บทที่ 4

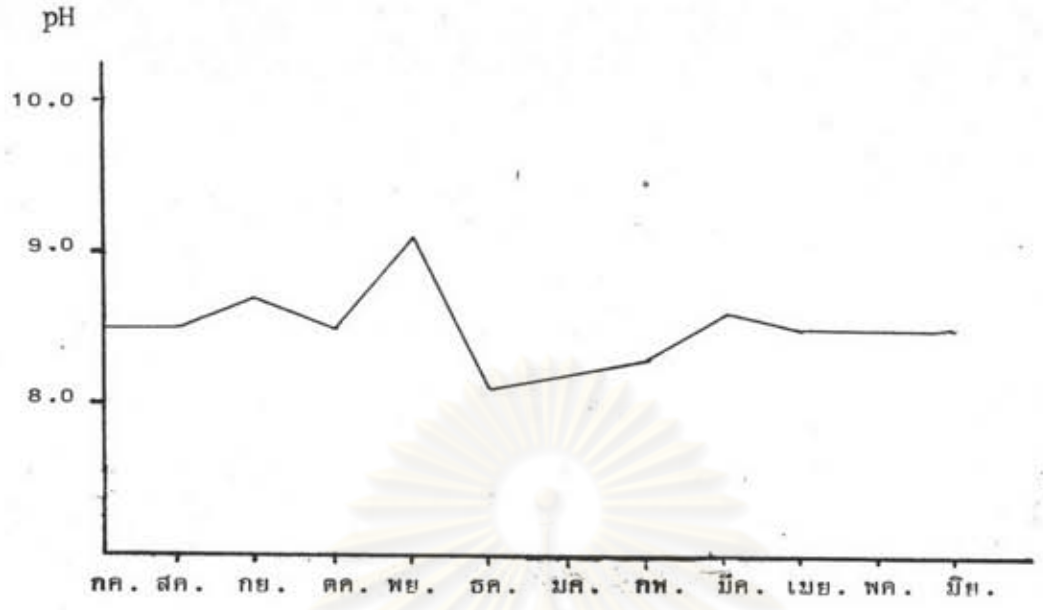
ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำในอ่าง เก็บน้ำภูมิพลระหว่าง เดือนกรกฎาคม 2528 ถึง เดือนมิถุนายน 2529

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำในอ่าง เก็บน้ำภูมิพล มีค่าอยู่ในช่วง 8.1-9.1 และมีค่า เฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 8.5 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง เล็กน้อย สำหรับแหล่งน้ำจืดธรรมชาติโดยทั่วไป (รูปที่ 4.1) จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$, $F_{(11,24)} = 7.18$) สำหรับค่าอัลคาไลนิตีทั้งหมด (total alkalinity) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 75-87 mg/L ในรูปของ $CaCO_3$ และมีค่า เฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 82 mg/L ในรูป $CaCO_3$ (รูปที่ 4.2) และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$, $F_{(11,24)} = 2.86$)

คลอไรด์และซัล เฟตพบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำมาก คือมีค่าอยู่ในช่วง 0.41-0.73 และ 4.34-6.00 mg/L ตามลำดับ และมีค่า เฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 0.52 และ 5.33 ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) จากการทดสอบทางสถิติพบว่าทั้งคลอไรด์และซัล เฟตในรอบปีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$, $F_{(11,24)} = 0.42$ และ 1.98 ตามลำดับ)

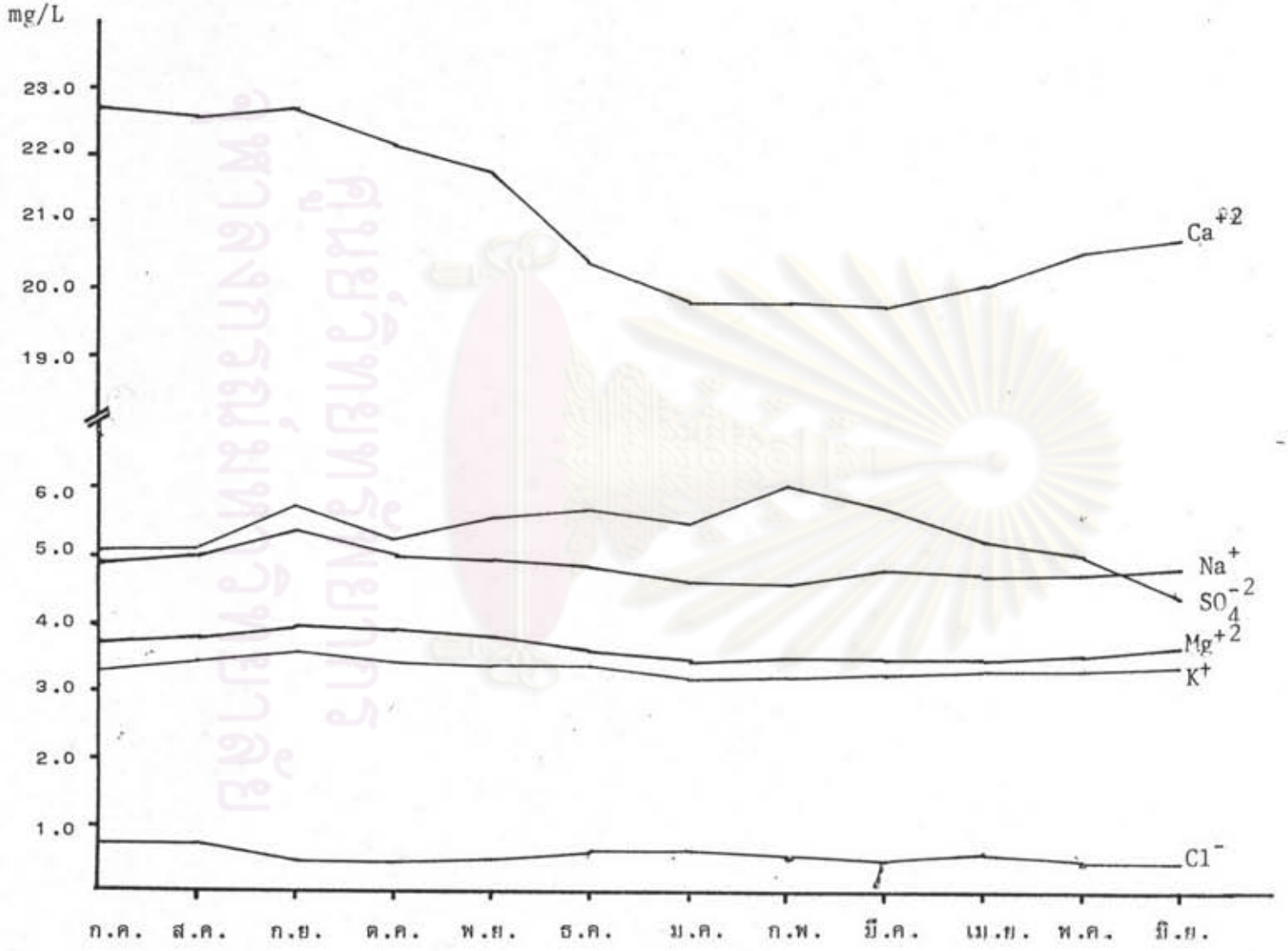
แคล เซียม เป็นอิออนที่พบว่ามีปริมาณค่อนข้างสูง เมื่อ เปรียบ เทียบกับอิออนอื่น ๆ โดยพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 19.71-22.68 mg/L และมีค่า เฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 21.34 mg/L แมกนี เซียม โซ เดียม และโปแตส เซียมมีค่าอยู่ในช่วง 3.42-3.95, 4.56-5.32 และ 3.13-3.55 mg/L ตามลำดับ และมีค่า เฉลี่ย เท่ากับ 3.63, 4.82 และ 3.31 mg/L ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) จากการทดสอบค่าทางสถิติพบว่าในรอบปีอิออนทั้งสี่นี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$, $F_{(11,24)} = 21.23$, 10.03, 36.88 และ 9.32 ตามลำดับ) จากกราฟในรูป 4.3 ดู เหมือนว่าซัล เฟตน่าจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่โซ เดียม โปแตส เซียม และแมกนี เซียมน่าจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่เป็น เช่นนี้



รูปที่ 4.1 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำในอ่าง เก็บน้ำภูมิพล ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2528-เดือนมิถุนายน 2529

รูปที่ 4.2 แสดงค่าอัลคาไลนิตีทั้งหมดในรูป $CaCO_3$ ของน้ำในอ่าง เก็บน้ำภูมิพล ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2528-เดือนมิถุนายน 2529

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



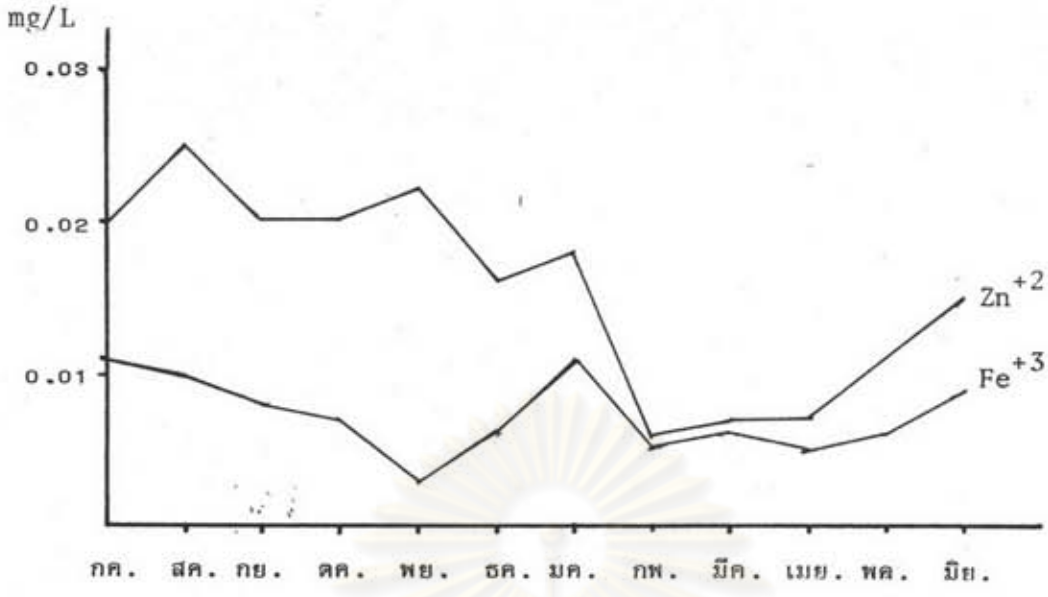
รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณคลอไรด์ ซัลเฟต แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโปแตสเซียม ของน้ำในอ่างเก็บน้ำภูมิพล ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2528-เดือนมิถุนายน 2529

เพราะว่าการวิเคราะห์โซเดียม โปแตสเซียม และแมกนีเซียมมีความแปรผันน้อยกว่าการวิเคราะห์ซัลเฟตมากซึ่งเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคของการวิเคราะห์

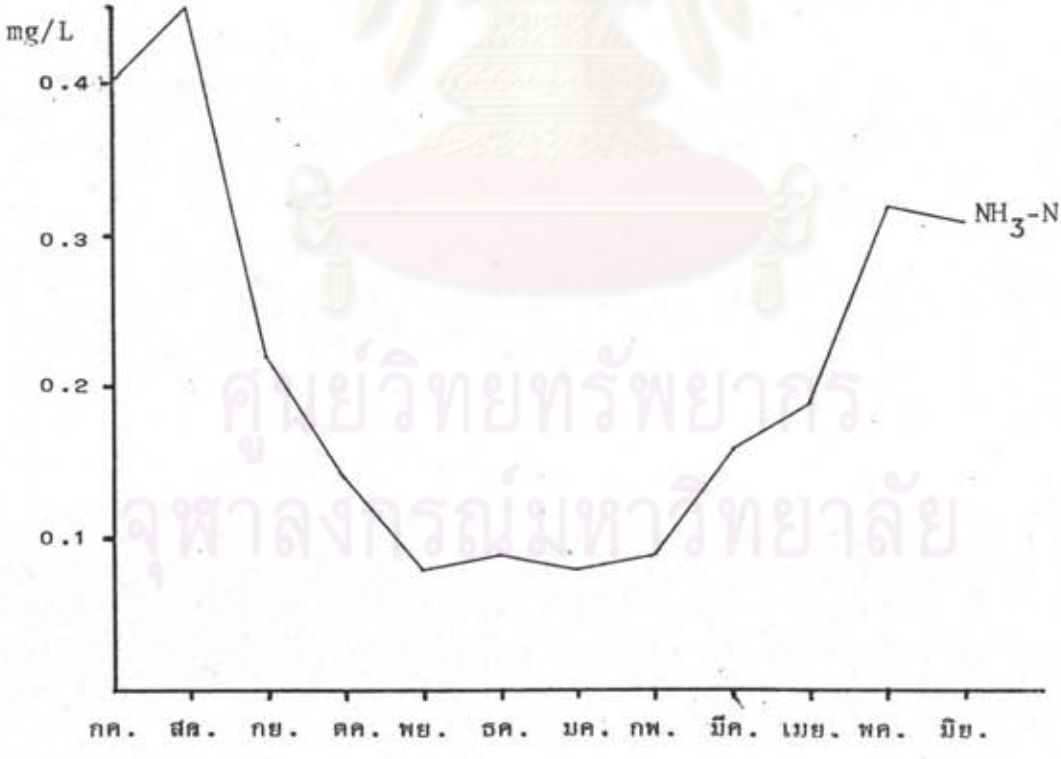
สำหรับธาตุอาหารปริมาณน้อยนั้นพบว่า เหล็กและสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 0.003-0.011 และ 0.006-0.024 mg/L และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.007 และ 0.016 mg/L ตามลำดับ (รูปที่ 4.4) ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเหล็กในรอบปีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$, $F_{(11,24)} = 2.88$) สำหรับสังกะสีนั้นพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$, $F_{(11,24)} = 5.68$) แต่แมงกานีสและทองแดงจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่ามีค่าอยู่น้อยมากในระดับที่ตรวจไม่พบตลอดปี กล่าวคือมีค่าน้อยกว่า 0.005 และ 0.002 mg/L ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมากพบว่ามีปริมาณค่อนข้างต่ำ กล่าวคือ NH_3-N มีค่าอยู่ในช่วง 0.08-0.45 mg/L และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.21 mg/L (รูปที่ 4.5) จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า NH_3-N ในรอบปีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$, $F_{(11,24)} = 20.81$) สำหรับ NO_2^--N พบว่ามีค่าอยู่น้อยมากในระดับที่ตรวจไม่พบตลอดปี (< 0.01 mg/L) และ NO_3^--N ก็พบว่ามีค่าอยู่ค่อนข้างน้อยในระดับที่ตรวจไม่พบเช่นกัน (< 0.02 mg/L) เกือบตลอดปี ยกเว้นในช่วงเดือนธันวาคม 2528 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2529 พบว่า NO_3-N มีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.04 mg/L นอกจากนี้ยังพบว่า PO_4^{-3}-P มีค่าน้อยมากจนถึงระดับที่ตรวจไม่พบ (< 0.003 mg/L) ตลอดปีเช่นกัน (ตารางที่ 4.1)

อุณหภูมิของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 26-31 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ย 28.3 ± 1.6 องศาเซลเซียส จากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าอุณหภูมิของน้ำในรอบปีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$, $F_{(11,24)} = 25.56$)



รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณของ เหล็กและสังกะสีของน้ำในอ่าง เก็บน้ำภูมิพล ตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม 2528-เดือนมิถุนายน 2529



รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณแอมโม เนียไนโตร เจนของน้ำในอ่าง เก็บน้ำภูมิพล ตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม 2528-เดือนมิถุนายน 2529

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำภูมิพลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2528 ถึงเดือนมิถุนายน 2529

รายการ	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
อุณหภูมิ (°C)	27.7	27.7	29.0	29.3	29.0	26.0	26.3	26.0	28.3	31.0	30.0	29.0
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.5	8.5	8.7	8.5	9.1	8.1	8.2	8.3	8.6	8.5	8.5	8.5
อัลคาไลนิตีทั้งหมด ($mgCaCO_3/L$)	86	83	85	82	87	75	75	75	83	83	82	83
คลอไรด์ (mg/L)	0.73	0.73	0.47	0.42	0.48	0.55	0.56	0.50	0.41	0.51	0.43	0.40
ซัลเฟต (mg/L)	5.08	5.09	5.73	5.25	5.53	5.66	5.45	6.00	5.68	5.19	4.95	4.34
แอมโมเนีย (mgN/L)	0.40	0.45	0.22	0.14	0.08	0.09	0.08	0.09	0.16	0.19	0.32	0.31
ไนไตรต์ (mgN/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
ไนเตรต (mgN/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.04	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
ออโธฟอสเฟต (mgP/L)	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
แคลเซียม (mg/L)	22.41	22.61	22.68	22.14	21.73	20.38	19.80	19.77	19.71	21.44	21.55	21.89
แมกนีเซียม (mg/L)	3.75	3.80	3.95	3.70	3.80	3.57	3.42	3.45	3.44	3.44	3.48	3.61
โซเดียม (mg/L)	4.93	4.99	5.32	4.97	4.93	4.82	4.59	4.56	4.76	4.65	4.68	4.99
โปแตสเซียม (mg/L)	3.31	3.43	3.55	3.40	3.37	3.34	3.13	3.16	3.22	3.25	3.26	3.29
เหล็ก (mg/L)	0.011	0.010	0.008	0.007	0.003	0.006	0.011	0.005	0.006	0.005	0.006	0.009
แมงกานีส (mg/L)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
ทองแดง (mg/L)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
สังกะสี (mg/L)	0.020	0.025	0.020	0.020	0.022	0.016	0.018	0.006	0.007	0.007	0.011	0.015

4.2 ผลการทดลองโดยใช้สาหร่ายวิเคราะห์

4.2.1 ช่วงเวลาที่ให้ผลผลิตสูงสุดในการเลี้ยงสาหร่าย Selenastrum capricornutum Printz

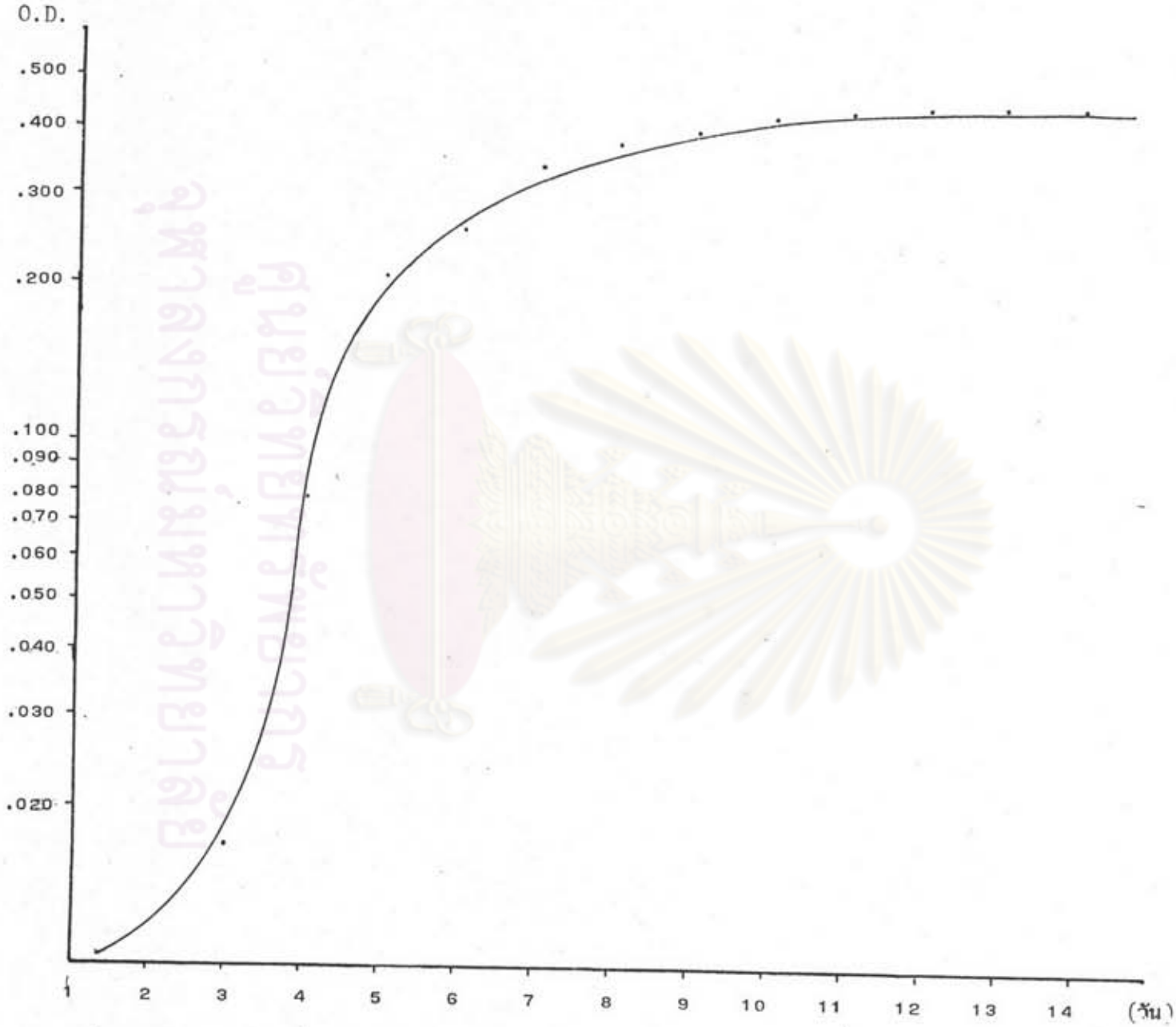
ในการทดลองเพื่อหาช่วงเวลาที่ให้ผลผลิตสูงสุดของสาหร่ายทดลองซึ่งเลี้ยงไว้ในสารอาหารมาตรฐานและในสภาพแวดล้อมที่กำหนด และได้ทำการวัดความเจริญเติบโตของสาหร่ายทดลองโดยการวัดค่า O.D. (optical density) ที่ 750 nm. ทุกวัน โดยเริ่มวัดตั้งแต่วันที่ 3 ไปจนถึงวันที่ 14 ของการเลี้ยงพบว่า วันที่ 10 ของการเลี้ยงเป็นวันที่ให้ผลผลิตสูงสุด (รูปที่ 4.6) จึงได้กำหนดให้วันที่ 10 ของการทดลองเลี้ยงสาหร่ายเป็นวันที่ใช้วัดผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายทดลองตลอดระยะเวลาในการวิจัยครั้งนี้

4.2.2 หน่วยที่ใช้วัดค่าความเจริญเติบโต

ได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการวัดความเจริญเติบโตของสาหร่ายทดลอง 3 วิธีคือ น้ำหนักแห้ง จำนวนเซล และค่า O.D. จากการทำความสัมพันธ์ในเชิงสหสัมพันธ์เส้นตรง (linear correlation) ของหน่วยการวัดความเจริญเติบโตทั้ง 3 วิธีดังกล่าว พบว่าค่าตรรชนีสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างน้ำหนักแห้งกับจำนวนเซล และน้ำหนักแห้งกับค่า O.D. มีค่าเท่ากับ 0.95 และ 0.92 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) จะเห็นได้ว่าการใช้ค่าน้ำหนักแห้งจะให้ผลดีที่สุด ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงใช้ค่าน้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์ในการประเมินศักยภาพการเจริญเติบโตของสาหร่ายทดลอง

4.2.3 ศักยภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย

การหาค่าศักยภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Algal Growth Potential-AGP) และสารอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายของน้ำในอ่างเก็บน้ำภูมิพลได้ดำเนินการศึกษาโดยใช้สาหร่ายทดลอง Selenastrum capricornutum Printz เลี้ยงในตัวอย่างน้ำซึ่งเก็บมาในแต่ละเดือน (รวม 12 เดือน) โดยทำการทดลองแบบเติมสารอาหาร (nutrient enrichment experiment) มีทั้งแบบเติมสารอาหารชนิดเดียวและหลายชนิด เพื่อดูการตอบสนองของสาหร่ายทดลองต่อการเติมสารอาหารชนิดต่าง ๆ ลงไป การทดลองประกอบด้วย 9 ชุดทดลอง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของ Selenastrum capricornutum Printz ที่เลี้ยงไว้ในสารอาหารมาตรฐาน

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง (µg/mL) กับจำนวนเซล (no./mL) และกับค่า OD ของสาหร่ายทดลองชนิด Selenastrum capricornutum Printz

ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง	จำนวนเซล x 10^5	ค่า OD x 10^{-3}	หมายเหตุ*
1	0.8	1.4	6	ค่า r ระหว่างน้ำหนักแห้งกับ
2	0.8	1.4	8	จำนวนเซลเท่ากับ 0.95 และ
3	0.9	1.4	6	ระหว่างน้ำหนักแห้งกับค่า OD
4	1.0	1.3	10	เท่ากับ 0.92 โดยใช้สูตร
5	1.0	3.0	11	
6	2.6	4.6	22	$r_{xy} = \frac{\Sigma(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\Sigma(x_i-\bar{x})^2\Sigma(y_i-\bar{y})^2}$
7	4.0	5.7	26	
8	17.0	13.7	70	
9	33.0	27.4	119	
10	42.0	30.5	142	
11	46.0	20.3	200	
12	52.0	28.3	230	
13	52.0	21.2	215	
14	68.0	24.6	199	
15	72.0	24.6	199	
16	76.0	24.6	199	
17	102.0	44.6	336	
18	110.0	56.0	405	
19	110.0	66.3	400	
20	112.0	60.4	420	
21	116.0	66.0	432	
22	124.0	56.3	420	
23	126.0	53.0	375	
24	130.0	55.3	410	
25	132.0	57.4	448	

*จากหนังสือสถิติ-วิธีวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย, ดร. จรัญ จันทลักขณา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนี้คือ (1) ชุดควบคุม ได้แก่ ตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้เติมสารอาหารใด ๆ ลงไป แทนด้วยสัญญลักษณ์ C (2) ชุดตัวอย่างน้ำ + ฟอสฟอรัส แทนด้วย CP (3) ชุดตัวอย่างน้ำ + ไนโตรเจน แทนด้วย CN (4) ชุดตัวอย่างน้ำ + ธาตุอาหารปริมาณน้อย แทนด้วย CM (5) ชุดตัวอย่างน้ำ + ฟอสฟอรัสและไนโตรเจน แทนด้วย CPN (6) ชุดตัวอย่างน้ำ + ฟอสฟอรัสและธาตุอาหารปริมาณน้อย แทนด้วย CPM (7) ชุดตัวอย่างน้ำ + ไนโตรเจนและธาตุอาหารปริมาณน้อย แทนด้วย CNM (8) ชุดตัวอย่างน้ำ + ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และ EDTA แทนด้วย CPNE (9) ชุดตัวอย่างน้ำ + ฟอสฟอรัส ไนโตรเจนและธาตุอาหารปริมาณน้อย แทนด้วย CPNM ผลการทดลอง (ตารางที่ 4.3) พบว่าการตอบสนองของสาหร่ายทดลองตลอดมีที่ทำการศึกษามีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก คือในชุด C มีค่า AGP ต่ำมากอยู่ในช่วง 0.03-0.07 µg/mL ชุด CP ค่า AGP เท่ากับ 0.20-0.47 µg/mL ชุด CN เท่ากับ 0.02-0.07 µg/mL ชุด CM เท่ากับ 0.04-0.09 µg/mL ชุด CPN เท่ากับ 0.52-1.02 µg/mL ชุด CPM เท่ากับ 0.40-0.54 µg/mL ชุด CMN เท่ากับ 0.04-0.12 µg/mL ชุด CPNE เท่ากับ 23.40-28.78 µg/mL ชุด CPNM เท่ากับ 22.78-28.58 µg/mL จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่า AGP ที่ได้จากการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ตามระดับสูงต่ำของค่า AGP ดังนี้คือ กลุ่มที่ 1 คือกลุ่มที่มีค่า AGP ต่ำสุด ประกอบด้วยชุด C ชุด CN ชุด CM และชุด CMN กลุ่ม 2 คือกลุ่มที่มีค่า AGP ปานกลาง ประกอบด้วยชุด CP ชุด CPN และชุด CPM กลุ่ม 3 ได้แก่กลุ่มที่มีค่า AGP สูงสุด ประกอบด้วยชุด CPNE และชุด CPNM จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า AGP ของชุดต่าง ๆ ในกลุ่ม 1 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ส่วนค่า AGP ของกลุ่ม 2 มีความแตกต่างภายในระหว่างของแต่ละชุดกล่าวคือ ค่า AGP ของชุด CP มีความแตกต่างจากชุด CPN และชุด CPM อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$, $t_{(11)} = 6.20$ และ 5.93 ตามลำดับ) และชุด CPN กับชุด CPM ก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$, $t_{(11)} = 4.15$) เช่นกัน สำหรับค่า AGP ภายในกลุ่ม 3 ไม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$, $t_{(11)} = 1.24$) เมื่อทำการทดสอบค่า AGP ระหว่างกลุ่มพบว่า ค่า AGP ของชุด C กับชุด CP มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$, $T_{(11)} = 14.11$) ค่า AGP ของชุด CPN กับค่า AGP ของชุด CPNE มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$, $T_{(11)} = 49.58$) เช่นกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าค่า AGP ของทั้งสามกลุ่มมีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า AGP ของ Selenastrum capricornutum Printz ในรูปของน้ำหนักแห้ง (µg/mL) ของ 9 ชุดทดลองตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2528 จนถึงเดือนมิถุนายน 2529

ชุดทดลอง	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
C	0.05	0.06	0.05	0.07	0.07	0.03	0.03	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03
CP	0.32	0.32	0.36	0.37	0.33	0.22	0.20	0.40	0.37	0.43	0.33	0.36
CN	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.02	0.04	0.07	0.04	0.05	0.06	0.03
CM	0.04	0.04	0.05	0.09	0.08	0.04	0.09	0.08	0.05	0.03	0.05	0.03
CPN	0.55	0.59	0.57	0.60	1.02	0.52	0.54	0.60	0.62	0.54	0.56	0.58
CPM	0.40	0.46	0.43	0.50	0.50	0.44	0.44	0.52	0.51	0.48	0.42	0.45
CNM	0.04	0.06	0.06	0.12	0.07	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04
CPNE	23.53	26.47	23.40	28.78	25.68	24.98	27.33	22.98	27.33	25.14	26.11	25.27
CPNM	24.42	26.09	22.78	26.71	26.30	27.13	26.44	23.76	28.58	25.36	27.93	26.83

C = ตัวอย่างน้ำจากเขื่อนภูมิพล

CP = ตัวอย่างน้ำ + ฟอสฟอรัส

CN = ตัวอย่างน้ำ + ไนโตรเจน

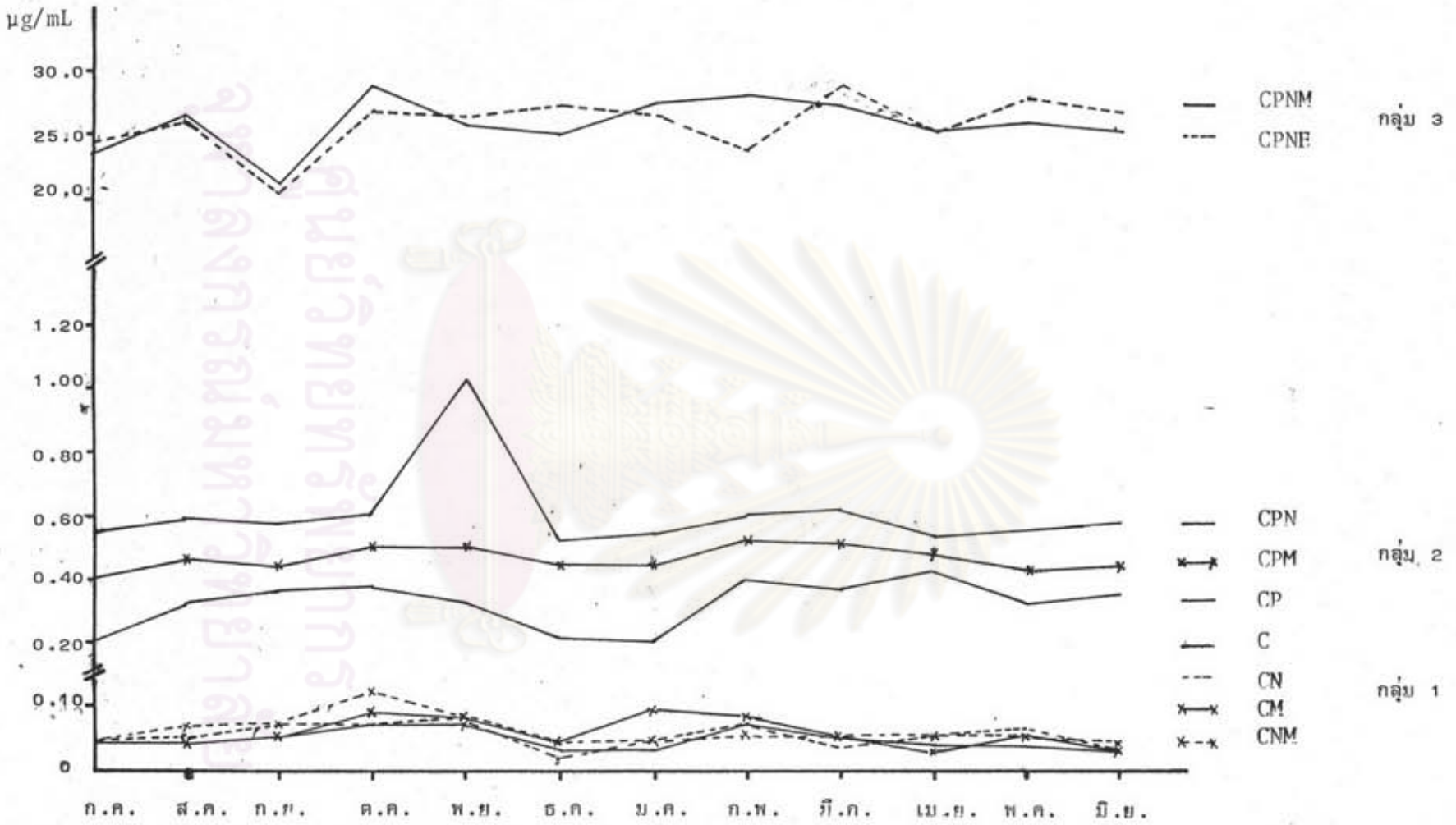
CM = ตัวอย่างน้ำ + ธาตุอาหารปริมาณน้อย

CPN = ตัวอย่างน้ำ + ฟอสฟอรัส + ไนโตรเจน

CPM = ตัวอย่างน้ำ + ไนโตรเจน + ธาตุอาหารปริมาณน้อย

CPNE = ตัวอย่างน้ำ + ฟอสฟอรัส + ไนโตรเจน + อีดีทีเอ

CPNM = ตัวอย่างน้ำ + ฟอสฟอรัส + ไนโตรเจน + ธาตุอาหารปริมาณน้อย



รูปที่ 4.7 แสดงค่า AGP (µg/mL) ของสาหร่ายทดลอง Sèlenastrum capricornutum Printz จากชุดทดลองแบบต่าง ๆ (C CP CN CM CPN CPM CMN CPNE CPNM) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2528 - เดือนมิถุนายน 2529