บทที่ 3

ผลการทดลอง

ก. ผลของ NO_3-N NH_4-N P และ K ต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นต้นใหม่จากแคลลัส ศึกษาในรายละเอียดต่อไปนี้

1. ผลของ NO_3-N NH_4-N P และ K ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่มี greenspot ในสัปดาห์ที่ 2,4 และ 6

2. ผลของ NO_3-N NH_4-N P และ K ที่มีต่อจำนวนหน่อและแคลลัสที่เกิดหน่อในสัปดาห์ที่ 6

3. ผลของ NO_3-N NH_4-N P และ K ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่ให้รากในสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6

4. ความสัมพันธ์ระหว่าง NH_4-N และ K ที่ระดับความเข้มข้นที่มีผลต่อการเกิดหน่อและขนาดแคลลัส

5. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหน่อ และลักษณะต่าง ๆ ของแคลลัส

6. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NO_3-N และ NH_4-N ที่มีต่อ pH ของอาหารที่เลี้ยงเนื้อเยื่อ

ข. ผลของ Ca และ Mg ต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นต้นใหม่จากแคลลัส ศึกษาในรายละเอียดต่อไปนี้

1. ผลของ Ca และ Mg ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่มี greenspot ในสัปดาห์ที่ 2,4 และ 6

2. ผลของ Ca และ Mg ที่มีต่อจำนวนหน่อและแคลลัสที่เกิดหน่อในสัปดาห์ที่ 6

3. ผลของ Ca และ Mg ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่ให้รากในสัปดาห์ที่ 2,4 และ 6

บันทึกผลตามรายละเอียดในข้อ ก. ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผลของ NO_3-N NH_4-N P และ K ที่มีต่อแคลลัสที่มี greenspot

วัดผลการทดลองในสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6 ตามลำดับ พบว่าแคลลัสที่มี greenspot จะมีมากในสัปดาห์ที่ 2 แล้วลดลงในสัปดาห์ที่ 4 และ 6 ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 2 มีแคลลัสที่มี greenspot ประมาณ 72.6 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9) ในสัปดาห์ที่ 4 ลดลง 6.5 เปอร์เซ็นต์ ในสัปดาห์ที่ 6 ลดลงจากสัปดาห์ที่ 4 อีก 14.2 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 2)

1.1 ผลของ NO_3 ต่อแคลลัสที่มี greenspot

ตารางที่ 9 ก. ในสัปดาห์ที่ 2 NO_3-N ความเข้มข้น 3.33 9.51 และ 34.23 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot ตามลำดับจากมากไปหาน้อย ในสัปดาห์ที่ 4 ความ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 2 แคลลัสที่ให้ greenspot และราก

ตารางที่ 9 ผลของ NO_3-N NH_4-N P และ K ต่อแคลลัสที่ให้ greenspot วัดผลในสัปดาห์ที่ 2,4 และ 6

ความเข้มข้นของ NO_3-N (mM)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ greenspot						
		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6		
		จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	
3.33	810	607	74.94	545	67.28	407	50.25	
9.51	810	588	72.59	524	64.69	424	52.35	(ก)
34.23	810	570	70.37	539	66.54	431	53.21	
รวม	2430	1,765	72.63	1,608	66.17	1,262	51.93	

ความเข้มข้นของ NH_4-H (mM)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ greenspot						
		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6		
		จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	
0	486	291	59.88	283	58.23	221	45.47	
0.8	486	376	77.37	375	77.16	328	67.49	
3.2	486	398	81.89	373	76.75	306	62.96	(ข)
12.8	486	402	82.72	349	71.81	280	57.61	
51.2	486	298	61.32	228	49.91	127	26.13	
รวม	2430	1,765	72.63	1,608	66.17	1,262	51.93	

ความเข้มข้นของ P (mM)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ greenspot						
		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6		
		จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	
0.12	810	587	72.47	542	66.91	425	52.47	
0.48	810	587	72.47	545	67.28	433	53.46	(ค)
1.92	810	591	72.96	521	64.32	404	49.88	
รวม	2430	1,765	72.63	1,608	66.17	1,262	51.93	

ความเข้มข้นของ K (mM)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ greenspot						
		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6		
		จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	
1.66	810	624	77.04	556	68.64	415	51.24	
6.64	810	598	73.83	536	66.17	433	53.46	(ง)
26.56	810	543	67.04	516	63.70	414	51.11	
รวม	2430	1,765	72.63	1,608	66.17	1,262	51.93	

เข้มข้น 3.33 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot มากกว่าความเข้มข้น 34.23 และ 9.51 mM ในสัปดาห์ที่ 6 กลับกับสัปดาห์ที่ 2 คือความเข้มข้น 34.23 9.51 และ 3.33 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot เรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า NO_3-N ทั้ง 3 ระดับให้แคลลัสที่มี greenspot ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

1.2 ผลของ NH_4-N ต่อแคลลัสที่มี greenspot

ตารางที่ 9ข.ในสัปดาห์ที่ 2 NH_4-N ความเข้มข้น 12.8 และ 3.2 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot ถึง 82.7 และ 81.9 เปอร์เซนต์ตามลำดับ รองลงมาคือความเข้มข้น 0.8, 51.2 และ 0 mM เรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า ความเข้มข้น 0.8, 3.2 และ 12.8 mM ให้แคลลัสที่มีgreenspotไม่แตกต่างกัน แต่ NH_4-N ทั้ง 3 ระดับนี้ให้แคลลัสที่มี greenspotแตกต่างกันกับ NH_4-Nที่ความเข้มข้น 0 และ 51.2 mM ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

ในสัปดาห์ที่ 4 ความเข้มข้น 0.8, 3.2, 12.8, 0 และ 51.2 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot เรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าความเข้มข้น 0.8, 3.2 และ 12.8 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot ไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างกันกับความเข้มข้น 0 และ 51.2 mM และความเข้มข้น 0 mM ก็ให้ผลแตกต่างกันกับความเข้มข้น 51.2 mM ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

ในสัปดาห์ที่ 6 NH_4-N ความเข้มข้น 0.8, 3.2, 12.8, 0 และ 51.2 mM ให้ผลดีเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าความเข้มข้น 0.8 และ 12.8 mM ให้ผลแตกต่างกัน และความเข้มข้น 0.8, 3.2, 12.8 mM ให้ผลแตกต่างกันกับความเข้มข้น 0 และ 51.2 mM และความเข้มข้น 0 และ 51.2 mM ก็ให้แคลลัสที่มี greenspot แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

สำหรับความเข้มข้น 0.8 และ 3.2 mM เป็นความเข้มข้นที่น่าสนใจหากเลี้ยงแคลลัสข้าวเป็นเวลานาน 6 สัปดาห์

1.3 ผลของ P ต่อแคลลัสที่มี greenspot

ตารางที่ 9 ค. ในสัปดาห์ที่ 2 P ความเข้มข้น 1.92 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot ใกล้เคียงกันกับความเข้มข้น 0.12 และ 0.48 mM ซึ่งให้ผลเท่ากัน ในสัปดาห์ที่ 4 และ 6 mM ความเข้มข้น 0.48 0.12 และ 1.92 mM ให้แคลลัสที่มี greenspotเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับของ P ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

1.4 ผลของ K ต่อแคลลัสที่มี greenspot

ตารางที่ 9 ง. ในสัปดาห์ที่ 2 K ความเข้มข้น 1.66, 6.64 และ 25.56 mM ให้แคลลัสที่มี greenspotเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าความเข้มข้น 1.66 และ 6.64 mM ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันกับความเข้มข้น 26.56 mM ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ในสัปดาห์ที่ 4 ความเข้มข้น 1.66, 6.64 และ 26.56 mM ยังคงให้ผลดีตามลำดับเช่นเดียวกับสัปดาห์ที่ 2 ในสัปดาห์ที่ 6 ความเข้มข้น 6.64 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot มากกว่าที่ความเข้มข้น 1.66 และ 26.56 mM เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับของ K ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ในสัปดาห์ที่ 4 และ 6

1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ NO_3-N NH_4-N P และ K ที่มีต่อแคลลัสที่มี greenspot ในสัปดาห์ที่ 2

ตารางที่ 10 ก. ข และ ค. NH_4-N ที่ความเข้มข้น 12.8 และ 3.2 mM ให้แคลลัสที่มี greenspotมากใกล้เคียงกัน ที่ทุกระดับความเข้มข้นของ NO_3-N P และ K

ตารางที่ 10 ค. ง และ จ K ที่ความเข้มข้น 6.64 และ 1.66 mM ให้ผลดีเมื่อ NH_4-N ความเข้มข้น 12.8 และ 3.2 mM ตามลำดับ และให้ผลดีใกล้เคียงกันทุกระดับความเข้มข้นของ NO_3-N และ P

ตารางที่ 10 ข. จ และ ฉ NO_3-N ความเข้มข้น 3.33 และ 9.51 mM ให้ผลดีที่ NH_4-N และ K ความเข้มข้นดังกล่าวข้างต้น ตารางที่ 10 ก, ง, ฉ P ที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับให้แคลลัสที่มี greenspot มากใกล้เคียงกันที่ความเข้มข้นของ NH_4-N NO_3-N และ K ดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_3-N NH_4-N P และ K ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่มี greenspot โดยเทียบทีละคู่ (วัดผลในสัปดาห์ที่ 2)

(ก)

ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$ (mM)	แคลลัสที่มี greenspot ที่ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)					
	0	0.8	3.2	12.8	51.2	รวม
0.12	96	123	136	140	92	587
0.48	99	130	124	127	107	587
1.92	96	123	138	135	99	501
รวม	291	376	398	402	298	1765

(ข)

ความเข้มข้นของ NO_3^-	แคลลัสที่มี greenspot ที่ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)					
	0.	0.8	3.2	12.8	51.2	รวม
3.33	100	126	135	135	111	607
9.51	95	123	138	133	99	588
34.23	96	127	125	134	88	570
รวม	291	376	398	402	298	1765

(ค)

ความเข้มข้นของ K^+	แคลลัสที่มี greenspot ที่ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)					
	0	0.8	3.2	112.8	51.2	รวม
1.66	109	133	137	137	108	624
6.64	105	120	135	143	95	598
26.56	77	123	126	122	95	543
รวม	291	376	398	402	298	1765

(ง)

ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$	แคลลัสที่มี greenspot ที่ความเข้มข้นของ K^+ (mM)			
	1.66	6.64	25.56	รวม
0.12	210	196	181	587
0.48	205	212	170	587
1.92	209	190	192	501
รวม	624	598	543	1765

(จ)

ความเข้มข้นของ NO_3^-	แคลลัสที่มี greenspot ที่ความเข้มข้นของ K^+ (mM)			
	1.66	6.64	26.56	รวม
3.33	210	214	183	607
9.51	211	199	178	588
34.23	203	185	182	570
รวม	624	598	543	1765

(ฉ)

ความเข้มข้นของ NO_3^-	แคลลัสที่มี greenspot ที่ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$ (mM)			
	0.12	0.48	1.92	รวม
3.33	205	190	121	607
9.51	202	196	190	588
34.23	180	201	189	570
รวม	587	587	501	1765

หมายเหตุ ในแต่ละการทดลองใช้ 270 แคลลัส ยกเว้นเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง NH_4-N กับธาตุอาหารอื่น ๆ ใช้ 162 แคลลัส รวม 2,430 แคลลัส

2. ผลของ NO_3-N NH_4-N P และ K ที่มีต่อจำนวนหน่อและแคลลัสที่เกิดหน่อ

เมื่อเลี้ยงแคลลัสในสูตรทดลอง 135 สูตร เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่ามีเพียง 73 สูตรเท่านั้นที่ให้หน่อสูงกว่า 0.5 ซ.ม. ซึ่งเป็นขนาดของหน่อที่แน่ใจว่าจะเจริญไปเป็นต้นที่สมบูรณ์ได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11 พบว่าสูตรทดลองที่ให้ผลผลิตดี 1-10 อันดับแรกนั้น สูตรที่ให้หน่อมากที่สุดคือสูตรที่ 43 สูตรที่ให้ผลดีรองลงมาตามลำดับถึงสูตรที่ 55 93 51 และ 87 (ดูตารางที่ 13) แต่เมื่อดูจำนวนแคลลัสที่ให้หน่อพบว่าสูตรที่ 93 ดีกว่าสูตรที่ 43 55 และ 36 ถึง 4% (แสดงในตารางที่ 13) ส่วนรายละเอียดของสูตรทดลองที่ให้จำนวนหน่อและแคลลัสที่ให้หน่อแสดงไว้ในตารางที่ 11 และ 12

2.1 ผลของ NO_3-N ต่อจำนวนหน่อ และแคลลัสที่เกิดหน่อ

NO_3-N ที่ความเข้มข้น 3.33, 34.34 และ 9.51 mM ให้จำนวนหน่อต่อแคลลัสมากน้อยตามลำดับ (ตารางที่ 14) แต่เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับนี้ไม่มีความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 14 และ 15 พบว่าเมื่อวัดผลในสัปดาห์ที่ 6 NO_3-N ความเข้มข้น 3.33, 34.23 และ 9.51 mM ให้หน่อ 68, 64 และ 54 หน่อ ตามลำดับ จากมากไปหาน้อย และจำนวนหน่อที่มีความสูงระหว่าง 0.5 ถึง 2 ซม. พบมากที่ความเข้มข้น 3.33, 9.51 และ 34.23 mM ตามลำดับ ส่วนจำนวนหน่อที่มีความสูงตั้งแต่ 2 ซม. ขึ้นไปพบมากที่ความเข้มข้น 34.23, 9.51 และ 3.33 mM ซึ่งกลับกันกับจำนวนหน่อที่มีความสูงต่ำกว่า 2 ซม.

ความเข้มข้นของ NO_3-N ที่ให้จำนวนแคลลัสที่เกิดหน่อเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้คือ 34.23, 3.33 และ 9.51 mM

2.2 ผลของ NH_4-N ต่อจำนวนหน่อและแคลลัสที่เกิดหน่อ

NH_4-N ที่ความเข้มข้น 3.2, 0.8, 12.8, 0 และ 51.2 mM ให้จำนวนหน่อต่อแคลลัส จากมากไปหาน้อยตามลำดับ (ตารางที่ 16) เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าความเข้มข้น 3.2 และ 0.8 mM ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ความเข้มข้น 3.2 mM มีความแตกต่างกันกับความเข้มข้น 12.8, 0 และ 51.2 mM และความเข้มข้น 0.8 mM ไม่มีความแตกต่างกันกับความเข้มข้น 12.8 mM แต่มีความแตกต่างกันกับความเข้มข้น 0 และ 51.2 mM ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ (ภาพที่ 3,4)

ตารางที่ 11 สูตรทดลองที่ให้หน่อในสัปดาห์ที่ 6 (เฉลี่ยจากผลการทดลองละ 18-54 แคลลัส)

สูตรที่	n	จำนวนหน่อ (%)	สูตรที่	n	จำนวนหน่อ (%)	สูตรที่	n	จำนวนหน่อ (%)
1	54	9.26	47	24	12.50	78	36	2.78
5	30	10.00	49	24	8.30	79	30	40.00
8	24	4.17	50	30	6.70	81	24	4.17
9	30	16.67	51	24	25.00	82	30	3.33
10	36	8.30	53	24	4.17	83	30	10.00
11	18	5.60	54	18	16.67	87	24	29.17
12	24	4.17	55	30	30.00	88	36	2.78
13	18	5.60	56	24	16.67	91	36	11.10
17	24	4.17	57	36	2.78	92	30	16.67
20	24	12.50	58	36	33.30	93	24	29.17
22	30	3.33	60	24	16.67	94	24	4.17
23	24	16.67	61	24	16.67	95	24	4.17
27	30	3.33	62	36	11.10	97	36	8.30
28	18	5.60	64	36	2.78	98	24	12.50
29	24	4.17	65	24	20.80	99	30	3.30
34	24	12.50	66	36	5.56	100	36	8.30
35	24	20.80	67	30	20.00	101	30	6.67
36	24	20.80	68	36	30.55	105	30	10.00
37	24	8.30	69	36	13.89	106	24	8.30
39	24	16.67	71	36	8.30	107	30	13.30
40	24	20.80	72	36	22.20	108	30	3.30
42	36	11.10	73	36	11.10	112	30	3.30
43	24	50.00	75	30	10.00	118	24	12.50
44	30	13.30	77	36	30.56	127	24	4.17
45	24	20.80						

หมายเหตุ 1. สูตรทดลองอื่น ๆ ที่ไม่ให้หน่อ ไม่ได้แสดงในตารางนี้

2. สูตรทดลองทั้งหมด 135 สูตร ให้หน่อในตารางนี้รวม 73 สูตร

3. คิดเปอร์เซ็นต์จากจำนวนแคลลัสทั้งหมดในแต่ละสูตร

4. n =จำนวนแคลลัสที่ใช้ในแต่ละสูตร

ตารางที่ 12 สูตรทดลองที่ให้แคลลัสที่เกิดหน่อในสัปดาห์ที่ 6 (เฉลี่ยจากผลการทดลอง ละ 18-54 แคลลัส)

สูตรที่	n	จำนวนแคลลัสที่เกิดหน่อ (%)	สูตรที่	n	จำนวนแคลลัสที่เกิดหน่อ (%)	สูตรที่	n	จำนวนแคลลัสที่เกิดหน่อ (%)
1	54	5.56	47	24	4.17	78	36	2.78
5	30	6.67	49	24	4.17	79	30	10.00
8	24	4.17	50	30	6.70	81	24	4.17
9	30	10.00	51	24	12.50	82	30	3.33
10	36	2.78	53	24	4.17	83	30	6.67
11	18	5.60	54	18	12.50	87	24	12.50
12	24	4.17	55	30	16.67	88	36	2.78
13	18	5.60	56	24	4.17	91	36	5.56
17	24	4.17	57	36	2.78	92	30	6.67
20	24	4.17	58	36	8.30	93	24	20.80
22	30	3.33	60	24	8.30	94	24	4.17
23	24	12.50	61	24	8.30	95	24	4.17
27	30	3.33	62	36	8.30	97	36	5.56
28	18	5.60	64	36	2.78	98	24	8.30
29	24	4.17	65	24	8.30	99	30	3.30
34	24	4.17	66	36	5.56	100	36	2.78
35	24	12.50	67	30	10.00	101	30	3.30
36	24	16.67	68	36	11.10	105	30	10.00
37	24	4.17	69	36	8.30	106	24	8.30
39	24	4.17	71	36	2.78	107	30	3.30
40	24	4.17	72	36	5.60	108	30	3.30
42	36	5.56	73	36	5.60	112	30	3.30
43	24	16.67	75	30	6.67	118	24	4.17
44	30	6.70	77	36	11.10	127	24	4.17
45	24	12.50						

หมายเหตุ 1. สูตรทดลองอื่น ๆ ที่ไม่ให้แคลลัสที่เกิดหน่อ ไม่ได้แสดงในตารางนี้

2. สูตรทดลองทั้งหมด 135 สูตร ให้แคลลัสที่เกิดหน่อในตารางนี้รวม 73 สูตร
3. คิดเปอร์เซ็นต์จากจำนวนแคลลัสทั้งหมดในแต่ละสูตร
4. n = จำนวนแคลลัสที่ใช้ในแต่ละสูตร

ตารางที่ 13 สูตรทดลองที่ให้ผลผลิตดี 1-10 อันดับแรก คัดเลือกมาจากสูตรทดลองทั้งหมด 135 สูตร

อันดับที่	สูตรที่	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร(จำนวนเท่า)				n	แคลลัสที่ให้หน่อ (%)	จำนวนหน่อ (%)
		NH_4^+	K^+	$H_2PO_4^-$	NO_3^-			
1	93*	16	4	1	10	24	20.8	29.2
2	43*	1	4	16	1	24	16.7	50.0
3	55*	4	1	1	1	30	16.7	30.0
4	36	1	1	16	10	24	16.7	20.8
5	51	1	16	4	10	24	12.5	25.0
6	87	16	1	4	10	24	12.5	25.0
7	35	1	1	16	3	24	12.5	20.8
8	45*	1	4	16	10	24	12.5	20.8
9	23	0	16	4	3	24	12.5	16.7
10	54	1	16	16	10	18	12.5	16.7
สูตรเปรียบเทียบ	1*	0	1	1	1	54	5.6	9.3

หมายเหตุ * คือสูตรที่คัดเลือก มีเหตุผลในการคัดเลือกดังนี้

สูตรที่ 93 มี % แคลลัสที่ให้หน่อ และทุก flask มีแคลลัสที่ให้หน่อ

สูตรที่ 43, 55 มี % จำนวนหน่อมาก และรองลงมาตามลำดับ มี % แคลลัสที่ให้หน่อปานกลาง

สูตรที่ 45 เป็นสูตรที่น่าสนใจ มีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นที่พบบ่อยหรือน่าสนใจใน 1-10 อันดับแรกของสูตรทดลองที่ให้ผลผลิตดี

สูตรที่ 1 เป็นสูตรเปรียบเทียบ

n = จำนวนแคลลัสที่ใช้ในแต่ละสูตร

ตารางที่ 14 ผลของ NO_3-N ต่อแคลลัสที่ให้หน่อตั้งแต่ 1-5 หน่อ (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความเข้มข้นของ NO_3^- (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ					รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ (%)	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
		1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)	4 (หน่อ/แคลลัส)	5 (หน่อ/แคลลัส)				
3.33	810	15	9	7	1	2	34	4.20	68	8.40
9.51	810	14	7	3	3	2	29	3.58	59	7.28
34.23	810	19	13	2	2	1	37	4.57	64	7.90
รวม	2,430	48	29	12	6	5	100	4.12	191	7.86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 แคลลัสที่ให้หน่อ เมื่อจำแนกตามความสูงที่ความเข้มข้นระดับต่างๆของ NO_3-N (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความสูงของหน่อ (ซม.)	ความเข้มข้นของ NO_3^- (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ					รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ %	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส(%)
			1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)	4 (หน่อ/แคลลัส)	5 (หน่อ/แคลลัส)				
< 0.5	3.33	810	←	←	54*	→	→	54	6.67	- *	- *
	9.51	810	←	←	51*	→	→	51	6.30	- *	- *
	34.23	810	←	←	59*	→	→	59	7.28	- *	- *
	รวม	2,430	←	←	164*	→	→	164	6.75	- *	- *
0.5-0.9	3.33	810	13	4	0	0	0	17	2.10	21	2.59
	9.51	810	9	3	0	0	0	12	1.48	15	1.85
	34.23	810	13	2	0	0	0	15	1.85	17	2.10
	รวม	2,430	35	9	0	0	0	44	1.81	53	2.18
1-1.9	3.33	810	8	5	1	0	0	14	1.73	21	2.59
	9.51	810	8	2	0	1	0	11	1.36	16	1.98
	34.23	810	9	1	0	0	0	10	1.24	11	1.36
	รวม	2,430	25	8	1	1	0	35	1.44	48	1.98
2-2.9	3.33	810	3	1	0	0	0	4	0.49	5	0.62
	9.51	810	6	1	0	0	0	7	0.86	8	0.99
	34.23	810	10	1	0	0	0	11	1.36	12	1.48
	รวม	2,430	19	3	0	0	0	22	0.91	25	1.03
≥ 3	3.33	810	13	4	0	0	0	17	2.10	21	2.59
	9.51	810	11	2	0	0	1	14	1.73	20	2.47
	34.23	810	12	3	2	0	0	17	2.10	24	2.96
	รวม	2,430	36	9	2	0	1	48	1.98	65	2.68

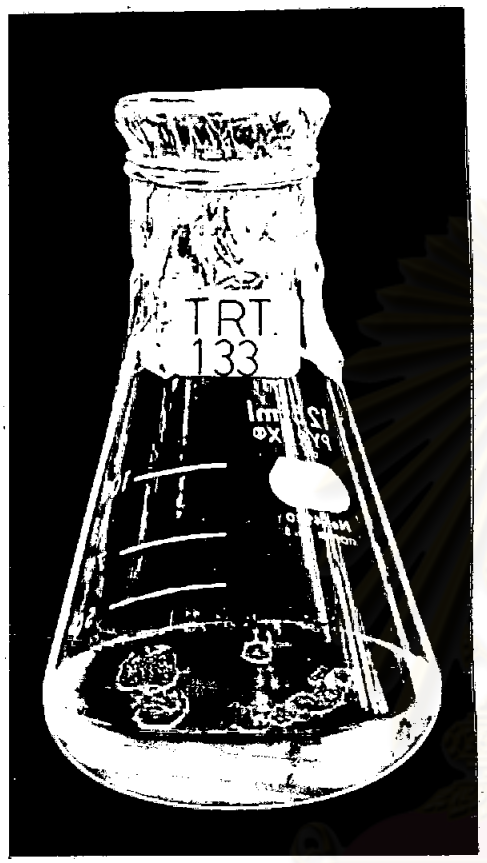
หมายเหตุ * คือ จำนวนแคลลัสที่เริ่มให้หน่อ แต่นับเป็นจำนวนหน่อที่แน่นอนไม่ได้

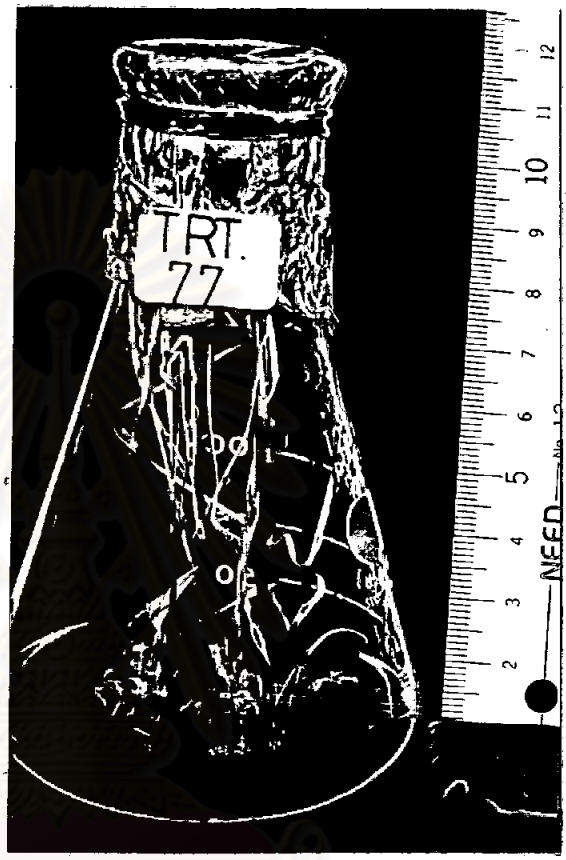
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 ผลของ NH_4-N ต่อแคลลัสที่ให้หน่อตั้งแต่ 1-5 หน่อ (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ					รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ (%)	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
		1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)	4 (หน่อ/แคลลัส)	5 (หน่อ/แคลลัส)				
0.0	486	4	4	1	0	0	9	1.85	15	3.09
0.8	486	10	11	3	1	2	27	5.56	55	11.32
3.2	486	17	8	5	4	3	37	7.61	79	16.26
12.8	486	16	6	2	1	0	25	5.14	38	7.82
51.2	486	1	0	1	0	0	2	0.41	4	0.82
รวม	2,430	48	29	12	6	5	100	4.12	191	7.86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาพที่ 3 ภาพที่ 4

ภาพที่ 3 แคลลัสข้าวที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่มี NH_4-N ความเข้มข้น 51.2 mM

ภาพที่ 4 แคลลัสที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่มี NH_4-N ความเข้มข้น 3.2 mM เปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่มี NH_4-N ความเข้มข้น 51.2 mM

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 และ 17 พบว่าในสัปดาห์ที่ 6 NH_4-N ความเข้มข้น 3.2, 0.8, 12.8, 0 และ 51.2 mM ให้จำนวนหน่อ 79, 55, 38, 15 และ 4 หน่อ ตามลำดับจากมากไปหาน้อย และหน่อที่มีความสูงระดับต่าง ๆ พบมากที่ความเข้มข้น 3.2, 0.8, 12.8, 0 และ 51.2 mM ตามลำดับทุกระดับ

ความเข้มข้นของ NH_4-N ที่ให้จำนวนแคลลัสที่เกิดหน่อเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้คือ 3.2, 0.8, 12.8, 0 และ 51.2 mM

2.3 ผลของ P ต่อจำนวนหน่อและแคลลัสที่เกิดหน่อ

P ที่ความเข้มข้น 0.48, 1.92 และ 0.12 mM ให้จำนวนหน่อต่อแคลลัสจากมากไปหาน้อย ตามลำดับ (ตารางที่ 18) แต่เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับนี้ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

เมื่อศึกษาผลของ P ต่อการเกิดหน่อในสัปดาห์ที่ 6 (ตารางที่ 18, 19) พบว่าความเข้มข้น 0.48, 1.92 และ 0.12 mM ให้หน่อ 68, 65 และ 58 หน่อตามลำดับจากมากไปหาน้อย หน่อที่มีความสูงระหว่าง 0.5 ถึง 2 ซม. พบมากที่ความเข้มข้น 0.12, 0.48 และ 1.92 mM ตามลำดับจากมากไปหาน้อย หน่อที่มีความสูงตั้งแต่ 2 ซม. ขึ้นไปพบมากที่ความเข้มข้น 0.48 และ 1.92 mM เท่ากัน และพบรองลงมาที่ความเข้มข้น 0.12

สำหรับจำนวนแคลลัสที่เกิดหน่อพบมากที่ความเข้มข้น 1.92 mM และพบเท่ากันที่ความเข้มข้น 0.12 และ 0.48 mM แคลลัสที่เกิดหน่อที่มีความสูงระหว่าง 0.5 ถึง 2 ซม. พบในจำนวนที่ใกล้เคียงกันที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ แคลลัสที่เกิดหน่อที่มีความสูงตั้งแต่ 2 ซม. ขึ้นไปพบมากที่ความเข้มข้น 1.92, 0.48 และ 0.12 mM ตามลำดับจากมากไปหาน้อย

ความเข้มข้นของ P ที่ให้จำนวนแคลลัสที่เกิดหน่อมากคือ 1.92 mM ส่วนความเข้มข้น 0.12 และ 0.48 mM ให้จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อเท่ากัน

2.4 ผลของ K ต่อจำนวนหน่อ และแคลลัสที่เกิดหน่อ

K ที่ความเข้มข้น 6.64, 1.66 และ 26.56 mM ให้จำนวนหน่อต่อแคลลัสมากน้อยตามลำดับ (ตารางที่ 20,21) เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าความเข้มข้น 6.64 และ 1.66 mM ให้

ตารางที่ 17 แคลลัสที่ให้หน่อ เมื่อจำแนกตามความสูงของหน่อที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ NH_4-N (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความสูงของหน่อ (ซม.)	ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ					รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ (%)	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
			1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)	4 (หน่อ/แคลลัส)	5 (หน่อ/แคลลัส)				
< 0.5	0.0	486	←	→	17*	→		17	3.50	- *	→
	0.8	486	←	→	54*	→		54	11.11	- *	→
	3.2	486	←	→	56*	→		56	11.52	- *	→
	12.8	486	←	→	33*	→		33	6.79	- *	→
	51.2	486	←	→	4*	→		4	0.82	- *	→
	รวม	2,430	←	→	164*	→		164	6.75	- *	→
0.5 - 0.9	0.0	486	1	2	0	0	0	3	0.62	5	1.03
	0.8	486	9	2	0	0	0	11	2.26	13	2.68
	3.2	486	16	4	0	0	0	20	4.11	24	4.94
	12.8	486	8	1	0	0	0	9	1.85	10	2.06
	51.2	486	1	0	0	0	0	1	0.21	1	0.21
	รวม	2,430	35	9	0	0	0	44	1.81	53	2.18
1 - 1.9	0.0	486	2	0	0	0	0	2	0.41	2	0.41
	0.8	486	7	3	1	0	0	11	2.26	16	3.29
	3.2	486	12	2	0	1	0	15	3.09	20	4.12
	12.8	486	3	3	0	0	0	6	1.25	9	1.85
	51.2	486	1	0	0	0	0	1	0.21	1	0.21
	รวม	2,430	25	8	1	1	0	35	1.44	48	1.98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ความสูงของหน่อ (ซม.)	ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ					รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ (%)	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
			1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)	4 (หน่อ/แคลลัส)	5 (หน่อ/แคลลัส)				
2 - 2.9	0.0	486	1	1	0	0	0	2	0.41	3	0.62
	0.8	486	7	2	0	0	0	9	1.85	11	2.26
	3.2	486	7	0	0	0	0	7	1.44	7	1.44
	12.8	486	3	0	0	0	0	3	0.62	3	0.62
	51.2	486	1	0	0	0	0	1	0.21	1	0.21
	รวม	2,430	19	3	0	0	0	22	0.91	25	1.03
≥ 3	0.0	486	3	1	0	0	0	4	0.82	5	1.03
	0.8	486	9	3	0	0	0	12	2.47	15	3.09
	3.2	486	12	4	1	0	1	18	3.70	28	5.76
	12.8	486	11	1	1	0	0	13	2.68	16	3.29
	51.2	486	1	0	0	0	0	1	0.21	1	0.21
	รวม	2,430	36	9	2	0	1	48	1.98	65	2.68

หมายเหตุ * คือ จำนวนแคลลัสที่เริ่มให้หน่อ แต่นับเป็นจำนวนหน่อที่แน่นอนไม่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 18 ผลของ P ต่อแคลลัสที่ให้หน่อตั้งแต่ 1-5 หน่อ (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$ (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ					รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ (%)	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
		1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)	4 (หน่อ/แคลลัส)	5 (หน่อ/แคลลัส)				
0.12	810	16	8	6	2	0	32	3.95	58	7.16
0.48	810	14	10	1	4	3	32	3.95	68	8.40
1.92	810	18	11	5	0	2	36	4.44	65	8.03
รวม	2,430	48	29	12	6	5	100	4.12	191	7.86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19 แคลลัสที่ให้หน่อ เมื่อจำแนกตามความสูงที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ P. (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความสูงของหน่อ (ซม.)	ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$ (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ					รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ %	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
			1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)	4 (หน่อ/แคลลัส)	5 (หน่อ/แคลลัส)				
< 0.5	0.12	810	←	←	59*	→	→	59	7.28	-*	→
	0.48	810	←	←	50*	→	→	50	6.17	-*	→
	1.92	810	←	←	55*	→	→	55	6.79	-*	→
	รวม	2,430	←	←	164*	→	→	164	6.75	-*	→
0.5-0.9	0.12	810	11	2	0	0	0	13	1.61	15	1.85
	0.48	810	11	7	0	0	0	18	2.22	25	3.09
	1.92	810	13	0	0	0	0	13	1.61	13	1.61
	รวม	2,430	35	9	0	0	0	44	1.81	53	2.18
1-1.9	0.12	810	7	5	0	1	0	13	1.61	21	2.59
	0.48	810	7	1	0	0	0	18	0.99	9	1.11
	1.92	810	11	2	1	0	0	13	1.61	18	2.22
	รวม	2,430	25	8	1	1	0	35	1.44	48	1.98
2-2.9	0.12	810	6	0	0	0	0	6	0.74	6	0.74
	0.48	810	6	3	0	0	0	9	1.11	12	1.48
	1.92	810	7	0	0	0	0	7	0.86	7	0.86
	รวม	2,430	19	3	0	0	0	22	0.91	25	1.03
3	0.12	810	10	3	0	0	0	13	1.61	16	1.98
	0.48	810	12	1	1	0	1	15	1.85	22	2.72
	1.92	810	14	5	1	0	0	20	2.47	27	3.33
	รวม	2,430	36	9	2	0	1	48	1.98	65	2.68

หมายเหตุ * คือ จำนวนแคลลัสที่เริ่มให้หน่อ แต่นับเป็นจำนวนหน่อที่แน่นอนไม่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 20 ผลของ K ต่อแคลลัสที่ให้หน่อตั้งแต่ 1-5 หน่อ (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความเข้มข้นของ K^+ (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ					รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ (%)	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
		1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)	4 (หน่อ/แคลลัส)	5 (หน่อ/แคลลัส)				
1.66	810	19	11	6	1	0	37	4.57	63	7.78
6.44	810	17	9	5	4	4	39	4.82	86	10.62
26.56	810	12	9	1	1	1	24	2.96	42	5.19
รวม	2,430	48	29	12	6	5	100	4.12	191	7.86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21 แคลลัสที่ให้หน่อ เมื่อจำแนกตามความสูงที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ K (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความสูงของหน่อ	ความเข้มข้นของ K^+ (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ 1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)	4 (หน่อ/แคลลัส)	5 (หน่อ/แคลลัส)	รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ %	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
< 0.5	1.66	810	←	→	58*	←	→	58	7.16	-*	-*
	6.64	810	←	→	64*	←	→	64	7.90	-*	-*
	26.56	810	←	→	42*	←	→	42	5.19	-*	-*
	รวม	2,430	←	→	164*	←	→	164	6.75	-*	-*
0.5 -0.9	1.66	810	19	2	0	0	0	21	2.59	23	2.84
	6.64	810	10	5	0	0	0	15	1.85	20	2.47
	26.56	810	6	2	0	0	0	8	0.99	10	1.24
	รวม	2,430	35	9	0	0	0	44	1.81	53	2.18
1-1.9	1.66	810	9	3	0	0	0	12	1.48	15	1.85
	6.64	810	12	4	1	1	0	18	2.22	27	3.33
	26.56	810	4	1	0	0	0	5	0.62	6	0.74
	รวม	2.430	25	8	1	1	0	35	1.44	48	1.98
2-2.9	1.66	810	5	1	0	0	0	6	0.74	7	0.86
	6.64	810	11	0	0	0	0	11	1.36	11	1.36
	26.56	810	3	2	0	0	0	5	0.62	7	0.86
	รวม	2,430	19	3	0	0	0	22	0.91	25	1.03
≥ 3	1.66	810	11	2	1	0	0	14	1.73	18	2.22
	6.64	810	13	6	1	0	0	20	2.47	28	3.46
	26.56	810	12	1	0	0	1	14	1.73	19	2.35
	รวม	2,430	36	9	2	0	1	48	1,98	65	2.68

หมายเหตุ * คือจำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ แต่นับเป็นจำนวนหน่อที่แน่นอนไม่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่อไม่แตกต่างกัน และความเข้มข้น 1.66 mM ก็ให้หน่อไม่แตกต่างกันกับความเข้มข้น 26.56 mM แต่ความเข้มข้น 6.64 และ 26.56 mM ให้หน่อแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ความเข้มข้นของ K ที่ให้จำนวนแคลลัสที่เกิดหน่อเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้คือ 6.64 1.66 และ 26.56 mM

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ NO_3-N NH_4-N P และ K ที่มีต่อจำนวนหน่อ

ตารางที่ 22 ก, ข, ค. พบว่า เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NH_4^+ จาก 0 ถึง 51.2 mM จะมีจำนวนหน่อสูงสุดที่ความเข้มข้นของ NH_4^+ 3.2 mM ทุกระดับความเข้มข้นของ NO_3-N P และ K ที่ศึกษา และจำนวนหน่อจะสูงเมื่อ NH_4^+ มีความเข้มข้น 3.2 mM NO_3^- ความเข้มข้น 9.51 mM $H_2PO_4^-$ ความเข้มข้น 0.48 mM และ K^+ ความเข้มข้น 6.64 mM

ตารางที่ 22 ค, ง, จ. เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ K^+ จาก 1.66 ถึง 26.56 mM จะมีจำนวนหน่อสูงสุดที่ความเข้มข้นของ K^+ 6.64 mM ทุกระดับความเข้มข้นของ NH_4-N NO_3-N และ P ที่ศึกษา

ตารางที่ 22 ก,ง,จ. มีความสัมพันธ์ระหว่าง NH_4-N NO_3-N P และ K ที่น่าสนใจคือ เมื่อ NH_4^+ ความเข้มข้น 0.8 mM $H_2PO_4^-$ ความเข้มข้น 1.92 mM K^+ ความเข้มข้น 6.64 mM และ NO_3^- ความเข้มข้น 3.33 mM ตรงกับความเข้มข้นที่ใช้ในสูตรที่ 43 ซึ่งเป็นสูตรที่ให้จำนวนหน่อมากเป็นอับดับที่ 2 ตามผลการวิจัยนี้

ตารางที่ 22 ฉ. แม้ว่า NO_3-N และ P ทุกระดับความเข้มข้นที่ศึกษาจะให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง NO_3^- และ $H_2PO_4^-$ พบว่ามีความสัมพันธ์ที่น่าสนใจ กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของ NO_3^- และ $H_2PO_4^-$ เพิ่มขึ้นตามกัน คือ 1, 4 และ 16 เท่า จะให้จำนวนหน่อสูง

ผลจากตารางที่ 22 เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NO_3-N NH_4-N P และ K มีผลต่อจำนวนหน่อมากกว่าสัดส่วนของธาตุอาหารดังกล่าว และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารเพียงคู่ใดคู่หนึ่งมีผลต่อจำนวนหน่อน้อยกว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารทุกคู่

ตารางที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ NO_3-N NH_4-N P และ K ที่มีต่อผลการเกิดหน่อ โดยเทียบที่ละคู่ (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

(ก)

ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$ (mM)	จำนวนหน่อที่ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)					
	0	0.8	3.2	12.8	51.2	รวม
0.12	4	8	23	20	3	58
0.48	5	13	38	11	1	68
1.92	6	34	18	7	0	65
รวม	15	55	79	38	4	191

(ข)

ความเข้มข้นของ NO_3^- (mM)	จำนวนหน่อที่ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)					
	0	0.8	3.2	12.8	51.2	รวม
3.33	4	23	26	11	4	68
9.51	7	8	35	9	0	59
34.23	4	24	18	18	0	64
รวม	15	55	79	38	4	191

(ค)

ความเข้มข้นของ K^+ (mM)	จำนวนหน่อที่ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)					
	0	0.8	3.2	12.8	51.2	รวม
1.66	10	14	26	12	1	63
6.64	3	28	37	15	3	86
26.56	2	13	16	11	0	42
รวม	15	55	79	38	4	191

(ง)

ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$ (mM)	จำนวนหน่อที่ความเข้มข้นของ K^+ (mM)			
	1.66	6.64	26.56	รวม
0.12	22	28	8	58
0.48	19	26	23	68
1.92	22	32	11	65
รวม	63	86	42	191

(จ)

ความเข้มข้นของ NO_3^-	จำนวนหน่อที่ความเข้มข้นของ K^+ (mM)			
	1.66	6.64	26.56	รวม
3.33	25	32	11	68
9.51	17	27	15	59
34.23	21	27	16	64
รวม	63	86	42	191

(ฉ)

ความเข้มข้นของ NO_3^-	จำนวนหน่อที่ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$ (mM)			
	0.12	0.48	1.92	รวม
3.33	29	20	19	68
9.51	16	26	17	59
34.23	13	22	29	64
รวม	58	68	65	191

หมายเหตุ ในแต่ละการทดลองใช้ 270 แคลลัส ยกเว้นเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง NH_4-N กับธาตุอาหารอื่นๆ ใช้ 162 แคลลัส รวม 2,430 แคลลัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ผลของ NO_3-N NH_4-N P และ K ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่ให้ราก

พบว่าแคลลัสที่ให้รากจะเพิ่มมากขึ้นจากสัปดาห์ที่ 2-4 และเพิ่มมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 ในสัปดาห์ที่ 2 มีแคลลัสที่ให้ราก 16.1 เปอร์เซนต์ ในสัปดาห์ที่ 4 เพิ่มขึ้น 9.3 เปอร์เซนต์ ในสัปดาห์ที่ 6 เพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 4 อีก 3.3 เปอร์เซนต์ เป็น 28.6 เปอร์เซนต์ แสดงให้เห็นว่าในการเกิดรากนั้นอาจต้องการเวลานานกว่าการเกิดหน่อ

3.1 ผลของ NO_3-N ต่อแคลลัสที่ให้ราก

ตารางที่ 23 ก. ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 NO_3-N ความเข้มข้น 3.33 9.51 และ 34.23 mM ให้แคลลัสที่ให้รากตามลำดับจากมากไปน้อย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า ความเข้มข้น 3.3 mM ให้แคลลัสที่ให้รากแตกต่างกันกับความเข้มข้น 9.51 และ 34.23 mM ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

เป็นที่น่าสังเกตว่า NO_3-N ที่ความเข้มข้น 3.33 mM มีผลต่อการเกิดรากมากกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ ที่ศึกษา

3.2 ผลของ NH_4-N ต่อแคลลัสที่ให้ราก

ตารางที่ 23 ข. ในสัปดาห์ที่ 2 NH_4-N ที่ความเข้มข้น 3.2 0 0.8 และ 51.2 mM ให้แคลลัสที่ให้รากตามลำดับจากมากไปน้อย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า ความเข้มข้น 3.2 0 0.8 และ 12.8 mM ให้แคลลัสที่ให้รากไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกันกับความเข้มข้น 51.2 mM ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

ในสัปดาห์ที่ 4,6 NH_4-N ความเข้มข้น 3.2 0.8 12.8 0 และ 51.2 mM ให้แคลลัสที่ให้รากเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าในสัปดาห์ที่ 4 NH_4-N ความเข้มข้น 3.2 0.8 12.8 และ 0 ให้แคลลัสที่ให้รากแตกต่างกันกับความเข้มข้น 51.2 mM และความเข้มข้น 3.2 และ 0.8 mM ให้แคลลัสที่ให้รากแตกต่างกันกับความเข้มข้น 0 mM ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ ในสัปดาห์ที่ 6 ความเข้มข้น 3.2 0.8 12.8 และ 0 ให้ผลแตกต่างกันกับความเข้มข้น 51.2 mM ความเข้มข้น 3.2 และ 0.8 mM ให้ผลแตกต่างกันกับความเข้มข้น 0 mM ความเข้มข้น 3.2 mM ให้แคลลัสที่ให้รากแตกต่างกันกับความเข้มข้น 12.8 mM ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 23 ผลของ NO_3-N NH_4-N P และ K ต่อแคลลัสที่ให้ราก (วัดผลในสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6)

ความเข้มข้นของ NO_3^- (mM)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ราก						
		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6		
		จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	
3.33	810	170	20.99	245	30.25	259	31.98	
9.51	810	119	14.69	191	23.58	224	27.65	
34.23	810	101	12.47	179	22.10	212	26.17	
รวม	2430	390	16.05	615	25.31	695	28.60	(ก)
ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ราก						
		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6		
		จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	
0	486	90	18.52	112	23.05	121	24.90	
0.8	486	85	17.49	158	32.51	181	37.24	
3.2	486	111	22.84	172	35.39	203	41.77	
12.8	486	80	16.46	137	28.19	148	30.45	
51.2	486	24	4.94	36	7.41	42	8.64	
รวม	2430	390	16.05	615	25.31	695	28.60	(ข)
ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$ (mM)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ราก						
		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6		
		จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	
0.12	810	125	15.43	208	25.68	225	27.78	
0.48	810	138	17.04	216	26.67	249	30.74	
1.92	810	127	15.68	191	23.58	221	27.28	
รวม	2430	390	16.05	615	25.31	695	28.60	(ค)
ความเข้มข้นของ K^+ (mM)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ราก						
		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6		
		จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	
1.66	810	116	14.32	192	23.70	215	26.54	
6.64	810	154	19.01	214	26.42	252	31.98	
26.56	810	120	14.82	209	25.80	221	27.28	
รวม	2430	390	16.05	615	25.31	695	28.60	(ง)

3.3 ผลของ P ต่อแคลลัสที่ให้ราก

ตารางที่ 23 ค. ในสัปดาห์ที่ 2 P ความเข้มข้น 0.48 1.92 และ 0.12 mM ให้แคลลัสที่ให้รากมากน้อยตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 4 และ 6 P ความเข้มข้น 0.48 0.12 และ 1.92 mM ให้แคลลัสที่ให้รากตามลำดับจากมากไปน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า P ที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับที่ศึกษาให้แคลลัสที่ให้รากไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

3.4 ผลของ K ต่อแคลลัสที่ให้ราก

ตารางที่ 23 ง. ในสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6 K ที่ความเข้มข้น 6.64 26.56 และ 1.66 mM ให้แคลลัสที่ให้รากเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าในสัปดาห์ที่ 2 และ 6 P ที่ความเข้มข้น 6.64 mM ให้แคลลัสที่ให้รากแตกต่างกันกับความเข้มข้น 26.56 และ 1.66 mM สำหรับในสัปดาห์ที่ 4 ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับให้ผลไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ NO_3-N NH_4-N P และ K ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่ให้รากในสัปดาห์ที่ 6

ตารางที่ 24 ก. ข. ค. NH_4-N ที่ความเข้มข้น 3.2 mM ให้จำนวนแคลลัสที่ให้รากมากที่สุด ทุกระดับความเข้มข้นของ NO_3-N, P และ K ที่ศึกษา

เมื่อ NH_4-N ความเข้มข้น 3.2 mM จะให้แคลลัสที่ให้รากมากที่สุดที่ NO_3-N ความเข้มข้น 3.33 mM P ความเข้มข้น 0.48 mM และ K ความเข้มข้น 6.64 mM

ตารางที่ 24 ค. ง. จ. K ที่ความเข้มข้น 6.64 mM ให้จำนวนแคลลัสที่ให้รากมากที่สุด ทุกระดับความเข้มข้นของ NO_3-N NH_4-N และ P ที่ศึกษา

ตารางที่ 24 ช. จ. ฉ. NO_3-N ความเข้มข้น 3.33 และ 9.51 mM ให้ผลดีที่ความเข้มข้นของ NH_4-N และ K ดังกล่าวข้างต้น ตารางที่ 16 ก. ง. ฉ. ที่ความเข้มข้น 0.48 mM ให้แคลลัสที่ให้รากมากที่ความเข้มข้นของ NO_3-N NH_4-N และ K ดังกล่าวข้างต้น

สังเกตได้ว่า ความเข้มข้นของ NH_4-N NO_3-N P และ K ที่ให้แคลลัสที่ให้รากมากนั้นมีช่วงความเข้มข้นใกล้เคียงกับช่วงความเข้มข้นที่ให้หน่อมาก

ตารางที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ NO_3-N NH_4-N P และ K ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่ให้ราก โดยเทียบทีละคู่ (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

(ก)

ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$	จำนวนแคลลัสที่ให้รากที่ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)					
	0	0.8	3.2	12.8	51.2	รวม
0.12	38	50	63	53	21	225
0.48	50	64	73	48	14	249
1.92	33	67	67	47	7	221
รวม	121	181	203	148	42	695

(ข)

ความเข้มข้นของ NO_3^-	จำนวนแคลลัสที่ให้รากที่ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)					
	0	0.8	3.2	12.8	51.2	รวม
3.33	44	68	76	51	20	259
9.51	40	51	72	45	16	224
34.23	37	62	55	52	6	212
รวม	121	181	203	148	42	695

(ค)

ความเข้มข้นของ K^+	จำนวนแคลลัสที่ให้รากที่ความเข้มข้นของ NH_4^+ (mM)					
	0	0.8	3.2	12.8	51.2	รวม
1.66	36	48	68	48	15	215
6.64	47	62	82	54	14	259
26.56	38	71	53	46	13	221
รวม	121	181	203	148	42	695

(ง)

ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$ (mM)	จำนวนแคลลัสที่ให้รากที่ความเข้มข้นของ K^+ (mM)			
	1.66	6.64	26.56	รวม
0.12	73	88	64	225
0.48	76	95	78	249
1.92	66	76	79	221
รวม	215	259	221	695

(จ)

ความเข้มข้นของ NO_3^- (mM)	จำแนวนแคลลัสที่ให้รากที่ความเข้มข้นของ K^+ (mM)			
	1.66	6.64	26.56	รวม
3.33	76	97	86	259
9.51	64	90	70	224
34.23	75	72	65	212
รวม	215	259	221	695

(ฉ)

ความเข้มข้นของ NO_3^- (mM)	จำนวนแคลลัสที่ให้รากที่ความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$ (mM)			
	0.12	0.48	1.92	รวม
3.33	72	91	96	259
9.51	86	84	54	224
34.23	67	74	71	212
รวม	225	249	221	695

หมายเหตุ ในแต่ละการทดลองใช้ 270 แคลลัส ยกเว้นเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง NH_4-N กับธาตุอาหารอื่นๆ ใช้ 162 แคลลัส รวม 2,432 แคลลัส

4. ความสัมพันธ์ระหว่าง NH_4-N และ K ที่ระดับความเข้มข้นที่มีผลต่อการเกิดหน่อ และขนาดแคลลัส

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง NH_4-N และขนาดแคลลัส

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง NH_4-N ที่ความเข้มข้น 0.8 และ 3.2 mM ซึ่งมีผลต่อการเกิดหน่อและขนาดแคลลัส (ตารางที่ 25) พบว่า หากในสัปดาห์ที่ 2 แคลลัสที่ขนาดเล็กคือมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. จะมีโอกาสเจริญเติบโตช้ามาก แต่แคลลัสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-6 มม. ขึ้นไปจะสามารถเจริญเติบโตและให้หน่อได้ โดยเฉพาะถ้าในสัปดาห์ที่ 2 แคลลัสมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ขึ้นไปจะให้จำนวนหน่อต่อแคลลัสมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 และแคลลัสขนาด 4 มม. เมื่ออยู่ในอาหารที่ชักนำให้เกิดหน่อเป็นแคลลัสขนาดที่เริ่มมีหน่อ

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง K และขนาดแคลลัส

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง K ที่ความเข้มข้น 1.66 และ 6.64 mM (ตารางที่ 26) ซึ่งมีผลต่อการเกิดหน่อและขนาดแคลลัสพบว่า เมื่อ K ความเข้มข้น 1.66 mM แคลลัสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ แต่ไม่ให้หน่อในสัปดาห์ที่ 6 ในขณะที่ K ความเข้มข้น 6.64 mM แคลลัสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. จะมีโอกาสเจริญเติบโตช้ามาก และในสัปดาห์ที่ 2 แคลลัสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มม. ขึ้นไปสามารถเจริญเติบโตต่อไปและให้หน่อได้ เมื่อ K ความเข้มข้น 1.66 mM แคลลัสขนาด 4-6 มม. ขึ้นไปในสัปดาห์ที่ 2 เมื่อเจริญเติบโตมีขนาด 6 มม. ขึ้นไปในสัปดาห์ที่ 6 จะให้จำนวนหน่อมากใกล้เคียงกัน สำหรับ K ที่ความเข้มข้น 6.64 mM แคลลัสขนาด 6 มม. ขึ้นไปในสัปดาห์ที่ 2 จะให้จำนวนหน่อมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 และแคลลัสขนาด 4 มม. เมื่ออยู่ในอาหารที่ชักนำให้เกิดหน่อเป็นแคลลัสขนาดที่เริ่มมีหน่อ

มีข้อน่าสังเกตว่า เมื่อศึกษา NH_4-N และ K พบว่าแคลลัสขนาดโตกว่าจะมีโอกาสให้หน่อได้มากกว่าแคลลัสขนาดที่เล็กกว่า

ตารางที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่าง NH_4-N และขนาดของแคลลัสที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นหน่อ เมื่อ NH_4-N เข้มข้น 0.8 และ 3.2 mM วัดผลจากการทดลองความเข้มข้นละ 486 แคลลัส รวม 2,430 แคลลัส

NH_4-N 0.8 mM	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแคลลัสในสัปดาห์ที่ 2 (มม.)	จำนวนหน่อต่อแคลลัสขนาดต่างๆ ในสัปดาห์ที่ 6				
		แคลลัสขนาด 2 มม.	แคลลัสขนาด 3 มม.	แคลลัสขนาด 4 มม.	แคลลัสขนาด 5 มม.	แคลลัสขนาด 6^+มม.
	2	0.0	–	–	–	–
	3	–	0.0	0.1429	–	0.0
	4	–	–	0.0288	0.1231	0.3333
	5	–	–	–	0.0738	0.0455
	6^+	–	–	–	–	0.4746
NH_4-N 3.2 mM	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแคลลัสในสัปดาห์ที่ 2 (มม.)	จำนวนหน่อต่อแคลลัสขนาดต่างๆ ในสัปดาห์ที่ 6				
		แคลลัสขนาด 2 มม.	แคลลัสขนาด 3 มม.	แคลลัสขนาด 4 มม.	แคลลัสขนาด 5 มม.	แคลลัสขนาด 6^+ มม.
	2	0.0	–	–	–	–
	3	–	0.0	0.0	–	–
	4	–	–	0.1019	0.1667	0.0
	5	–	–	–	0.1727	0.1154
	6^+	–	–	–	–	0.5833

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่าง K และขนาดของแคลลัสที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นหน่อ เมื่อ K เข้มข้น 1.66 mM และ 6.64 mM วัดผลจากการทดลองความเข้มข้นละ 486 แคลลัส รวม 2,430 แคลลัส

	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแคลลัสในสัปดาห์ที่ 2 (มม.)	จำนวนหน่อต่อแคลลัสขนาดต่าง ๆ ในสัปดาห์ที่ 6				
		แคลลัสขนาด 2 มม.	แคลลัสขนาด 3 มม.	แคลลัสขนาด 4 มม.	แคลลัสขนาด 5 มม.	แคลลัสขนาด 6^+ มม.
K 1.66 mM	2	0.0	0.0	–	–	–
	3	–	0.0	0.0400	–	0.0
	4	–	–	0.0330	0.0873	0.2500
	5	–	–	–	0.0846	0.1150
	6^+	–	–	–	–	0.1831
	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแคลลัสในสัปดาห์ที่ 2 (มม.)	จำนวนหน่อต่อแคลลัสขนาดต่าง ๆ ในสัปดาห์ที่ 6				
		แคลลัสขนาด 2 มม.	แคลลัสขนาด 3 มม.	แคลลัสขนาด 4 มม.	แคลลัสขนาด 5 มม.	แคลลัสขนาด 6^+ มม.
K 6.64 mM	2	0.0	–	–	–	–
	3	–	0.0104	0.0	–	0.0
	4	–	–	0.0546	0.1667	0.0
	5	–	–	–	0.0728	0.0427
	6^+	–	–	–	–	0.5270

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหน่อและลักษณะต่าง ๆ ของแคลลัส

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหน่อ(shoot=sh) และคะแนนของลักษณะต่าง ๆ ของแคลลัส ได้แก่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแคลลัส (size = s) สีของแคลลัส (colour = C) พื้นที่ greenspot บนพื้นที่ผิวของแคลลัส (greenspot = gs) และพื้นที่ที่เกิดรากบนพื้นที่ผิวของแคลลัส (root = r) โดยหาความสัมพันธ์ทางสถิติแบบสหสัมพันธ์ (correlation) และการถดถอยพหุคูณ (multiple regression) พบว่าในสัปดาห์ที่ 2 จำนวนหน่อมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางบวกกับคะแนนของพื้นที่ที่เกิดรากบนพื้นที่ผิวของแคลลัส กล่าวคือเมื่อจำนวนหน่อเพิ่มขึ้น คะแนนของพื้นที่ที่เกิดรากจะเพิ่มขึ้นด้วย ตามสมการ $sh = 8.32517 \times 10^{-3} + 0.0458\ r$

ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าจำนวนหน่อมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางบวกกับคะแนนของพื้นที่ที่เกิดรากและคะแนนของสีของแคลลัส กล่าวคือเมื่อจำนวนหน่อเพิ่มขึ้น คะแนนของพื้นที่ที่เกิดราก และคะแนนของสีของแคลลัสจะเพิ่มขึ้นด้วย ตามสมการ $sh = -0.05229 + 0.07488\ r + 0.02675\ C$

ในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าจำนวนหน่อมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางบวกกับคะแนนของพื้นที่ที่เกิดรากบนพื้นที่ที่เกิด greenspot และสีของแคลลัส และมีความสัมพันธ์ในทางลบกับคะแนนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแคลลัส กล่าวคือเมื่อจำนวนหน่อเพิ่มขึ้น คะแนนของพื้นที่ที่เกิดราก คะแนนของพื้นที่ที่เกิด greenspot และคะแนนของสีของแคลลัสจะเพิ่มขึ้นด้วย แต่คะแนนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแคลลัสจะลดลง ตามสมการ $sh = 0.02541 + 0.05278\ r + 0.03898\ gs + 0.01477\ c - 0.01783\ s$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NO_3-N และ NH_4-N ที่มีต่อ pH ของอาหารที่เลี้ยงเนื้อเยื่อในสัปดาห์ที่ 6

จากผลในตารางที่ 27 พบว่าเมื่อ NH_4-N มีความเข้มข้น 0 0.8 และ 3.2 mM ที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ NO_3-N ค่าเฉลี่ย pH ของอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อจะมีค่าใกล้ 7 และเมื่อ NH_4-N มีความเข้มข้น 12.8 และ 51.2 mM ค่าเฉลี่ย pH จะมีค่าใกล้ 5 และเมื่อ

ตารางที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NO_3-N และ NH_4-N ที่มีต่อ pH ของอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อ ในสัปดาห์ที่ 6 (pH เริ่มต้นคือ 5.6)

ความเข้มข้นของ NO_3^- (mM)	ค่าเฉลี่ย pH ที่ความเข้มข้นของ NH_4^+					รวมเฉลี่ย
	0	0.8	3.2	12.8	51.2	
3.33	6.97	6.97	6.61	5.01	4.81	6.07
9.51	6.88	6.99	6.59	5.33	5.38	6.23
34.23	6.98	6.87	6.62	5.89	5.88	6.45
รวม	6.94	6.94	6.61	5.41	5.36	6.25

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ย pH ได้จากการวัดค่า pH ในสัปดาห์ที่ 6 ในแต่ละสูตรทดลอง โดยการสุ่มวัดค่า pH สูตรทดลองละ 1 ขวด

2. ตารางนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NO_3-N และ NH_4-N ที่มีต่อ pH โดยประมาณและไม่ได้ทดสอบทางสถิติ

NH_4-N มีความเข้มข้น 3.2 mM จะเริ่มสังเกตเห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NH_4-N และ NO_3-N ได้ กล่าวคือ ค่า pH เริ่มต่ำลงจากค่า pH ประมาณ 6.9 เมื่อ NH_4-N มีความเข้มข้น 0 และ 0.8 mM มาเป็น 6.6 เมื่อ NH_4-N ความเข้มข้น 3.2 mM เมื่อ NH_4-N มีความเข้มข้น 12.8 และ 51.2 mM จะสังเกตได้ว่าค่า pH จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความเข้มข้นของ NO_3-N

บันทึกผลตามรายละเอียดในข้อ ข. ดังนี้

1. ผลของ Ca และ Mg ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่มี greenspot

1.1 ผลของ Ca ต่อแคลลัสที่มี greenspot

ตารางที่ 28 ก. ในสัปดาห์ที่ 2 Ca ที่ความเข้มข้น 1.27 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot สูงกว่าความเข้มข้น 0.32 และ 5.08 mM ซึ่งให้แคลลัสที่มี greenspot ใกล้เคียงกัน ในสัปดาห์ที่ 4 Ca ความเข้มข้น 0.32, 1.27 และ 5.08 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot ใกล้เคียงกันเรียงจากมากไปหาน้อยตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 6 Ca ที่ความเข้มข้น 1.27 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot มากกว่าที่ความเข้มข้น 0.32 และ 5.08 mM ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกัน

สังเกตได้ว่า Ca ที่ความเข้มข้น 1.27 mM ให้แคลลัสที่มี greenspot ดีกว่าและสม่ำเสมอกว่า Ca ที่ความเข้มข้น 0.32 และ 5.08 mM ตามลำดับ

1.2 ผลของ Mg ต่อแคลลัสที่มี greenspot

ตารางที่ 28 ข. พบว่าทุกสัปดาห์ที่ศึกษา Mg ที่ความเข้มข้น 0.73 และ 2.92 mM ให้ผลใกล้เคียงกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 28 ผลของ Ca และ Mg ต่อแคลลัสที่ให้ greenspot (วัดผลสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6)

	ความเข้มข้นของ Ca^{++} (mM.)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ greenspot					
			สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6	
			จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%
(ก)	0.32	300	151	50.33	226	75.33	218	72.67
	1.27	300	162	54.00	224	74.67	226	75.33
	5.08	300	150	50.0	222	74.0	217	72.33
	รวม	900	463	51.44	672	74.67	661	73.44
	ความเข้มข้นของ Mg^{++} (mM.)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ greenspot					
			สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6	
			จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%
(ข)	0.73	450	233	51.78	334	74.22	332	73.78
	2.92	450	230	51.11	338	75.11	329	73.11
	รวม	900	463	51.44	672	74.67	661	73.44

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ Ca และ Mg ที่มีต่อแคลลัสที่มี greenspotในสัปดาห์ที่ 4

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ Ca และ Mg ที่มีต่อแคลลัสที่มี greenspot เลือกศึกษาในสัปดาห์ที่ 4 เนื่องจากเป็นสัปดาห์ที่พบ greenspot มากที่สุดในการวิจัยนี้

ตารางที่ 29 พบว่าแคลลัสที่มี greenspot จะมีมากเมื่อ Ca ความเข้มข้น 0.32 mM Mg ความเข้มข้น 0.73 mM และเมื่อ Ca ความเข้มข้น 5.08 mM Mg ความเข้มข้น 2.92 mM กล่าวคือให้ผลดีเมื่อความเข้มข้นของ Ca และ Mg เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามกัน รองลงมาคือ เมื่อ Ca มีความเข้มข้น 1.27 mM จะให้ผลดีที่ความเข้มข้นของ Mg ทั้ง 2 ระดับ ที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่าง Ca และ Mg ที่ระดับความเข้มข้นที่ศึกษามีผลต่อจำนวนแคลลัสที่มี greenspot ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ca และ Mg ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่มี greenspot(วัดผลในสัปดาห์ที่ 4)

ความเข้มข้นของ Ca^{++} (mM)	แคลลัสที่มี greenspot ที่ความเข้มข้นของ Mg^{++} (mM)		รวม
	0.73	2.92	
0.32	116	110	226
1.27	112	112	224
5.08	106	116	222
รวม	334	338	672

หมายเหตุ ในแต่ละการทดลองใช้ 150 แคลลัส รวมทั้งหมด 900 แคลลัส

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ผลของ Ca และ Mg ที่มีต่อจำนวนหน่อและจำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ

จากสูตรทดลองได้เปลี่ยนปริมาณแคลเซียมจากความเข้มข้น 0.32 - 5.08 mM และเปลี่ยนปริมาณแมกนีเซียมจากความเข้มข้น 0.73 - 292 mM (ตามตารางที่ 6,7) รวมทั้งหมด 30 สูตร พบว่าสูตรทดลองที่ให้ผลผลิตดีทั้งในด้านจำนวนหน่อและจำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ คือสูตรที่ 55.4 ดังแสดงในตารางที่ 30

2.1 ผลของ Ca ต่อจำนวนหน่อและแคลลัสที่เกิดหน่อ

Ca ที่ความเข้มข้น 5.08 mM ให้หน่อมากกว่าที่ความเข้มข้น 0.32 และ 1.27 mM เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับนี้ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95-เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 31)

ตามตารางที่ 31 และ 32 ความเข้มข้นของ Ca ที่ให้จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ จำนวนหน่อและความสูงของหน่อเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยคือ 5.08, 0.32 และ 1.27 mM

2.2 ผลของ Mg ต่อจำนวนหน่อและแคลลัสที่เกิดหน่อ

Mg ที่ความเข้มข้น 2.92 ให้หน่อมากกว่าที่ความเข้มข้น 0.73 mM เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าความเข้มข้นทั้ง 2 ระดับนี้ให้ผลไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 33)

ตามตารางที่ 34 ในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าจำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ จำนวนหน่อและความสูงของหน่อที่ระดับต่าง ๆ พบมากที่ความเข้มข้น 2.92 และ 0.73 mM ตามลำดับจากมากไปหาน้อย

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ Ca และ Mg ที่มีต่อจำนวนหน่อ

จากตารางที่ 35 Mg ที่ความเข้มข้น 0.73 mM จะให้จำนวนหน่อมากเมื่อ Ca มีความเข้มข้น 5.08 mM และเมื่อ Mg มีความเข้มข้น 2.92 mM จะให้ผลใกล้เคียงกันทุกระดับความเข้มข้นของ Ca ที่ศึกษา

เป็นที่น่าสังเกตได้ว่า ระดับความเข้มข้น 1.27 mM ของ Ca และ 2.92 mM ของ Mg ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ใช้ในสูตรอาหารมาตรฐานของ White (1963) อาจมีความเหมาะสมต่อการเกิดหน่อมากกว่าความเข้มข้นระดับอื่นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 30 สูตรทดลองที่ให้หน่อเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ Ca และ Mg ในสูตรคัดเลือก

อันดับที่	สูตรที่	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร (จำนวนเท่า)		จำนวนแคลลัสทดลอง (n)	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ (%)	จำนวนหน่อ (%)
		Ca	Mg			
1	55.4	1	1	42	4.76	7.14
2	93.6	4	1	42	4.76	4.76
3	1.5	4	1/4	48	4.17	8.33
4	45.2	1/4	1	30	3.33	6.67
5	55.2	1/4	1	60	3.33	5.00
6	1.1	1/4	1/4	30	3.33	3.33
7	55.6	4	1	48	2.08	6.25
8	1.4	1	1	48	2.08	4.17
9	43.1	1/4	1/4	48	2.08	4.17
10	55.5	4	1/4	54	1.85	1.85

หมายเหตุ คิดเปอร์เซ็นต์จากจำนวนแคลลัสทั้งหมดในแต่ละสูตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 ผลของ Ca ต่อแคลลัสที่ให้หน่อตั้งแต่ 1-5 หน่อ (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความเข้มข้นของ Ca^{2+} (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ			รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ (%)	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
		1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)				
0.32	300	3	1	0	4	1.33	5	1.67
1.27	300	1	2	0	3	1.00	5	1.67
5.08	300	3	0	2	5	1.67	9	3.00
รวม	900	7	3	2	12	1.33	19	2.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 32 แคลลัสที่ให้หน่อ เมื่อจำแนกตามความสูงที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ Ca (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความสูงของหน่อ (ซม.)	ความเข้มข้นของ Ca^{2+} (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ			รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ (%)	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
			1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)				
< 0.5	0.32	300	←	4*	→	4	1.33	-*	-*
	1.27	300	←	9*	→	9	3.00	-*	-*
	5.08	300	←	5*	→	5	1.67	-*	-*
	รวม	900		18*		18	2.00	-*	-*
0.5-0.9	0.32	300	0	0	0	0	0.0	0	0.0
	1.27	300	0	0	0	0	0.0	0	0.0
	5.08	300	1	0	0	1	0.33	1	0.33
	รวม	900	1	0	0	1	0.11	1	0.11
1 - 1.9	0.32	300	0	0	0	0	0.0	0	0.0
	1.27	300	2	0	0	2	0.67	2	0.67
	5.08	300	0	0	0	0	0.0	0	0.0
	รวม	900	2	0	0	2	0.22	2	0.22
2 - 2.9	0.32	300	2	0	0	2	0.67	2	0.67
	1.27	300	1	0	0	1	0.33	1	0.33
	5.08	300	2	0	0	2	0.67	2	0.67
	รวม	900	5	0	0	5	0.56	5	0.56
≥ 3	0.32	300	3	0	0	3	1.00	3	1.00
	1.27	300	2	0	0	2	0.67	2	0.67
	5.08	300	1	1	1	3	1.00	6	2.00
	รวม	900	6	1	1	8	0.89	11	1.22

หมายเหตุ * คือจำนวนแคลลัสที่เริ่มให้หน่อ แต่นับเป็นจำนวนหน่อที่แน่นอนไม่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 33 ผลของ Mg ต่อแคลลัสที่เกิดหน่อตั้งแต่ 1-5 หน่อ (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความเข้มข้นของ Mg^{2+} (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ			รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ (%)	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
		1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)				
0.73	450	3	0	1	4	0.89	6	1.33
2.92	450	4	3	1	8	1.78	13	2.89
รวม	900	7	3	2	12	1.33	19	2.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 34 แคลลัสที่ให้หน่อ เมื่อจำแนกตามความสูงที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ Mg (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความสูงของหน่อ (ซม.)	ความเข้มข้นของ Mg^{2+} (mM)	แคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้หน่อ			รวมแคลลัสที่ให้หน่อ	แคลลัสที่ให้หน่อ (%)	หน่อทั้งหมดที่ได้	หน่อต่อแคลลัส (%)
			1 (หน่อ/แคลลัส)	2 (หน่อ/แคลลัส)	3 (หน่อ/แคลลัส)				
< 0.5	0.73	450	←	5*	→	5	1.11	-*	-*
	2.92	450	←	13*	→	13	2.89	-*	-*
	รวม	900	←	18*	→	18	2.00	-*	-*
0.5-0.9	0.73	450	1	0	0	1	0.22	1	0.33
	2.92	450	0	0	0	0	0.0	0	0.0
	รวม	900	1	0	0	1	0.22	1	0.11
1-1.9	0.73	450	0	0	0	0	0.0	0	0.0
	2.92	450	2	0	0	2	0.44	2	0.67
	รวม	900	2	0	0	2	0.44	2	0.22
2-2.9	0.73	450	2	0	0	2	0.44	2	0.67
	2.92	450	3	0	0	3	0.67	3	1.00
	รวม	900	5	0	0	5	1.11	5	0.56
≥ 3	0.73	450	0	0	1	1	0.22	3	1.00
	2.92	450	6	1	0	7	1.56	8	2.67
	รวม	900	6	1	1	8	1.78	11	1.22

หมายเหตุ * คือจำนวนแคลลัสที่เริ่มให้หน่อ แต่นับเป็นจำนวนหน่อที่แน่นอนไม่ได้

ตารางที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ Ca และ Mg ที่มีต่อจำนวนหน่อ (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความเข้มข้นของ Ca^{2+} (mM)	จำนวนหน่อที่ความเข้มข้นของ Mg^{2+} (mM)		
	0.73	2.92	รวม
0.32	1	4	5
1.27	0	5	5
5.08	5	4	9
รวม	6	13	19

หมายเหตุ ในแต่ละการทดลองใช้ 150 แคลลัส รวมทั้งหมด 900 แคลลัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ผลของ Ca และ Mg ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่ให้ราก

เมื่อได้ศึกษาถึงผลของ Ca และ Mg ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นรากจากส่วนของแคลลัสนั้น พบว่ามีแคลลัสบางอันซึ่งสามารถให้รากได้ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 แต่โดยปกติแล้วการเปลี่ยนแปลงไปเป็นรากนั้นจะต้องเจริญเป็นหน่อก่อนแล้วจึงเจริญเป็นรากตรงบริเวณส่วนฐานของหน่อ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจากแคลลัสข้าวไปจนได้ต้นที่สมบูรณ์นั้นเป็นการเจริญแบบ organogenesis อย่างไรก็ตามพบว่า Ca และ Mg ในการทดลองนี้ไม่มีผลต่อการเกิดรากแต่อย่างไร ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงในระดับนี้ ส่วนใหญ่แล้วจะต้องขึ้นกับการเจริญไปเป็นหน่อก่อน สำหรับผลการทดลองนี้แสดงไว้ในตารางที่ 36 ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ Ca และ Mg ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่ให้ราก ได้เลือกศึกษาในสัปดาห์ที่ 6 เนื่องจากจำนวนแคลลัสที่ให้รากจะเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 2, 4 และมีจำนวนมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 (ตารางที่ 37) ผลการศึกษาพบว่า เมื่อ Ca มีความเข้มข้น 1.27 และ 5.08 mM ให้จำนวนแคลลัสที่ให้รากมากที่ Mg ความเข้มข้น 2.92 mM ตามลำดับจากมากไปหาน้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 36 ผลของ Ca และ Mg ต่อแคลลัสที่ให้รากา (วัดผลในสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6)

ความเข้มข้นของ Ca^{2+} (mM)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ราก						
		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6		
		จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	
0.32	300	33	11.0	54	18.0	76	25.33	
1.27	300	41	13.67	74	24.67	95	31.67	(ก.)
5.08	300	34	11.33	59	19.67	80	26.67	
รวม	900	108	12.0	187	20.78	251	27.89	
ความเข้มข้นของ Mg^{2+} (mM)	จำนวนแคลลัสทั้งหมด	จำนวนแคลลัสที่ให้ราก						
		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 6		
		จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	จำนวนแคลลัส	%	
0.73	450	53	11.78	86	19.11	104	23.11	
2.92	450	55	12.22	101	24.44	147	32.67	(ข.)
รวม	900	108	12.0	187	20.78	251	27.89	

ตารางที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของ Ca และ Mg ที่มีต่อจำนวนแคลลัสที่ให้ราก (วัดผลในสัปดาห์ที่ 6)

ความเข้มข้นของ Ca^{2+} (mM)	จำนวนแคลลัสที่ให้ราก เมื่อความเข้มข้น Mg^{2+} (mM)		
	0.73	2.92	รวม
0.32	39	37	76
1.27	39	56	95
5.08	26	54	80
รวม	104	147	251

หมายเหตุ ในแต่ละการทดลองใช้ 150 แคลลัส รวมทั้งหมด 900 แคลลัส