หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 <u>การเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองของสารละลาย HOAGLAND เบอร์ 2 (น้ำควบคุม) และน้ำบึงมักกะสัน</u>

4.1.1 <u>สารละลาย HOAGLAND เบอร์ 2</u> จากการศึกษาลักษณะสมบัติบางประการของน้ำควบคุม ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่า

4.1.1.1 ค่าพีเอช ของน้ำควบคุม (T1) ทั้งก่อนและหลังการทดลองอยู่ในระดับ 6.5 น้ำมีสภาพเป็นกรดอ่อน หรือเกือบเป็นกลาง ซึ่งเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่ที่เจริญเติบโตในดิน หรือสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.0 (กลุ่มหนังสือเกษตร,2525) ถ้าพีเอชของสารละลายธาตุอาหารที่ปลูกพืชมีค่าต่ำหรือสูงกว่านี้มากๆ รากพืชจะเป็นอันตราย เนื่องจากกระบวนการออสโมซิส ส่วนค่าการนำไฟฟ้าของน้ำควบคุมก่อนและหลังการทดลองเท่ากับ 3,500 และ1,200 ไมโครโมห์/เซนติเมตร ตามลำดับ แสดงว่าปริมาณอิออนของธาตุต่างๆ ในสารละลายภายหลังการทดลองแล้วมีค่าลดลง (โดยที่ปริมาณอิออนของธาตุในสารละลาย แสดงออกมาในรูปการนำไฟฟ้า) ซึ่งเป็นการชี้แนะว่าพืชทดลองอาจดูดซึมธาตุอาหารต่างๆ ไปใช้ในการเจริญเติบโต หรือดูดซึม เข้าไปสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ราก ลำต้น และใบ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Stout,1961 ที่กล่าวว่าค่าการนำไฟฟ้าในช่วง 1,800-6,000 ไมโครโมห์/เซนติเมตร เป็นช่วงที่เหมาะสมที่มีธาตุอาหารที่พืชต้องการ และสามารถดูดซึมนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้

4.1.1.2 ปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำควบคุมได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 114.10 11.66 และ300 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ความอุดมสมบูรณ์ของด่างกลางที่พืชสามารถนำธาตุอาหารมาใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต (ตารางที่ 4.2) จะเห็นได้ว่าปริมาณไนโตรเจน และโปตัสเซียม จัดอยู่ในระดับที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง แต่ก็ไม่เป็นอุปสรรคในการที่พืชจะเจริญงอกงามได้ แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองภายหลัง 8 สัปดาห์ พบว่าปริมาณธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม ลดลงประมาณร้อยละ 97.68 98.61 และ92.76 ของปริมาณก่อนการทดลอง ตามลำดับ ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าพืชดูดซึมเข้าไปใช้ในการเจริญเติบโต

ส่วนปริมาณโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุของพืชคือ เหล็ก และแมงกานีสนั้น โดยทั่วไปพืชต้องการจุลธาตุเหล่านี้เพื่อการเจริญเติบโตประมาณ 4.15 และ 1.0 พีพีเอ็ม (Davies,1980) แต่ในน้ำควบคุมมีปริมาณธาตุเหล็กและแมงกานีสเท่ากับ 20.64 และ 1.25 พีพีเอ็ม ตามลำดับ จึงจัดได้ว่ามีปริมาณที่เพียงพอต่อการที่พืชจะดูดซึมเข้าไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต แต่ปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษต่อพืชซึ่งได้แก่ ตะกั่ว และแคดเมียม พบว่ามีปริมาณน้อยมาก จนต่ำกว่าความ

สามารถของเครื่องมือที่ตราจวิเคราะห์ได้ (<0.01 พีพีเอ็ม) ทั้งก่อนและหลังการทดลอง (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำบึงมักกะสันและสารละลาย HOAGLANDก่อนและหลังการปลูกผักคะน้า

พารามิเตอร์	ค่าปัจจัยคุณภาพน้ำและปริมาณแร่ธาตุต่างๆ			
	น้ำบึงมักกะสัน		สารละลาย HOAGLAND	
	ก่อนปลูก	หลังปลูก	ก่อนปลูก	หลังปลูก
pH	8.13	7.30	6.50	6.50
CONDUCTIVITY (umho/cm.)	2250.00	500.00	3500.00	1200.00
AMMONIUM-NITROGEN(ppm)	21.84	0.00	58.58	0.00
NITRATE-NITROGEN(ppm)	4.49	0.61	55.52	0.46
PHOSPHORUS(ppm)	15.14	0.21	11.66	1.82
POTASSIUM(ppm)	14.50	1.05	300.00	38.00
MAGNESIUM(ppm)	0.92(38.70)*	12.99	55.07	46.63
CADMIUM(ppm)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
IRON(ppm)	0.81(5.62)*	0.37	20.64	1.03
MANGANESE(ppm)	0.22(0.57)*	0.142	1.25	0.142
LEAD(ppm)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

หมายเหตุ N.D.= NON DETECTABLE (มีปริมาณที่วิเคราะห์ได้น้อยกว่า 0.01 พีพีเอ็ม)

ตารางที่ 4.2 การประเมินระดับธาตุอาหารพืชและค่าวิเคราะห์ต่างๆ ในดินทั่วไป(ppm)

ระดับ	ฟอสฟอรัส(P)	โปตัสเซียม(K)	แคลเซียม(Ca)	แมกนีเซียม(Mg)
ต่ำมาก	< 6	< 31	.....	.....
ต่ำ	6-10	31-60	< 101	< 26
ปานกลาง	11-25	61-90	101-200	26-50
สูง	26-45	91-120	201-400	51-100
สูงมาก	46-100	121-240	301-400	101-200
สูงมากเกิน	101+	241+	401(?)+	201(?)+

ระดับ	อินทรีย์วัตถุ (OM) %	ความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวก(CEC) me/100g	ความอิ่มตัวธาตุประจุจำพวกด่าง me/ ดิน 100 กรัม
ต่ำมาก	<0.5	< 5	.....
ต่ำ	0.5-1.4	5-9	< 35
ปานกลาง	1.5-2.9	10-19	35-74
สูง	3.0-4.4	20-29	75 +
สูงมาก	4.5 +	30 +	.....

ปฏิกิริยาของดิน

pH	ความเป็นกรดด่าง	ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช
> 7.0	ด่าง	ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุอาหารพืชลดน้อยลง
7.0	กลาง	ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุอาหารพืชบางชนิดน้อย
6.9-6.0	กรดเล็กน้อย	เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของพืชทั่วไป (pH 6.5)
5.9-5.5	กรดปานกลาง	ปลูกพืชบางชนิดต้องใส่ปูน เช่นพริก มะเขือเทศ
5.4-4.5	กรดจัด	ปลูกพืชเศรษฐกิจเกือบทุกชนิดต้องใส่ปูนปรับสภาพความเป็นกรด

ดังนั้นแม้พืชอาจจะดูดซึมเข้าไปสะสมไว้จนหมดปริมาณที่มีอยู่ในน้ำ ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ตารางที่ 4.3)

สำหรับปริมาณธาตุอาหารรองคือ แมกนีเซียม พืชส่วนใหญ่ไม่ขาดธาตุนี้ เพราะในปุ๋ยต่างๆ ที่ใช้มักจะมีปะปนลงไปเสมอ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา,2530) ซึ่งในน้ำควบคุมก่อนการทดลองมีปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 55.063 พีพีเอ็ม (ตารางที่ 4.1) จึงจัดได้ว่าเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของผักคะน้า (ตารางที่ 4.4)

จากการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารรอง และโลหะหนักพวกจุลธาตุเหล่านี้เมื่อสิ้นสุดการทดลองภายหลัง 8 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณแมกนีเซียม เหล็ก และแมงกานีส ลดลงประมาณร้อยละ 66.43 93.42 และ75.09 ของปริมาณก่อนการทดลอง ตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณธาตุอาหารหลักซึ่งเป็นไปได้ว่า พืชดูดซึมเพื่อไปใช้ทำให้ปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้ลดลง (ตารางที่ 4.3)

4.1.2 <u>น้ำบึงมักกะสัน</u> จากการศึกษาลักษณะสมบัติบางประการของน้ำบึงมักกะสัน (สำหรับการทดลองที่ 2) ตามตารางที่ 3.2 พบว่า

4.1.2.1 ค่าพีเอช และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบึงมักกะสันที่นำมาทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 8.5 และ 2,250 ไมโครโมห์/เซนติเมตร ตามลำดับ แสดงว่าน้ำบึงมักกะสัน ส่วนใหญ่มีสภาพเป็นด่าง แต่ไม่เกินระดับมาตรฐานของคุณภาพน้ำผิวดิน (พีเอชมีค่าประมาณ 6.0-8.5) และมีปริมาณธาตุอาหารเพียงพอต่อความต้องการของพืช เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับที่มากเพียงพอเหมือนดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น จากสภาพน้ำบึงมักกะสันที่เป็นด่างนี้ทำให้ระดับธาตุอาหารบางชนิดเปลี่ยนไป เนื่องจากฟอสเฟตจะถูกตรึงด้วยแคลเซียม และแมกนีเซียม กลายเป็นสารประกอบไตรแคลเซียมฟอสเฟต [$Ca_5(PO_4)_3(OH)_2$] และแมกนีเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($MgHPO_4$) ตามลำดับ ทำให้ปริมาณอิออนในน้ำมีน้อย ส่งผลให้มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งจะมีผลต่อการที่พืชจะนำธาตุอาหารต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ได้ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าของบึงมักกะสันมีค่าลดลงเป็น 7.30 และ 500 ไมโครโมห์/เซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนที่ให้แก่น้ำจากการปั๊มอากาศลงไปเพื่อให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนเพียงพอแก่การหายใจของราก ทำให้สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายกลายเป็นกรด ดังสมการ

$$NH_4^+ \xrightarrow[\text{nitrification}]{\text{oxygen}} NO_3^-$$

จึงมีผลทำให้ความเป็นด่างลดลง และปริมาณแร่ธาตุถูกพืชดูดไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้มีอิออนเหลือปริมาณน้อยส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าต่ำ (King and Morris,1978)

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบปริมาณของโลหะหนักบางชนิดในพืช ระหว่างค่าปกติกับค่าที่สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้

ธาตุ	ปริมาณในพืช (มก./กก. น้ำหนักแห้ง)	
	ระดับปกติ (normal)	ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ(phytotoxic)
Cd	0.1-1	5-700
Cu	3-20	25-40
Fe	30-300	.....
Mn	15-150	400-2000
Ni	0.1-5	50-100
Pb	2-5	.....
Zn	15-150	500-1500

4.1.2.2 ปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำบึงมักกะสัน ซึ่งได้แก่ปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 26.33 15.14 และ14.50 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1) ซึ่งจัดได้ว่าธาตุอาหารเหล่านี้อยู่ในระดับความอุดมสมบูรณ์เกณฑ์ปานกลาง สูงปานกลาง และต่ำมาก ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ความอุดมสมบูรณ์ของตัวกลางที่พืชสามารถนำธาตุอาหารมาใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต (ตารางที่ 4.2)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารรอง และโลหะหนักในน้ำบึงมักกะสันพบว่า ก่อนการทดลองปริมาณธาตุอาหารรองคือ แมกนีเซียมมีค่าเท่ากับ 0.92 พีพีเอ็ม ส่วนธาตุเหล็ก และแมงกานีส ซึ่งเป็นโลหะหนักที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเท่ากับ 0.81 และ0.22 พีพีเอ็ม ตามลำดับ นับว่าอยู่ในปริมาณต่ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช (ตารางที่ 4.4) จึงต้องเติมแมกนีเซียม และโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุสำหรับพืชลงไปเพิ่ม เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพที่เป็นจริงตามธรรมชาติ ซึ่งพืชควรได้รับตลอดเวลาที่ปลูกพืชในน้ำบึงมักกะสัน ทำให้แมกนีเซียมมีค่าเพิ่มเป็น 38.70 พีพีเอ็ม ส่วนเหล็ก และแมงกานีสมีค่าเพิ่มเป็น 5.62 และ0.57 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

ส่วนปริมาณโลหะหนักที่ไม่เป็นจุลธาตุคือแคดเมียม และตะกั่ว พบว่ามีปริมาณต่ำกว่าความสามารถของเครื่องมือจะวิเคราะห์ได้ (< 0.01) ฉะนั้นเมื่อพิจารณาในเรื่องโลหะหนักเป็นพิษแล้ว

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืชซึ่งถือว่าเป็นระดับเพียงพอ (ธาตุอาหารพืช,2521)

ธาตุ	ความเข้มข้นเมื่อคิดต่อน้ำหนักแห้งของพืช
	(ppm)
Mo	0.1
Cu	6
Zn	20
Mn	50
Fe	100
B	20
Cl	100
	(%)
S	0.1
P	0.2
Mg	0.2
Ca	0.5
K	1.0
N	1.5
O	45
C	45
H	6

บึงมักกะสันนี้จัดได้ว่ามีปริมาณโลหะหนัก ตะกั่ว และแคดเมียม ต่ำกว่าปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในน้ำใช้ชุมชน (Hammer,1975)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองเหล่านี้ลดลงมาก ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเนื่องจากพืชดูดซึมเข้าไปใช้ในการเจริญเติบโต (ตารางที่ 4.3)

4.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของน้ำแต่ละตำรับการทดลอง

4.2.1 ค่าแอมโมเนียม และไนเตรตไนโตรเจน การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจนตามช่วงเวลาการเก็บ และตำรับการทดลอง (ดังตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.4) ส่งผลให้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ใน

ช่วงก่อนการทดลองมีค่าสูง และมีการลดต่ำลงเป็นศูนย์ เมื่อตรวจวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 2 เนื่องจากมีการเพิ่มปริมาณออกซิเจนลงไปในน้ำจากการปั๊มอากาศทุกตำรับการทดลอง ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสองขั้น เปลี่ยนแอมโมเนียม-ไนโตรเจน กลายเป็นไนเตรต-ไนโตรเจน โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ดังสมการ

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow[\text{oxidation}]{\text{nitrification}} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{energy}$$

$$2\ NO_2^- + O_2 \xrightarrow[\text{oxidation}]{} 2NO_3^- + \text{energy}$$

ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนในน้ำที่ทำการทดลอง (ดังตารางที่ 3.5 และรูปที่ 3.5) จากผลการวิเคราะห์สถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P= Ø.Ø5) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.1)

ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในน้ำที่วิเคราะห์ได้ ในช่วงก่อนการทดลองมีค่าต่ำกว่าปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน แต่จะมีปริมาณสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 ทุกตำรับการทดลอง เนื่องจากปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นไนเตรตไนโตรเจน (ดังสมการที่กล่าวข้างต้น)

การวิเคราะห์น้ำทุกตำรับการทดลองภายหลังการปลูกผักคะน้าตลอดระยะ 8 สัปดาห์ จะมีปริมาณไนโตรเจนลดน้อยลง เนื่องจากพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (ตารางที่ 3.11 และ3.13)

4.2.2 ค่าฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากธาตุหนึ่ง เพราะฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นทำหน้าที่รับช่วงถ่ายทอดพลังงานระหว่างสารต่างๆของระบบการสังเคราะห์แสง และระบบการหายใจในพืช เสริมสร้างการเจริญเติบโตของพืชอิออนฟอสเฟตในสารละลายทำปฏิกริยาได้ง่ายและรวดเร็วมากกับ Fe^{3+} Al^{3+} กลายเป็น $FePO_4$ $AlPO_4$ โดยที่สารประกอบที่เกิดขึ้นส่วนมาก มักจะละลายน้ำได้ยาก และมีผลทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตลดต่ำลง การตรึงฟอสเฟตยิ่งมากขึ้นทำให้ปริมาณอิออนฟอสเฟตในสารละลายลดลง เนื่องจากอิออนฟอสเฟตถูกเปลี่ยนให้เป็นสารอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายยากมากขึ้นซึ่งยากแก่พืชจะใช้ประโยชน์ได้

การเปลี่ยนแปลงค่าฟอสฟอรัสในน้ำที่ทำการทดลอง (ดังตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.6) จากผลการวิเคราะห์สถิติ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<Ø.Ø5) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.2) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสของตำรับการทดลอง T6 จะแตกต่างจากตำรับการทดลองอื่นๆ เพราะปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำบึงมักกะสันที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งทั้งนี้อาจเนื่องจากรอบบึงมักกะสัน เป็นที่อยู่อาศัยจึงมีปริมาณการทิ้งน้ำที่เจือปนด้วยผงซักฟอกลงไปในแหล่งน้ำมาก และการเติมปุ๋ยในปริมาณมาก

ส่วนการวิเคราะห์น้ำทุกตำรับการทดลองภายหลังการปลูกผักคะน้าตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์จะมีปริมาณฟอสฟอรัสลดลง เนื่องจากพืชอาจดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโต (ตารางที่ 3.11 และรูปที่ 3.13)

4.2.3 ค่าโปตัสเซียม โปตัสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อเข้าไปอยู่ในพืชแล้ว จะไม่ถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์เช่นเดียวกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แต่จะอยู่ในรูปของเกลืออินทรีย์ หรืออนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ทั้งนี้เพราะโปตัสเซียมเป็นธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้ดี (Sommer, 1977)

จากผลการทดลองปลูกผักคะน้าในน้ำทุกตำรับการทดลองมีปริมาณโปตัสเซียมต่ำกว่าน้ำควบคุม (ตารางที่ 3.7 และรูปที่ 3.7) ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.3) ค่าเฉลี่ยปริมาณโปตัสเซียมของตำรับการทดลอง T1 นั้นจะมีความแตกต่างจากตำรับการทดลองอื่นๆ

ปริมาณโปตัสเซียมของน้ำทุกตำรับการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 8 สัปดาห์พบว่าลดต่ำลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากผักคะน้าดูดโปตัสเซียมขึ้นไปใช้ (ตารางที่ 3.15-3.16)

4.2.4 ค่าแมกนีเซียม แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองสำหรับพืชที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งสำคัญต่อพืชเช่นเดียวกับธาตุอาหารอื่นๆ ผลการวิเคราะห์น้ำบึงมักกะสันก่อนการทดลองพบว่ามีค่าต่ำมาก (0.92 พีพีเอ็ม) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความต้องการแร่ธาตุของพืชในการเจริญเติบโต (ปฐพีวิทยา, 2530) จึงเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมลงไปก่อนทำการทดลอง (38.70 พีพีเอ็ม) ให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช

จากผลการทดลองปลูกผักคะน้าในน้ำทุกตำรับการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณแมกนีเซียมในตำรับการทดลอง T1 มีปริมาณสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 3.8 และรูปที่ 3.8) ทำให้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.4) และปริมาณแมกนีเซียมจะลดลงทุกตำรับการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 8 สัปดาห์ เนื่องจากพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (ตารางที่ 3.15-3.16)

4.2.5 โลหะหนัก การวิเคราะห์โลหะหนักในตำรับการทดลองต่างๆ นั้นแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรกเป็นจุลธาตุอาหารของพืชซึ่งได้แก่ เหล็กและแมงกานีสส่วนกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ไม่เป็นจุลธาตุอาหารของพืชคือ ตะกั่ว และแคดเมียม ซึ่งผลการวิเคราะห์โลหะหนักเหล่านี้พบว่า

4.2.6.1 เหล็ก เป็นจุลธาตุอาหารที่มีความสำคัญ ต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเหล็กเป็นองค์ประกอบของเอ็นไซม์บางชนิดเช่น Ferridoxin รวมทั้งแคริเออร์ที่นำอิเลคตรอนบางชนิดเช่น Ferrichorme เป็นต้น จากผลการทดลองพบว่าปริมาณเหล็กในน้ำควบคุมมีปริมาณ 20.64 พีพีเอ็ม ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณเหล็กในน้ำบึงมักกะสันเกือบ 4 เท่า (5.42-7.03 พีพีเอ็ม) และมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.6) จากตารางจะเห็นได้ว่า การลดลงของปริมาณเหล็กในน้ำควบคุมจะมีการลดลงอย่างรวดเร็วมากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นเพราะการเจริญเติบโตมากกว่า ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.5) ในตำรับการทดลอง T1

ส่วนตำรับการทดลองอื่นๆ มีระดับการลดลงของปริมาณเหล็กใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ปริมาณเหล็กในน้ำบึงมักกะสันจะเห็นได้ว่ามีปริมาณน้อย ทั้งนี้ปริมาณเหล็กที่ได้รับจากน้ำเสียโรงงานมักกะสันนั้นส่วนหนึ่งที่ทำปฏิกิริยากับสารพวกฟอสเฟต เกิดเป็นตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ แล้วตกลงสู่ก้นบึง จึงทำให้ปริมาณของเหล็กในน้ำบึงมักกะสันมีปริมาณน้อย

4.2.6.2 แมงกานีส แมงกานีสก็เช่นเดียวกับธาตุเหล็กคือเป็นจุลธาตุอาหารที่สำคัญของพืช เพราะ แมงกานีสมีความสัมพันธ์กับกลไกการสังเคราะห์แสงของพืช ทั้งนี้แมงกานีสจะอยู่ที่คลอโรพลาสต์ของพืช โดยมีอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่ยึดเกาะกับเมมเบรนของคลอโรพลาสต์อย่างแข็งแรง และอีกส่วนหนึ่งจะยึดเกาะกันอย่างหลวมๆ

การเปลี่ยนแปลงแมงกานีสเมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในตำรับการทดลอง ($P= 0.05$) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.6) ทั้งนี้ปริมาณของแมงกานีสในตำรับการทดลอง T1 มีปริมาณมากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ เช่นเดียวกับธาตุเหล็ก ส่วนปริมาณแมงกานีสที่เหลืออยู่ในตำรับการทดลองต่างๆ พบว่า แมงกานีสในน้ำควบคุมมีค่ามากกว่าในน้ำบึงมักกะสันถึงประมาณ 2 เท่า (1.25, 0.25 พีพีเอ็ม) การที่พบปริมาณแมงกานีสในบึงมักกะสัน เนื่องมาจากในการทำรางรถไฟ เหล็กที่ใช้ต้องเป็นเหล็กที่มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งต้องมีการผสมแมงกานีสเข้าไปเป็นส่วนประกอบด้วย ดังนั้นการทิ้งน้ำเสียจากโรงงานมักกะสันจึงเป็นสาเหตุประการหนึ่ง

4.2.6.3 โลหะหนักที่ไม่เป็นจุลธาตุอาหาร ซึ่งได้แก่ตะกั่ว และแคดเมียม จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณโลหะทั้ง 2 มีปริมาณน้อยกว่า ความสามารถของเครื่องมือที่จะวิเคราะห์ได้ (<0.01 พีพีเอ็ม) ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่ามีโรงงานทำแบตเตอรี่ ณ บริเวณบึงมักกะสัน มีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ ในการสกัดโลหะดังกล่าวก่อนปล่อยน้ำเสียลงสู่บึง

4.3 การสะสมธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองในเนื้อเยื่อ และน้ำหนักแห้งของผักคะน้า

ในการเจริญเติบโตของพืช จำเป็นต้องใช้ธาตุอาหารชนิดต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยทั่วๆ ไป ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม) ที่พืชต้องการจะมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ทั้งในดิน และในน้ำธรรมชาติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีน้อยหรือมีปริมาณมากแต่อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ธาตุอาหารที่พืชสามารถใช้ได้มีอยู่ 2 ประเภทด้วยกันคือ ประเภทที่มีอยู่ในรูปของอิออนในสารละลาย และพวกที่อยู่ในรูปของอิออนที่ถูกคอลลอยด์ดูดซับเอาไว้ ซึ่งอิออนเหล่านี้ บางส่วนสามารถถูกไล่ที่ หรือแลกเปลี่ยนให้หลุดออกมาอยู่ในสารละลายได้

ส่วนต่างๆ ของพืชแทบทุกชนิดสามารถดูดอิออนของธาตุอาหารได้ แต่เนื่องจากรากสัมผัสโดยตรงกับสารละลาย รากจึงทำหน้าที่หลักในการดูดธาตุอาหาร พืชดูดธาตุอาหารได้เมื่อเป็นอิออน

ที่อยู่ในสารละลายได้ง่าย ดังนั้นการปลูกพืชในสารละลายจึงเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วกว่าการปลูกในดิน การดูดอิออนของพืชนั้นใช้วิธี Active Transport ซึ่งต้องใช้พลังงานจากกระบวนการเมตาบอลิซึม ดังนั้นอัตราการดูดซึมอิออนของรากพืชจะลดลงอย่างมาก เมื่อรากขาดออกซิเจน

ผลของการปลูกผักคะน้าในน้ำตำรับการทดลองต่างๆ วัดความแตกต่างของการเจริญเติบโตของผักคะน้าในแต่ละตำรับ โดยใช้ค่าน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดของส่วนที่กินได้ (edible part) คือลำต้น และใบของผักคะน้า จากผลการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของกลุ่มควบคุมมีการเจริญเติบโต มากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ ส่วนผลผลิตทั้งในรูปน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักคะน้าที่ปลูกในน้ำบึงมักกะสัน ที่ไม่มีการเปลี่ยนน้ำบึงตลอดการทดลองให้ผลผลิตมีค่าน้อยที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของ ผักคะน้าที่ปลูกในน้ำโดยเปลี่ยนน้ำบึงมักกะสันตลอดการทดลอง (T3) กับการปลูกในน้ำบึงมักกะสันที่ให้บุ๋ยในอัตราต่างๆ (T4 T5 T6) พบว่าผลผลิตในรูปน้ำหนักสดของผักคะน้าในตำรับการทดลอง (T3) ให้ผลผลิตใกล้เคียงกับผลผลิตของผักคะน้าที่ได้จาก T4 และ T5 ส่วน T6 ให้ผลผลิตของน้ำหนักสดมากกว่า T3 T4 T5 ประมาณ 1.5เท่า (ตารางที่ 3.13-3.14) ผลผลิตของผักคะน้าในรูปน้ำหนักแห้งของตำรับการทดลอง T3 T4 T5 และ T6 นั้น เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P=Ø.Ø5) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.9) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนน้ำก็เสมือนกับการเพิ่มธาตุอาหารที่พืชต้องการให้กับพืช

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณการสะสมของธาตุอาหารหลักในเนื้อเยื่อผักคะน้า พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<Ø.Ø5) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.10-ข.13) เช่นเดียวกับ การเจริญเติบโตของผักคะน้า ส่วนแมกนีเซียมไม่ปรากฏว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P=Ø.Ø5) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.15) ซึ่งเมื่อดูจากตารางที่ 3.11 การที่ผลการทดลองเป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะแมกนีเซียมมีผลต่อปริมาณธาตุไนโตรเจน โปตัสเซียม โดยถ้าพืชดูดปริมาณแมกนีเซียมขึ้นไปมากจะมีผลทำให้พืชชนิดนั้น ๆ ดูดซึมปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน และโปตัสเซียมได้น้อย ซึ่งจะทำให้พืชเจริญเติบโตน้อยลง แต่ในการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผักคะน้าดูดซึมปริมาณไนโตรเจน โปตัสเซียม เป็นปริมาณมาก ดังนั้นปริมาณแมกนีเซียมจึงมีปริมาณน้อย

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลผลิตและปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อผักคะน้าที่ปลูกในวัสดุชนิดต่างๆ

ผลผลิตและธาตุอาหารในผักคะน้า	วัสดุปลูก			
	น้ำบิงมักกะสัน	ตะกอนบิงมักกะสัน*	ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย	
			สภาพเรือนทดลอง@	พื้นที่เกษตรกรรม$
น้ำหนักสด(g/ต้น)	33.33	27.5	-	-
น้ำหนักแห้ง(g/ต้น)	3.17	0.59	1.01	1.75
NH_4 (ppm)	79.87	0.99	-	-
NO_3 (ppm)	29.40	138.00	-	-
P (ppm)	126.32	22.25	-	-
K (ppm)	412.00	21.50	-	-
Mg (ppm)	74.19	64.43	-	-
Fe ราก (ppm)	3.52	513.00	9.73	1.389
ลำต้น (ppm)	5.93	345.00	10.42	0.291
Mn ราก (ppm)	1.28	0.25	0.11	0.1486
ลำต้น (ppm)	0.47	0.26	27.28	0.2287

หมายเหตุ (-) = ไม่มีรายงาน ที่มา: # = ขัตติยะ,2532. @ = พัชราวดี,2529. $ = ดุลยนัย,2529

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และผลผลิตของผักคะน้าที่ปลูกในวัสดุชนิดต่างๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของผักคะน้า (น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง) ที่ปลูกในน้ำบิงมักกะสัน (T3) มีค่ามากกว่าที่ปลูกในตะกอนบิงมักกะสัน ส่วนปริมาณธาตุอาหารก็เช่นกันปริมาณไนโตรเจน เหล็ก ทั้งในรากและในลำต้นมีปริมาณน้อยกว่า แต่ปริมาณฟอสฟอรัส โปตัสเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีสจะมีปริมาณมากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับผักคะน้าที่ปลูกในตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย ทั้งสองวิธีคือ การปลูกในสภาพเรือนทดลอง และในพื้นที่เกษตรกรรม ปริมาณโลหะที่สะสมในผักคะน้าที่ปลูกในน้ำบิงมักกะสัน ก็มีปริมาณน้อยกว่าเช่นกัน

4.4 ปริมาณโลหะในส่วนต่างๆของผักคะน้า

พืชดำรงชีวิตอยู่โดยการใช้สารอาหารต่างๆในน้ำ ซึ่งนอกจากสารอาหารแล้ว ถ้าในน้ำหรือดินนั้นมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ พืชก็สามารถที่จะดึงดูดเอาโลหะหนักเหล่านั้นเข้าไปในต้นพืชเองได้ ในการศึกษาถึงการนำน้ำเสียมาใช้ปลูกพืชจึงควรจะต้องมีการศึกษาถึงปริมาณโลหะหนักสะสมในพืชนั้นด้วย เพราะโลหะหนักสามารถสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อพืช และถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารได้ (Kloke, 1982)

เมื่อพิจารณาโลหะหนักแต่ละชนิด พบว่าการสะสมในผักคะน้าเป็นดังนี้

4.4.1 แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอย่างมาก ในปัจจุบันมีการนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย จึงมีการปนเปื้อนของแคดเมียมลงสู่สิ่งแวดล้อมสูงขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ระดับแคดเมียมสะสมในพืชสูงขึ้นด้วย จากผลการทดลองการปลูกผักคะน้าในน้ำควบคุม และน้ำบึงมักกะสันทุกตำรับการทดลองพบว่าปริมาณแคดเมียมในต้นและรากผักคะน้ามีปริมาณน้อยกว่า 0.01 พีพีเอ็ม การที่ปริมาณแคดเมียมที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยกว่า 0.01 พีพีเอ็มนั้น อาจเป็นเพราะปริมาณของแคดเมียมที่อยู่ในบึงมักกะสันมีปริมาณน้อยซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.01 พีพีเอ็มเช่นกัน ซึ่งกล่าวได้ว่าน้ำในบึงมักกะสันมีการปนเปื้อนจากโลหะแคดเมียมน้อยมาก

เมื่อพิจารณาจากการศึกษาของวรวิทย์ ชีวาภรณ์ภิวัฒน์(2528) พบว่าปริมาณแคดเมียมในใบ และลำต้นของผักคะน้าที่ปลูกจากพื้นที่เกษตรกรรมทั่ว ๆ ไป โดยเก็บผักคะน้ามาจากตลาดสดทั่วไป มีค่าเฉลี่ย 0.45 และ 0.95 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาณแคดเมียมที่ตรวจวิเคราะห์ได้นี้อาจมีการปนเปื้อนมาจากโลหะที่มีอยู่ในดินที่ใช้ปลูก หรือยาปราบศัตรูพืชบางชนิด ส่วนปริมาณแคดเมียมสะสมสูงสุดในส่วนของใบผักคะน้าที่ปลูกโดยใช้กากตะกอนผสมดินมีค่าประมาณ 1.3 พีพีเอ็ม ซึ่งกากตะกอนที่นำมาผสมนั้นมีปริมาณแคดเมียมถึง 4.2 พีพีเอ็ม จึงทำให้มีปริมาณ แคดเมียมในผักสูง

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การปลูกผักคะน้าในน้ำบึงมักกะสันไม่มีผลต่อปริมาณการสะสมของแคดเมียมในผักคะน้า ซึ่งปริมาณแคดเมียมที่ก่อให้เกิดพิษต่อพืช อยู่ในช่วง 5-700 พีพีเอ็ม (Chaney, 1982) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชโดยทั่วไป Mengal และ Kirkby (1982) รายงานว่าจะมีปริมาณแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.1-1.0 พีพีเอ็ม ส่วนความเป็นพิษที่เกิดต่อมนุษย์นั้นจะเกิดขึ้นเมื่อบริโภคพืชที่มีปริมาณแคดเมียมมากกว่า 3 พีพีเอ็มเป็นประจำ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าปริมาณแคดเมียมที่ปลูกในน้ำบึงมักกะสันไม่อยู่ในช่วงที่มีอันตรายต่อผู้บริโภค

4.4.2 ตะกั่ว จากการศึกษาถึงโทษของโลหะหนักต่อสิ่งมีชีวิต พบว่าตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่มีประโยชน์ต่อร่างกายทั้งพืชและสัตว์ แต่กลับเป็นพิษอย่างรุนแรงต่อเซลของสิ่งมีชีวิตรวมทั้งมนุษย์ด้วย เมื่อตะกั่วสะสมในแหล่งน้ำ และมนุษย์ได้รับเข้าไปโดยตรง หรือทางอ้อม ก็อาจจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย และถึงขั้นเสียชีวิตในบางราย

จากการศึกษาปริมาณตะกั่วในผักคะน้า โดยแยกศึกษาในต้นและราก พบว่าการสะสมตะกั่วในต้น และรากของผักคะน้าที่ปลูกในน้ำทุกตำรับการทดลองมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 0.58 พีพีเอ็ม ทั้งในรากและลำต้น และมีปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 0.38, 0.48 พีพีเอ็ม ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P=0.05) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.18- ข.19) แสดงว่าไม่ว่าจะปลูกผักคะน้าในตำรับการทดลองใดก็ตาม จะมีปริมาณตะกั่วสะสมในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตะกั่วที่ปรากฏในผักคะน้าทั้งนี้พืชอาจได้รับจากอากาศ เพราะปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบในน้ำทุกตำรับการทดลองมีค่าน้อยกว่าความสามารถของเครื่องที่ตรวจวัดได้ (< 0.01 พีพีเอ็ม) จากการศึกษาของวารินทย์ ชีวาภรณ์นาภิวัฒน์ (2528) พบว่าปริมาณตะกั่วในส่วนใบและลำต้นของผักคะน้าที่ปลูกจากพื้นที่เกษตรกรรมทั่วๆ ไป ค่าเฉลี่ย 14.8 และ 25.6 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และยังพบว่าปริมาณตะกั่วที่พืชได้รับนั้นจะได้รับจากอากาศมากกว่าที่พืชดูดขึ้นมาทางราก สำหรับปริมาณตะกั่วสะสมสูงสุดในส่วนของใบผักคะน้าที่ปลูกโดยใช้กากตะกอนผสมดินมีค่าประมาณ 10.85 พีพีเอ็ม (พัชราวดี สุวรรณชาดา,2529)

ตามข้อกำหนดของ WHO ได้กำหนดระดับการได้รับตะกั่วสูงสุดของบุคคล แต่ละสัปดาห์ว่าไม่ควรเกิน 0.5 พีพีเอ็มของน้ำหนักตัว (Kloke,1982) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณตะกั่วสะสมที่พบในน้ำบิงมักกะสันยังอยู่ในปริมาณที่ไม่เป็นพิษต่อผักคะน้า อีกทั้งยังมีปริมาณตะกั่วสะสม (0.38-0.58 พีพีเอ็ม) น้อยกว่าผักคะน้าที่ปลูกตามปกติในสภาพธรรมชาติจากพื้นที่เกษตรกรรมตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงยังไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

4.4.3 แมงกานีส แมงกานีสเป็นจุลธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อพืชไม่ยิ่งหย่อนกว่ากลุ่มธาตุอาหารอื่นๆ เพราะหากมีไม่พอกับความต้องการของพืชแล้วย่อมจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตน้อยลง และพืชอาจตายได้หากขาดแคลนมาก

จากการปลูกผักคะน้าในน้ำทุกตำรับการทดลอง พบว่าปริมาณแมงกานีสสะสมในรากเท่ากับ 1.28-5.19 พีพีเอ็ม ซึ่งสูงกว่าของลำต้น (0.47-0.76 พีพีเอ็ม) การที่รากพืชมีปริมาณการสะสมแมงกานีสมากกว่า เพราะปริมาณการดูดซึมแมงกานีสมีปริมาณมากกว่า ต่อเมื่อมีความต้องการจึงลำเลียงสู่แหล่งที่พืชต้องการ การวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณการสะสมในลำต้น และรากผักคะน้าที่ปลูกในน้ำทุกตำรับการทดลองไม่มีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P=0.05) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.16- ข.17) เพราะปริมาณแมงกานีสที่สะสมในพืชมีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับปริมาณแมงกานีสที่สะสมในผักคะน้าที่ปลูกในน้ำบิงมักกะสันมีค่าอยู่ในช่วง 0.47-0.76 พีพีเอ็ม ซึ่งมีปริมาณสะสมแมงกานีสต่ำกว่าผักคะน้าที่ปลูกในพื้นที่เกษตรกรรมอย่างมาก

จากการวิจัยของพัชราวดี สุวรรณชาดา (2529) พบว่าปริมาณสะสมแมงกานีสในใบผักคะน้าที่ปลูกในกากตะกอนผสมดิน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 123.64 พีพีเอ็ม

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณแมงกานีสที่ก่อให้เกิดพิษต่อพืช คือมีค่ามากกว่า 500 พีพีเอ็ม แต่ถ้าหากได้รับปริมาณต่ำกว่าความต้องการ พืชก็จะแสดงอาการผิดปกติให้ปรากฏออกมาที่ใบ กล่าวคือใบจะมีสีเหลืองตามระหว่างเส้นใบ เพราะขาดคลอโรพิลล์ ส่วนเส้นใบยังมีสีเขียว

ปกติ และมักจะเกิดที่ใบอ่อนก่อน การเจริญเติบโตช้าไม่ออกดอกออกผล ส่วนการเกิดพิษของแมงกานีสที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์นั้น เกิดจากการได้รับ แมงกานีสของระบบทางเดินหายใจมากกว่าการได้รับแมงกานีสจากอาหาร ซึ่งแมงกานีสเป็นโลหะที่มีพิษน้อยเมื่อพิจารณาในแง่การบริโภค (Reilly,1980) ดังนั้นแมงกานีสในปริมาณที่วิเคราะห์ได้ในผักคะน้าจึงไม่มีผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์

4.4.4 เหล็ก เหล็กเป็นจุลธาตุอาหารที่สำคัญอีกธาตุหนึ่งสำหรับพืช เนื่องจากเหล็กมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมากคือ เป็นองค์ประกอบ และช่วยสร้างคลอโรฟิลล์ เป็นตัวจักรสำคัญในกระบวนการหายใจของพืช นอกจากนี้ยังพบว่ามีเหล็กในสภาพของอิออนอิสระซึ่งอยู่ในเซลของพืช แต่ยังไม่ทราบว่าเป็น Fe^{2+} หรือ Fe^{3+} หรืออาจเป็นทั้งสองรูปก็ได้ ยังไม่ทราบแน่ชัด

จากการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กที่สะสมในผักคะน้าที่ปลูกในน้ำตำรับการทดลองต่างๆ พบว่าในลำต้นของผักคะน้าจะมีการสะสมเหล็กไว้มากกว่าบริเวณราก ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กมีความสำคัญต่อพืชมาก พืชจึงต้องการปริมาณเหล็กเป็นจำนวนมากจึงมีการลำเลียงขึ้นสู่ลำต้นและใบอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงพบปริมาณเหล็กในลำต้นมากกว่าในราก จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปริมาณการสะสมเหล็กในลำต้น และรากของผักคะน้าที่ปลูกในน้ำตำรับการทดลองต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ภาคผนวก ตารางที่ ข.7- ข.8) ส่วนการสะสมของเหล็กในลำต้นและรากผักคะน้ากลุ่มควบคุมจะมีปริมาณสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ เนื่องจากในน้ำบึงมักกะสันมีปริมาณเหล็กน้อยมาก (0.81 พีพีเอ็ม) อีกทั้งการเจริญเติบโตของผักคะน้าในน้ำควบคุมมีการเจริญเติบโตมากกว่าผักคะน้าในน้ำบึงมักกะสัน ดังนั้นจึงมีความต้องการมากกว่า ทำให้พบปริมาณเหล็กในผักคะน้าที่ปลูกในน้ำควบคุมมากกว่าผักคะน้าที่ปลูกในน้ำบึงมักกะสัน

โดยทั่วไปแล้ว พืชสะสมเหล็กไว้อยู่ในช่วงกว้าง Winton(1982) รายงานถึงปริมาณเหล็กสะสมในส่วนที่กินได้ของกะหล่ำปลีมีค่าอยู่ในช่วง 74-304 พีพีเอ็ม และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 132 พีพีเอ็ม ส่วน Mengal และ Kirkby (1982) ได้รายงานว่าปริมาณเหล็กในพืชโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 100 พีพีเอ็ม ของน้ำหนักแห้ง แต่ Reilly (1980) กล่าวว่า พืชผักใบเขียวทั่ว ๆ ไปมีปริมาณ 0.4-18.0 พีพีเอ็ม เท่านั้น ส่วนการศึกษาปริมาณเหล็กที่สะสมในลำต้นผักคะน้าที่ปลูกในกากตะกอนผสมดินของดุลยนัย วนะภูติ(2529) พบว่าปริมาณเหล็กสูงสุดในใบผักคะน้ามีค่าเท่ากับ 195.48 พีพีเอ็ม

ส่วนรายงานในมนุษย์นั้น เนื่องจากเหล็กเป็นธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายในการสร้างเม็ดเลือดแดงรวมทั้งกระบวนการอื่นๆ ร่างกายคนปกติจะมีปริมาณเหล็กสะสมอยู่ประมาณ 4 กรัม ของน้ำหนักตัว (Reilly ,1980) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเหล็กในปริมาณที่วิเคราะห์พบในผักคะน้า นอกจากไม่เกิดความเป็นพิษต่อพืชแล้ว ยังไม่เกิดปัญหาต่อสุขภาพคนทั่วไปด้วย