

ผลของไอโอไดด์และไอโอเดตต่อการเจริญเติบโต และการสะสม ในผักบุ้งจีนที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

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

นิสา แซ่ลิ่ม 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 ผลผลิตและการสะสมในผักบุ้งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 9 ในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบสารละลายที่มีการเติมอากาศ 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 ไมโครโมลาร์ในสารละลายธาตุอาหารไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบุ้งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 9 และมีปริมาณไอโอไดด์สะสมในต้นเท่ากับ 1.32 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งปริมาณสะสมดังกล่าวมากกว่าปริมาณไอโอเดตที่สะสมเมื่อเติมที่ความเข้มข้นเดียวกัน และเพียงพอต่อการเสริมไอโอดีนเพื่อการบริโภค

คำสำคัญ: การเจริญเติบโต ผักบุ้งจีน ไฮโดรโปนิกส์ 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 ถ้าร่างกายได้รับสารไอโอดีนไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายก็จะทำให้ต่อมไทรอยด์โตขึ้นเรียกว่า คอพอก (simple goiter) ส่งผลให้สมองทึบ เหนื่อยง่าย และร่างกายเจริญเติบโตช้า [1] โดยทั่วไปไอโอดีนอยู่ในรูปของเกลือไอโอไดด์ (iodide) หรือเกลือไอโอเดต (iodate) พบได้น้อยในอาหาร ยกเว้นในอาหารทะเลที่มีไอโอดีนประมาณ 400 มิลลิกรัมต่อ

100 กรัม โรคคอพอกและโรคปัญญาอ่อนในเด็กหรือโรคเอ๋ยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งอาจเกิดจากผู้บริโภคมีฐานะยากจน ไม่สามารถซื้ออาหารทะเลมาบริโภคได้เพียงพอ รวมทั้งไม่นิยมปรุงอาหารด้วยเกลือผสมไอโอดีน หรือเกลือไอโอดีนที่ใช้ อาจมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน ผู้ใหญ่ต้องการไอโอดีนวันละประมาณ 150 ไมโครกรัม [2] หากบริโภคเกลือไอโอดีนเฉลี่ย 2 กรัม จะได้รับไอโอดีน 60 ไมโครกรัม จึงจะเพียงพอต่อการป้องกันการเกิดโรคคอพอก [3] จากปัญหาดังกล่าวจึงควรมีทางเลือกอื่นในการส่งเสริมให้ผู้บริโภคได้รับธาตุไอโอดีน เช่น การผลิตผักเสริมไอโอดีน มีการศึกษาการเสริมไอโอดีนในรูปไอโอไดด์และไอโอเดตในพืชบางชนิด

เช่น ข้าว พบว่า มีไอโอดีนสะสมเพิ่มขึ้นในส่วนของ
ต้น ใบ และราก แต่มันลืมน้ำข้าวพบน้อยมาก เนื่องจาก
ปัญหาของการเคลื่อนย้ายธาตุทางท่อลำเลียงอาหาร
(phloem transport) [4] หรือในผักปวยเล้ง การเสริม
ไอโอไดด์ที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 10 ไมโคร
โมลาร์ ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของปวยเล้ง
ลดลง และเมื่อนำต้นมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน
พบว่า การเสริมไอโอเดที่ระดับความเข้มข้น 1
ไมโครโมลาร์ มีไอโอดีนเข้มข้นประมาณ 3 มิลลิกรัม
ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสดใบ ซึ่งเพียงพอต่อการ
บริโภค [5] ส่วนในผักบุงจิ้นได้มีการศึกษาโดย Weng
และคณะ [6] ซึ่งใช้ไอโอดีน 3 ชนิด คือ ไอโอไดด์
(I⁻), ไอโอเดต (IO₃⁻) และกรดไอโอโคแอซิดิก
(CH₂ICOO⁻) จาก NaI, NaIO₃ และ CH₂ICoONa
พบว่า ความเข้มข้นของไอโอดีนตั้งแต่ 0.5 - 5.0
มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้การเจริญเติบโตของ
ผักบุงจิ้นลดลง และไอโอดีนต่างชนิดกันทำให้มีการ
สะสมไอโอดีนในต้นต่างกันด้วย โดยกรดไอโอโค
แอซิดิกมีการสะสมของไอโอดีนในเนื้อเยื่อมากที่สุด
รองลงมาคือ ไอโอไดด์ และ ไอโอเดต ตามลำดับ
อย่างไรก็ตามการเสริมไอโอดีนในรูปไอโอไดด์ และ
ไอโอเดตจากโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) และ
โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO₃) ในผักบุงจิ้นยังไม่มี
การศึกษา ดังนั้นในการศึกษารั้วนี้เป็นการทดลอง
เสริมไอโอดีนในรูปไอโอไดด์และไอโอเดตที่ความ
เข้มข้นต่างๆ เพื่อศึกษาถึงผลของไอโอดีนทั้ง 2 รูปต่อ
การเจริญเติบโตและการสะสมในต้นและรากของ
ผักบุงจิ้น ซึ่งการเสริมไอโอดีนในผักบุงจิ้นนอกจาก
จะเพิ่มคุณค่าทางอาหารแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าทาง
การค้าของผลผลิตอีกด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ก่อนเพาะเมล็ด นำเมล็ดผักบุงจิ้นพันธุ์ยอด
ไผ่ 9 แขนงในน้ำเดือด (100 องศาเซลเซียส) นาน 30
วินาที จากนั้นแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24
ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นให้เกิดการงอก เลือกเมล็ดที่ดูน้ำ
และพองมาเพาะในฟองน้ำที่ชุ่มน้ำขนาด 3x3
เซนติเมตร ที่รัดตรงกลางลึกประมาณ 1 เซนติเมตร
ใส่ 2 เมล็ดต่อช่อง นำฟองน้ำไปแช่ในน้ำกลั่นเป็น
เวลา 3 วัน คัดเลือกต้นกล้าที่มีขนาดใกล้เคียงกันโดย
ให้เหลือต้นกล้าเพียง 1 ต้นต่อช่อง แล้วย้ายต้นกล้ามา
เพาะในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland and
Arnon [7] ความเข้มข้นครึ่งเท่าที่มีไอโอดีน 2 รูป คือ
ไอโอไดด์และไอโอเดต 6 ระดับความเข้มข้น 0, 1, 5,
10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ โดยใช้ไอโอดีนจาก
โพแทสเซียมไอโอไดด์และโพแทสเซียมไอโอเดต
เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นนำต้นกล้าย้ายลงกระบะ
พลาสติกที่บรรจุสารละลายความเข้มข้น 1 เท่า โดย
เติมไอโอไดด์และไอโอเดตความเข้มข้นต่างๆ
เช่นเดียวกับช่วงแรกในระบบปลูกแบบสารละลายที่มี
การเติมอากาศเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ วางแผนการ
ทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD)
มี 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 10 ต้น เมื่อดันผักบุงจิ้นมีอายุ 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
ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอไดด์ด้วยวิธี
Potentiometry ร่วมกับ Ion Selective Electrode (ISE)

และไอโอเดคด้วยวิธี Flow Injection Analysis (FIA) ที่สะสมในดินและรากตามวิธีของเยาวยาและนภาพร [8] วิเคราะห์ตามวิธีการทดลองแบบ CRD ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ 99% โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Statistical Analysis System (SAS) เวอร์ชัน 6.2

3. ผลการทดลอง

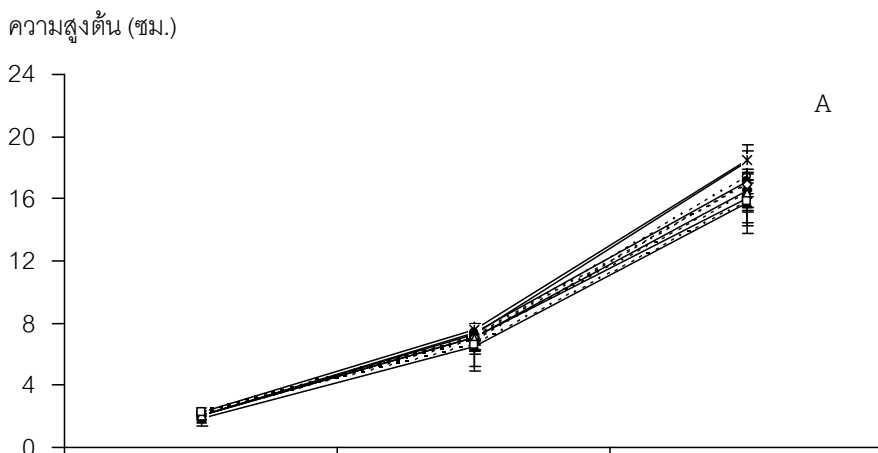
3.1 ความสูงต้น

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

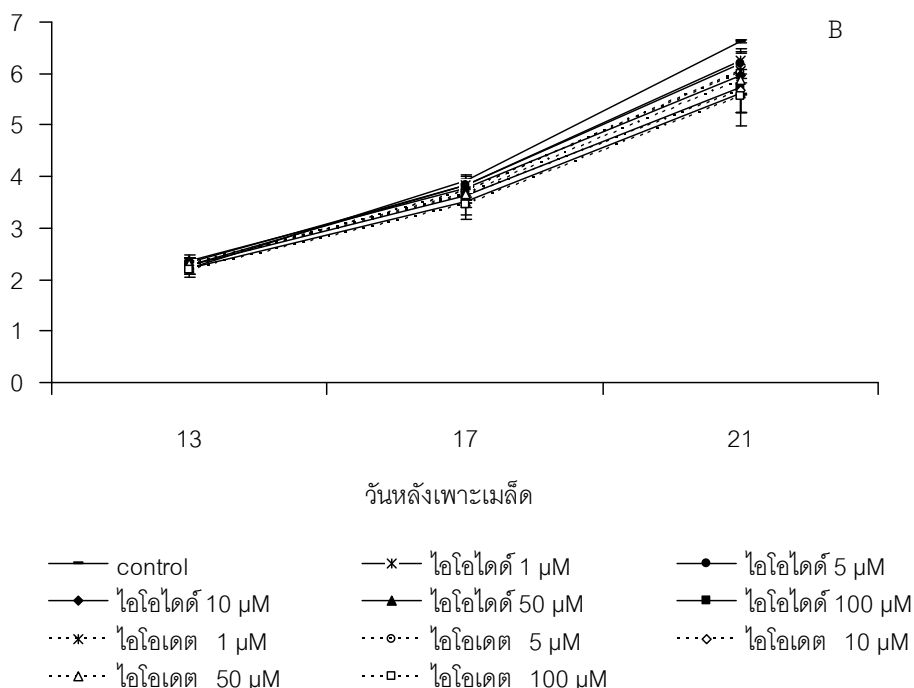
มีความสูงต้นน้อยที่สุด คือ 1.88 ± 0.50 , 6.45 ± 1.57 และ 15.73 ± 1.95 เซนติเมตร เมื่ออายุ 13, 17 และ 21 วันหลังเพาะเมล็ด ตามลำดับ (ภาพที่ 1A)

3.2 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

เมื่อต้นผักบุ้งจีนมีอายุ 13 และ 17 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดค์ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงสุด เท่ากับ 2.35 ± 0.06 มิลลิเมตร เมื่ออายุ 13 วันหลังเพาะเมล็ด และต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอได้นั้น มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงสุด เท่ากับ 3.92 ± 0.02 มิลลิเมตร เมื่ออายุ 17 วันหลังเพาะเมล็ด ส่วนที่อายุ 21 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า ต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอได้นั้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 6.62 ± 0.04 มิลลิเมตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดค์ความเข้มข้น 10 - 100 ไมโครโมลาร์ และไอโอเดคทุกความเข้มข้น (ภาพที่ 1B)



เส้นผ่าศูนย์กลางกลางลำต้น (มม.)



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

ความเข้มข้น		จำนวนใบ ^{1/} เมื่ออายุ (วันหลังเพาะเมล็ด)		
(ไมโครโมลาร์)		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
IO ₃ ⁻	100	2.0 ± 0.1	5.9 ± 0.2 ^{abc}	12.1 ± 0.8
	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)

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.4 น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก

ต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอดีนมีน้ำหนักสดต้นมากที่สุด เท่ากับ 14.57 ± 0.83 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดค์ความเข้มข้น 1 – 10 ไมโครโมลาร์ และไอโอเดตความเข้มข้น 1 – 50 ไมโครโมลาร์ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับต้นที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดค์

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

สารละลายธาตุอาหารที่เติมไอโอไดค์ความเข้มข้น 50 - 100 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักสดรากน้อยที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกว่าดินที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมไอโอดีน, เติมไอโอไดค์ความเข้มข้น 1 – 5 ไมโครโมลาร์ และเติมไอโอเดคความ

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

ตารางที่ 2 น้ำหนักสดและแห้งของดินและรากของผักบุ้งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 9 ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีไอโอไดค์และไอโอเดคความเข้มข้น 0, 1, 5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์

ความเข้มข้น (ไมโครโมลาร์)	ดิน ^{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 $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

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

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

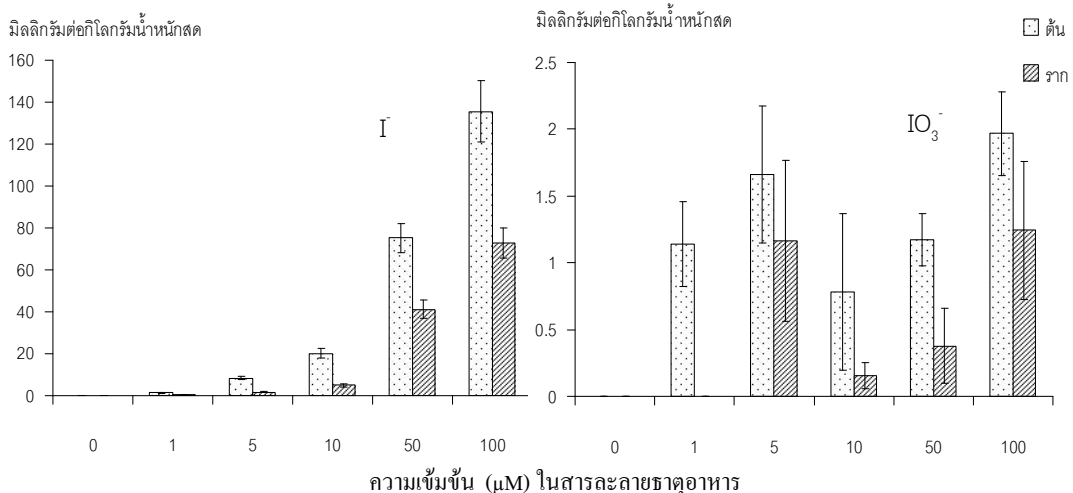
3.5 ปริมาณไอโอไดต์ในดินและราก

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 ที่มีปริมาณไอโอไดต์เท่ากับ 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 การเติมไอโอดีนลงในสารละลายธาตุอาหารทำให้การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนลดลง โดยเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเติมไอโอดีนความเข้มข้นมากกว่า 10 ไมโครโมลาร์และเติมไอโอดีนที่ทุกความเข้มข้น ส่วนน้ำหนักสดและแห้งต้น และน้ำหนักสดรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเติมไอโอดีนที่ความเข้มข้นมากกว่า 10 ไมโครโมลาร์ หรือไอโอดีนที่ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ แต่การเติมไอโอดีนความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า การเติมไอโอดีนในความเข้มข้นต่ำจะส่งเสริมด้านผลผลิตของผักบุ้งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 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 ธาตุอาหารเหล่านี้ ได้แก่ โคบอลต์ (Co) โซเดียม (Na) อลูมิเนียม (Al) แวนาเดียม (V) ซีลีเนียม (Se) ไอโอดีน (I) และซิลิกอน (Si) โดยเรียกธาตุเหล่านี้ว่า beneficial elements อย่างไรก็ตาม ถ้าปริมาณไอโอดีนและไอโอดีนในสารละลายที่มากเกินไปส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 9 ซึ่งสอดคล้องกับพดล [11] ที่กล่าวว่า ธาตุไอโอดีนช่วยให้พืชมีใบเขียวสด พบได้ในต้นถั่ว ต้นผักกาดหอม และต้นผักโขม ถ้าพืชดูดซึมไอโอดีนเข้าสู่ต้นมากเกินไปจะทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ใน

สารละลายธาตุอาหารจึงไม่ควรมีธาตุไอโอดีนเข้มข้นเกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ จากการทดลองยังพบว่าไอโอดีนมีผลต่อการเจริญเติบโตมากกว่าไอโอดีน โดยเฉพาะน้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Weng และคณะ [6] ที่พบว่าสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไอโอดีนตั้งแต่ 0.5 - 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนลดลง โดยการเติมไอโอดีนจากกรดไอโอดีนแอซิดิก (CH_2IO_3^-) มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนมากที่สุด 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] ยังพบว่าการเสริมไอโอดีนความเข้มข้น 1 และ 10 ไมโครโมลาร์ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว แต่ไอโอดีนความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์มีผลกระทบเพียงเล็กน้อย ในขณะที่การเสริมไอโอดีนที่ความเข้มข้น

10 และ 100 ไมโครโมลาร์ส่งผลให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวลดลงอย่างมาก เมื่อพิจารณาการสะสมไอโอไดด์และไอโอเดตในดินและรากของผักนึ่งจีน จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีการสะสมไอโอไดด์ในดินมากกว่าในราก และสะสมไอโอไดด์ในปริมาณที่มากกว่าไอโอเดต ทั้งนี้อาจเนื่องจากคุณลักษณะทางเคมีของไอโอดีน โดยพืชจะดูดไอโอดีนลดลงเมื่อจำนวนวาเลนซ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งไอโอไดด์ (I^-) มีจำนวนวาเลนซ์เท่ากับ -1 ในขณะที่ไอโอเดต (IO_3^-) มีจำนวนวาเลนซ์ เท่ากับ +5 ดังนั้นการดูดไอโอไดด์ไปสะสมในเนื้อเยื่อพืชจึงมากกว่าไอโอเดต [13] อีกทั้งอาจเป็นไปได้ว่าพืชสามารถดูดไอโอไดด์ได้โดยตรงและสะสมในเนื้อเยื่อพืชปริมาณสูง ในขณะที่ไอโอเดตมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นไอโอไดด์ได้ในสารละลายธาตุอาหารก่อนพืชจะดูดไปใช้ ทำให้อัตราการดูดไอโอเดตเกิดขึ้นได้น้อยและช้ากว่าการดูดไอโอไดด์เนื่องจากกระบวนการรีดักชันส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นที่ปลูกในสารละลายที่เติมไอโอไดด์ได้รับผลกระทบมากกว่าต้นที่ปลูกในสารละลายที่เติมไอโอเดต [14] ยกเว้นที่ไอโอเดตความเข้มข้นสูง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Zhu และคณะ [5] ที่ทดลองปลูกปวยเล้ง พบว่า มีการสะสมไอโอไดด์และไอโอเดตในดินมากกว่าในราก และสะสมไอโอไดด์ในปริมาณที่มากกว่าไอโอเดต เช่นเดียวกับการสะสมไอโอไดด์ในกะหล่ำปลี พบว่ามากกว่าไอโอเดตที่ความเข้มข้นเดียวกันในสารละลายธาตุอาหาร [11] และในผักนึ่งจีนจากการศึกษาของ Weng และคณะ [6] พบว่าการเติมไอโอดีนในรูปของกรดไอโอดแอซิดเกิดการสะสมของไอโอดีนในดินและรากของผักนึ่งจีน มากที่สุด รองลงมาคือไอโอไดด์ และไอโอเดต ตามลำดับ แต่มีการสะสมไอโอไดด์ในรากสูงกว่าในดิน จากการศึกษาสามารถ

สรุปได้ว่า การเติมไอโอไดด์หรือไอโอเดตความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 9 และมีปริมาณไอโอไดด์และไอโอเดตที่สะสมในดินเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย อย่างไรก็ตามการเติมไอโอไดด์ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์มีไอโอไดด์สะสมในดินปริมาณที่มากกว่าการเติมด้วยไอโอเดตที่ความเข้มข้นเดียวกัน ดังนั้นจึงควรเติมไอโอไดด์ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ในสารละลายธาตุอาหารเพื่อปลูกผักนึ่งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 9 เสริมไอโอดีน

5. สรุปผลการทดลอง

การเติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 1 - 5 ไมโครโมลาร์ และไอโอเดตความเข้มข้น 1 - 50 ไมโครโมลาร์ในสารละลายธาตุอาหารไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักนึ่งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 9 และการเติมไอโอไดด์ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ในสารละลายธาตุอาหาร ทำให้มีไอโอไดด์สะสมในดินเท่ากับ 1.32 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปี 2550 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัยที่ให้ทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคุณคุณภัทรพล จังสติดิษฐ์กุล, คุณปริดาวรรณ สิงห์เถื่อน, คุณชนัชชา ชัยดา และ คุณศรินทร์ธร มณีโชติที่ช่วยทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุภาวดี เมืองพรหม, ผลการรณรงค์โรคคอพอก: เด็กนักเรียนโรงเรียนบ้านย่านคู่นำปลาทู ปลา จังหวัดอุดรธานี, สารนิพนธ์สำนักบัณฑิตอาสาสมัคร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 57 หน้า, 2533.
- [2] นิธิยา รัตนปณนท, 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 ชังวิเศษ, 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, ศรีวิทย์ของพืช, ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 213 หน้า, 2538.
- [11] นพดล เรียบเลิศหิรัญ, การปลูกพืชไร้ดิน, สำนักพิมพ์ร่วมเขียว, 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.