม (V) ซีลีเนียม (Se) ไอโอดีน (I) และซิลิกอน (Si) โดยเรียกธาตุเหล่านี้ว่า beneficial elements อย่างไรก็ตาม ถ้าปริมาณไอโอดีนและไอโอดีนในสารละลายที่มากเกินไปส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของผักนึ่งจินพันธุ์ยอดไผ่ 9 ซึ่ง สอดคล้องกับพดล [11] ที่กล่าวว่า ธาตุไอโอดีนช่วยทำให้พืชมีใบเขียวสด พบได้ในดินถั่ว ดินผักกาดหอม และดินผักโขม ถ้าพืชดูดซึมไอโอดีนเข้าสู่ต้นมากเกินไปจะทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ใน

สารละลายธาตุอาหารจึงไม่ควรมีธาตุไอโอดีนเข้มข้นเกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ จากการทดลอง ยังพบว่าไอโอดีนมีผลต่อการเจริญเติบโตมากกว่า ไอโอดีนโดยเฉพาะน้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Weng และคณะ [6] ที่พบว่าสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไอโอดีนตั้งแต่ 0.5 - 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้การเจริญเติบโตของผักนึ่งจินลดลง โดยการเติมไอโอดีนจากกรดไอโอดีนแอซิดิก (CH_2IO_3) มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของผักนึ่งจินมากที่สุด รองลงมาคือ ไอโอดีน (I) และไอโอดีน (IO_3^-) ตามลำดับ Weng และคณะ [12] ยังได้ศึกษาในกะหล่ำปลี และพบว่าน้ำหนักแห้งของกะหล่ำปลีเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไอโอดีนน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อความเข้มข้นของไอโอดีนเท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือมากกว่าส่งผลให้น้ำหนักแห้งลดลง ในขณะที่ไอโอดีนความเข้มข้นน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรส่งเสริมให้น้ำหนักแห้งของกะหล่ำปลีเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของไอโอดีนเท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือมากกว่ามีผลทำให้น้ำหนักแห้งของกะหล่ำปลีลดลง เช่นเดียวกับ Zhu และคณะ [5] ที่พบว่า การเสริมไอโอดีนความเข้มข้น 0 – 100 ไมโครโมลาร์ในสารละลายสำหรับปลูกปวยเล้งไม่มีผลต่อน้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก แต่การเติมไอโอดีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์หรือมากกว่ามีผลทำให้น้ำหนักสดและแห้งของต้นและรากปวยเล้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ Mackowiak และ Grossl [4] ยังพบว่า การเสริมไอโอดีนความเข้มข้น 1 และ 10 ไมโครโมลาร์ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว แต่ไอโอดีนความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์มีผลกระทบเพียงเล็กน้อย ในขณะที่การเสริมไอโอดีนที่ความเข้มข้น

10 และ 100 ไมโครโมลาร์ส่งผลให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวลดลงอย่างมาก เมื่อพิจารณาการสะสมไอโอไดด์และไอโอเดตในดินและรากของ ผักบุงจิ้น จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีการสะสม ไอโอไดด์ในดินมากกว่าในราก และสะสมไอโอไดด์ ในปริมาณที่มากกว่าไอโอเดต ทั้งนี้อาจเนื่องจาก คุณสมบัติทางเคมีของไอโอดีน โดยพืชจะดูด ไอโอดีนลดลงเมื่อจำนวนวาเลนซ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่ง ไอโอไดด์ (I) มีจำนวนวาเลนซ์เท่ากับ -1 ในขณะที่ ไอโอเดต (IO₃⁻) มีจำนวนวาเลนซ์ เท่ากับ +5 ดังนั้น การดูดไอโอไดด์ไปสะสมในเนื้อเยื่อพืชจึงมากกว่า ไอโอเดต [13] อีกทั้งอาจเป็นไปได้ว่าพืชสามารถดูด ไอโอไดด์ได้โดยตรงและสะสมในเนื้อเยื่อพืชปริมาณ สูง ในขณะที่ไอโอเดตมีการเปลี่ยนรูปไปเป็น ไอโอไดด์ได้ในสารละลายธาตุอาหารก่อนพืชจะดูด ไปใช้ ทำให้อัตราการดูด ไอโอเดตเกิดขึ้นได้น้อยและ ช้ากว่าการดูดไอโอไดด์เนื่องจากกระบวนการรีดักชัน ส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นที่ปลูกในสารละลาย ที่เติมไอโอไดด์ได้รับผลกระทบมากกว่าต้นที่ปลูกใน สารละลายที่เติมไอโอเดต [14] ยกเว้นที่ไอโอเดต ความเข้มข้นสูง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Zhu และคณะ [5] ที่ทดลองปลูกปวยเล้ง พบว่า มีการสะสม ไอโอไดด์และไอโอเดตในดินมากกว่าในราก และ สะสมไอโอไดด์ในปริมาณที่มากกว่าไอโอเดต เช่นเดียวกับการสะสมไอโอไดด์ในกะหล่ำปลี พบว่า มากกว่าไอโอเดตที่ความเข้มข้นเดียวกันในสารละลาย ธาตุอาหาร [11] และในผักบุงจิ้นจากการศึกษาของ Weng และคณะ [6] พบว่าการเติมไอโอดีนในรูปของ กรดไอโอโดแอซิดเกิดการสะสมของไอโอดีนในดิน และรากของผักบุงจิ้น มากที่สุด รองลงมาคือ ไอโอไดด์ และไอโอเดต ตามลำดับ แต่มีการสะสม ไอโอไดด์ในรากสูงกว่าในดิน จากการศึกษาสามารถ

สรุปได้ว่า การเติมไอโอไดด์หรือไอโอเดตความ เข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ ผักบุงจิ้นพันธุ์ยอดไม้ 9 และปริมาณไอโอไดด์และ ไอโอเดตที่สะสมในดินเพียงพอต่อความต้องการของ ร่างกาย อย่างไรก็ตามการเติมไอโอไดด์ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์มีไอโอไดด์สะสมในดินปริมาณที่ มากกว่าการเติมด้วยไอโอเดตที่ความเข้มข้นเดียวกัน ดังนั้นจึงควรเติมไอโอไดด์ที่ความเข้มข้น 1 ไมโคร โมลาร์ในสารละลายธาตุอาหารเพื่อปลูกผักบุงจิ้นพันธุ์ ยอดไม้ 9 เสริมไอโอดีน

5. สรุปผลการทดลอง

การเติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 1 - 5 ไมโคร โมลาร์ และไอโอเดตความเข้มข้น 1 - 50 ไมโคร โมลาร์ในสารละลายธาตุอาหารไม่มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักบุงจิ้นพันธุ์ยอดไม้ 9 และการเติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ใน สารละลายธาตุอาหาร ทำให้มีไอโอไดด์สะสมในดิน เท่ากับ 1.32 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก งบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปี 2550 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคุณภัทรพล จังสถิตย์กุล, คุณ ปริดาวรรณ สิงห์เถื่อน, คุณชนัชชา ชัยดา และ คุณศิริ นทร์ธร มณีโชติที่ช่วยทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไป ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุภาวดี เมืองพรหม, ผลการรณรงค์โรคคอกพอก: เด็กนักเรียนโรงเรียนบ้านย่านคู่นำปลาทำปลา จังหวัดอุดรธานี, สารนิพนธ์สำนักบัณฑิตอาสาสมัคร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 57 หน้า, 2533.
- [2] นิธิยา รัตนาปนนท์, เคมีอาหาร, สำนักพิมพ์โอเดียน สโตร์, กรุงเทพฯ, 487 หน้า, 2545.
- [3] เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, หลักโภชนาการปัจจุบัน, ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพฯ, 222 หน้า, 2532.
- [4] Mackowiak, C. L. and Grossl, P. R., Iodate and Iodide Effect on Iodine Uptake and Partitioning in Rice (*Oryza sativa* L.) Grown in Solution Culture, *Plant Soil*, Vol. 212, pp. 135-143, 1999.
- [5] Zhu, Y. G., Huang, Y. Z., Hu, Y. and Liu, Y. X., Iodine Uptake by Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Plants Grown in Solution Culture: Effects of Iodine Species and Solution Concentrations, *Environmental International*, Vol. 29, pp. 33 – 37, 2003.
- [6] Weng, H. X., Yan, A. L., Hong, C. L., Xie, L. L., Qin Y. C. and Cheng, C. Q., Uptake of Different Species of Iodine by Water Spinach and Its Effect to Growth, *Biological Trace Element Research*, Vol. 124, pp. 184 – 194, 2008.
- [7] Hoagland, D. R. and Arnon, D. I., The Water - culture Method for Growing Plants without Soil, *California Agricultural Experimental Station Circular*, Vol. 347, pp. 1 - 32, 1950.
- [8] เขียวพา จิระเกียรติกุล และนภาพร ชัยวิเศษ, อิทธิพลของไอโอดีนต่อการเจริญเติบโต และการสะสมในผักโดยการปลูกในสารละลายธาตุอาหาร, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 111 หน้า, 2551.
- [9] Borst Pauwels G. W F. H., Iodine as a Micronutrient for Plant, *Plant Soil*, Vol. 14, pp. 665 – 671, 1961.
- [10] สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, ศรีวิทยาของพืช, ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 213 หน้า, 2538.
- [11] นพดล เรียบเลิศหิรัญ, การปลูกพืชไร้ดิน, สำนักพิมพ์รั้วเขียว, กรุงเทพฯ, 100 หน้า, 2538.
- [12] Weng, H. X., Hong, C. L., Yan, A. L., Pan, L. H., Qin, Y. C., Bao L. T. and Xie, L. L., Mechanism of Iodine Uptake by Cabbage: Effect of Iodine Species and Where It Is Stored, *Biological Trace Element Research*, Vol. 125, pp. 59 – 71, 2008.
- [13] Umaly, R.C. and Poel, L.W., Effects of Iodine in Various Formulations on the Growth of Barley and Pea Plants in Nutrient Solution Culture, *Ann. Bot.*, Vol. 35, pp. 127 – 131, 1971.
- [14] Whitehead, D. C., Uptake by Perennial Ryegrass of Iodide, Elemental Iodide, and Iodate Added to Soil as Influenced by Various Amendments, *J. Sci. Food Agric.*, Vol. 26, pp. 361 – 7, 1975.