บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์และการวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพ

การวิจัยเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระตามฤดูกาล กระทำโดย เก็บตัวอย่างน้ำจากอ่างเก็บน้ำทุกเดือนที่สถานีเก็บน้ำซึ่งกำหนดขึ้น 4 แห่ง เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน 2525 จนถึงเดือนมีนาคม 2526 นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบคุณภาพน้ำทั้งทางเคมีและกายภาพที่สำคัญ รวมทั้งวิเคราะห์ทางชีวภาพโดยการใช้สาหร่ายทดลอง ข้อมูลคุณภาพทางเคมีและกายภาพของน้ำที่สถานีเก็บน้ำทั้ง 4 รวบรวมเสนอเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ คุณภาพน้ำในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบคุณภาพน้ำที่สถานีเก็บน้ำทั้ง 4 แห่งไม่แตกต่างกันมากนัก การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของคุณภาพน้ำแต่ละสถานีก็มีไม่มากเช่นเดียวกัน ยกเว้นค่าซีโอดีและแอมโมเนียในช่วงฤดูร้อน จึงอาจกล่าวได้ว่า การนำน้ำจากอ่างเก็บน้ำไปใช้ในกิจการสาธารณูปโภคต่าง ๆ ในปัจจุบันยังไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาและสถานที่ที่สูบน้ำ หรืออีกนัยหนึ่งสถานีสูบน้ำเพื่อใช้ในการประปาของโครงการอ่างเก็บน้ำบางพระ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีความเหมาะสมดีแล้ว ดังนั้นรายละเอียดของผลการวิเคราะห์องค์ประกอบคุณภาพน้ำในฤดูกาลต่าง ๆ จึงจะพิจารณาเฉพาะที่สถานีสูบน้ำเพื่อใช้ในการประปาของโครงการฯ เท่านั้น ดังได้แสดงค่าเฉลี่ยตามฤดูกาลของผลการวิเคราะห์ไว้ในรูปของกราฟเส้นรูปที่ 4-6 ส่วนรายละเอียดของผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละเดือนได้แสดงไว้ในตารางในภาคผนวก

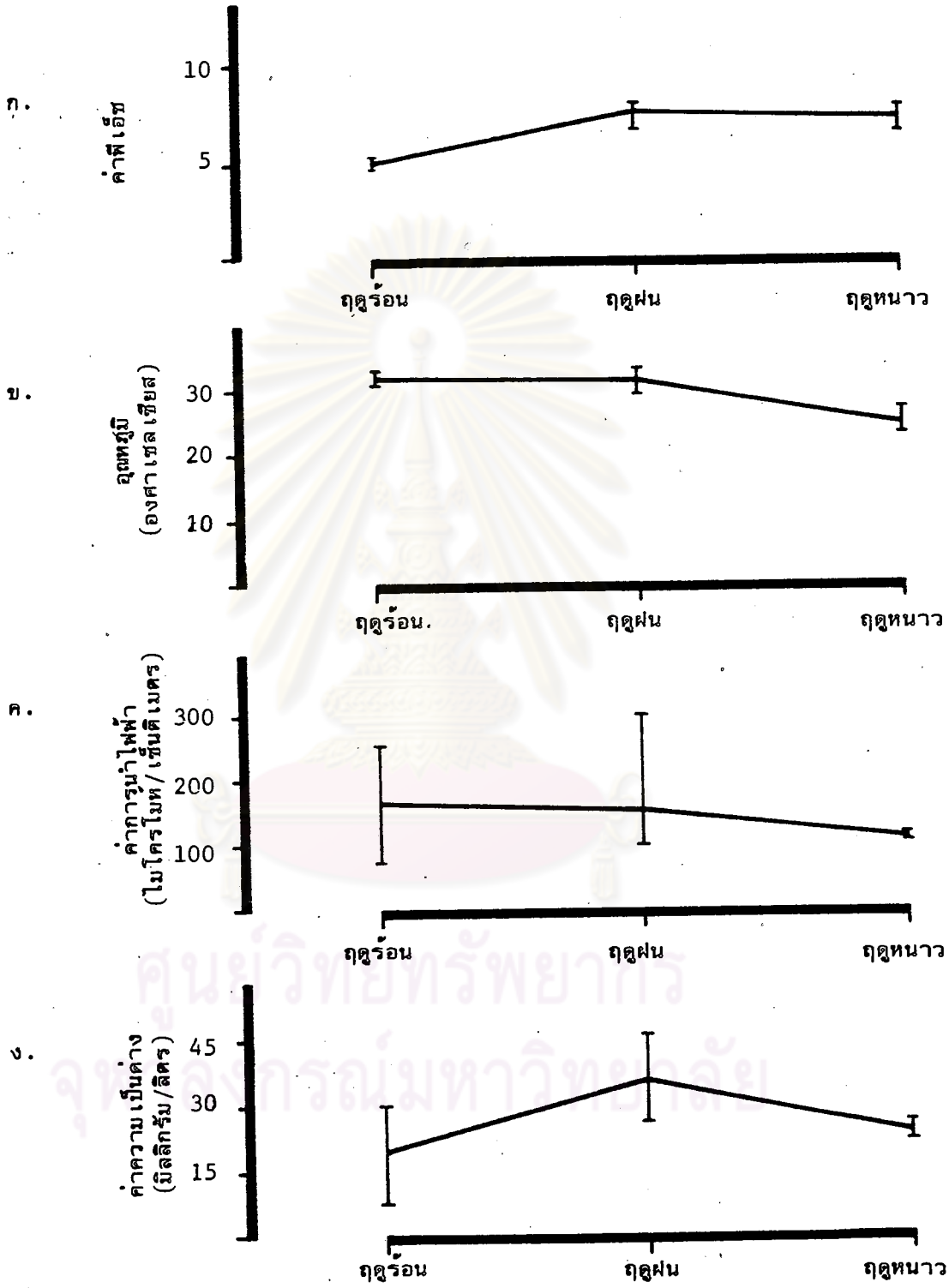
ค่าพีเอ็ช ของน้ำเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลระหว่าง 5.00 - 7.55 (รูปที่ 4ก) โดยมีค่าต่ำสุดในฤดูร้อนและค่าสูงสุดในฤดูฝน การที่น้ำมีค่าพีเอ็ชต่ำลงตลอดช่วงฤดูร้อนอาจเป็นเพราะมีกรดอินทรีย์มากขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างมากในฤดูร้อนและมีไอออนต่าง ๆ เช่น ไนเตรต, ออโธฟอสฟอรัส รวมทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ จึงทำให้ค่าพีเอ็ชของน้ำลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ลดลงในฤดูร้อน (กรมชลประทาน, 2525) ก็มีผลต่อค่าพีเอ็ชของน้ำด้วย และเมื่อพิจารณาจากค่าพีเอ็ชของน้ำจะเห็นได้

ตารางที่ 1 แสดงคุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพตามฤดูกาลของน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระจากสถานีเก็บน้ำ 4 แห่ง

องค์ประกอบคุณภาพน้ำ (หน่วย)	ฤดูร้อน (มี.ค.- พ.ค.)				ฤดูฝน (มิย.- พย.)				ฤดูหนาว (ธค.- มีค.)			
	สถานีเก็บตัวอย่างน้ำ				สถานีเก็บตัวอย่างน้ำ				สถานีเก็บตัวอย่างน้ำ			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
พีเอช	5.00	5.50	5.00	5.25	7.55	7.72	7.75	7.28	7.27	7.63	6.73	7.00
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	31.65	32.50	32.25	32.00	31.15	31.03	29.42	29.92	24.83	25.17	25.17	24.83
การนำไฟฟ้า (ไมโครไมห์/เซ็นติเมตร)	165.50	135.50	163.50	172.00	154.67	176.17	154.17	163.33	115.00	119.00	119.00	110.00
ความเป็นด่าง (มิลลิกรัม/ลิตร)	19.48	17.83	18.93	17.45	36.19	37.21	36.83	36.82	24.00	22.00	23.33	24.00
ออกซิเจนละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)	7.63	6.65	6.39	6.34	7.83	8.63	7.43	7.50	8.67	8.17	9.33	8.50
ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	16.71	5.91	11.88	8.00	17.56	18.15	16.58	16.49	16.45	21.32	23.42	23.97
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	2.23	1.36	1.69	1.93	3.17	3.03	2.94	2.83	1.64	1.53	1.03	0.85
คลอไรด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	9.44	8.55	8.13	8.13	12.07	11.75	11.66	10.97	9.24	10.31	9.48	10.54
ซัลเฟต (มิลลิกรัม/ลิตร)	3.33	2.17	3.31	2.99	4.13	3.82	3.42	4.00	2.54	1.91	2.10	2.23
ไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำทั้งหมด (ไมโครกรัม/ลิตร)	1,080.00	1,190.00	825.00	550.00	550.00	593.33	456.67	450.00	530.03	460.00	390.00	380.00
ออโธฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (ไมโครกรัม/ลิตร)	13.83	10.19	18.54	14.92	13.48	9.62	12.43	10.88	9.07	8.06	6.54	8.56
อัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส	78.09	116.78	44.58	41.17	41.17	61.68	36.74	41.36	58.44	57.07	59.63	44.39
น้ำหนักแห้งสาหร่ายพื้นเมือง (มิลลิกรัม/ลิตร)	5.78	12.50	8.51	5.33	5.15	6.99	3.97	4.53	2.76	4.19	2.67	2.65
เหล็ก (มิลลิกรัม/ลิตร)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
แมงกานีส (มิลลิกรัม/ลิตร)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
สังกะสี (มิลลิกรัม/ลิตร)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ทองแดง (มิลลิกรัม/ลิตร)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

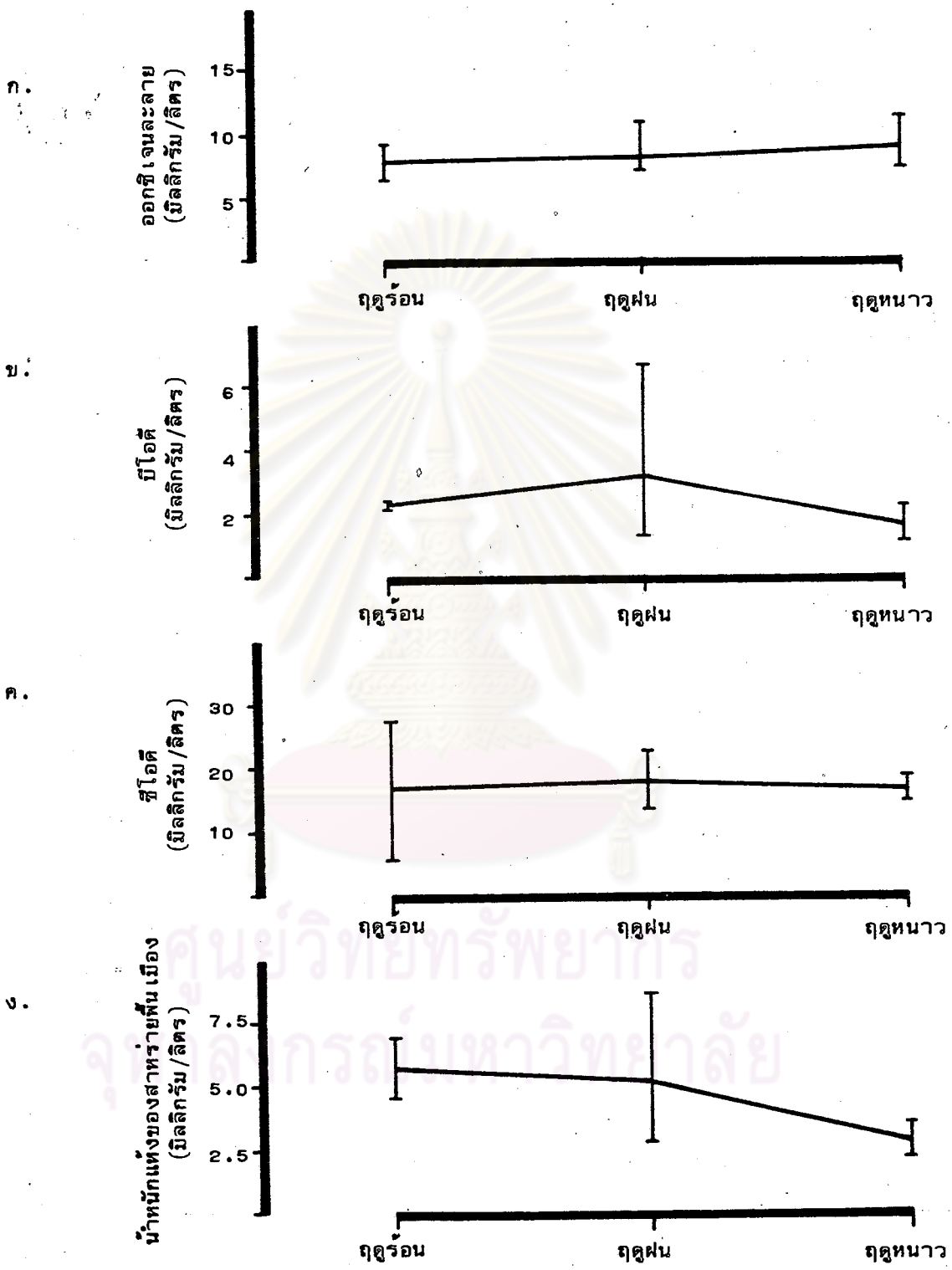
หมายเหตุ - ตรวจไม่พบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของค่าพีเอ็ช (ก) อุณหภูมิ (ข) การนำไฟฟ้า (ค) และค่าความเป็นด่าง (ง) ของน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระที่สถานีสูบน้ำของโครงการอ่างเก็บน้ำบางพระ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของปริมาณออกซิเจนละลาย (ก) บีโอดี (ข) ซีโอดี (ค) และน้ำหนักแห้งของสาหร่ายพื้นเมือง (ง) ของน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระที่สถานีสูบน้ำของโครงการฯ

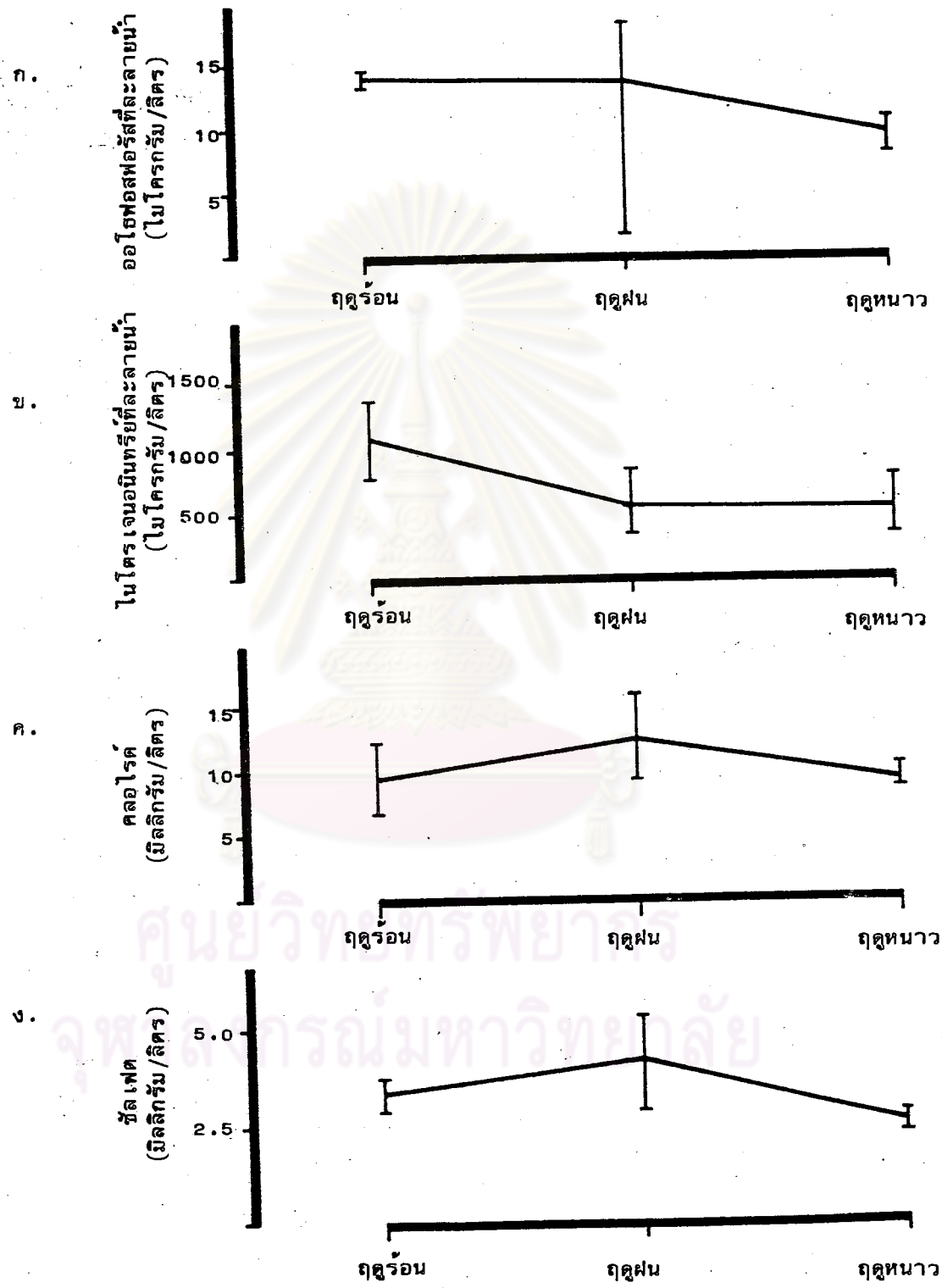
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ว่าในฤดูร้อนน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในด้านการประมง เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การชลประทาน และการอุตสาหกรรม (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2524) นอกจากนี้การใช้น้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระเพื่อการประปาในฤดูร้อน จำเป็นต้องมีการปรับสภาพพีเอ็ชของน้ำให้เหมาะสม มาตรฐานของการประปาส่วนภูมิภาคกำหนดค่าพีเอ็ชของน้ำบริโภคอยู่ระหว่าง 6.50-9.20 (ตารางที่ 2 ในภาคผนวก) อุณหภูมิของน้ำก็อยู่ในเกณฑ์ปกติ คือ มีค่าสูงสุดเป็น 31.65 องศาเซลเซียสในฤดูร้อนและลดลงเป็น 31.15 และ 24.83 องศาเซลเซียสในฤดูฝนและฤดูหนาวตามลำดับ โดยที่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นไปตามสภาพภูมิอากาศ ดังแสดงในรูป 4ข สำหรับค่าการนำไฟฟ้าซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงปริมาณของอิออนต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง มีค่าต่ำสุดเป็น 115.00 ไมโครโมห์/เซ็นติเมตร ในฤดูหนาวและมีค่าสูงขึ้นเป็น 154.67 และ 165.00 ไมโครโมห์/เซ็นติเมตร ในฤดูฝนและฤดูร้อนตามลำดับ (รูปที่ 4ค) ซึ่งมีความแตกต่างบ้างแต่ไม่สามารถสรุปได้ว่ามีความแตกต่างระหว่างฤดูกาล ค่าที่วัดได้ยังอยู่ในช่วงปกติสำหรับแหล่งน้ำธรรมชาติทั่ว ๆ ไป ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในคลองประปาและคลองบางกอกน้อย ซึ่งใช้น้ำเป็นน้ำดิบสำหรับการทำน้ำประปาของการประปานครหลวง ตามที่ Chaiyarach(1978) รายงานไว้มีค่า 157 และ 122 ไมโครโมห์/เซ็นติเมตร ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านการบำบัดก่อนจะทำเป็นน้ำประปาตามที่กรรณิการ์ สิริสิงห (2522) รายงานไว้อยู่ในช่วงที่กว้างมาก คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 50-500 ไมโครโมห์/เซ็นติเมตร ค่าความเป็นด่างของน้ำ (รูปที่ 4ง) เป็นแปลงตามฤดูกาล คือ มีค่าตั้งแต่ 19.48-36.19 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าต่ำสุดในฤดูร้อนและมีค่าสูงสุดในฤดูฝน ค่าความเป็นด่างของน้ำดิบที่เหมาะสมสำหรับการทำน้ำประปาตามที่กรรณิการ์ สิริสิงห (2522) รายงานไว้ระหว่าง 30-500 มิลลิกรัม/ลิตร

ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ (รูปที่ 5ก) เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 7.63-8.67 มิลลิกรัม/ลิตร โดยในฤดูร้อนและฤดูฝนมีค่าออกซิเจนละลายใกล้เคียงกัน (7.63 และ 7.83 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) และต่ำกว่าในฤดูหนาว ในขณะเดียวกันก็พบว่าที่สถานีเก็บน้ำบางจุดมีค่าออกซิเจนละลายสูงมากจนเกินภาวะอิ่มตัว (supersatura-

tion). ทั้งนี้อาจเป็นเพราะบริเวณนั้น ๆ มีพืชน้ำและสาหร่ายมากจึงมีการสังเคราะห์แสงมากขึ้น ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายสูงขึ้นมาก หรืออาจเนื่องจากอิทธิพลของกระแสลมและกระแสน้ำทำให้การละลายของออกซิเจนที่ผิวน้ำสูงขึ้น สำหรับค่าบีโอดีและค่าซีโอดีของน้ำ (รูปที่ 5ข และ 5ค) พบว่าอยู่ในระดับต่ำโดยที่ค่าบีโอดีเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 1.64-3.17 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าต่ำสุดอยู่ในฤดูหนาวและสูงสุดในฤดูฝน ส่วนค่าซีโอดีเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 16.45-17.56 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งนับว่ายังอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับมาตรฐานของแหล่งน้ำธรรมชาติ (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2524) ทั้งนี้อาจเป็นภาวะตามธรรมชาติของอ่างเก็บน้ำทั่วไปที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์จำนวนมากเพิ่มจากแหล่งอื่น ๆ เช่น แหล่งชุมชนที่หนาแน่น หรือแหล่งอุตสาหกรรม หรืออาจเป็นเพราะขีดความสามารถในการฟอกตัวของอ่างเก็บน้ำยังอยู่ในเกณฑ์สูง

ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชที่ละลายในน้ำ ได้แก่ ออโธฟอสฟอรัส ไนโตรเจนอนินทรีย์ทั้งหมด (แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรต์) คลอไรด์ และซัลเฟต ในฤดูกาลต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 6 จะเห็นว่าออโธฟอสฟอรัสในน้ำมีระดับปานกลางและไม่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมากนัก (รูปที่ 6ก) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 9.07-13.48 ไมโครกรัม/ลิตร จากฤดูหนาวถึงฤดูฝน ซึ่งใกล้เคียงกับระดับออโธฟอสฟอรัสที่จะทำให้แหล่งน้ำมีแนวโน้มของการเกิดภาวะยูโทรฟิเคชั่น (10-12 ไมโครกรัม/ลิตร) ตามที่ Chiaudani and Vighi (1974) รายงานไว้ในการศึกษาคุณภาพน้ำของทะเลสาบ 33 แห่งในประเทศอิตาลี (รายละเอียดจะอธิบายในหัวข้อศักยภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย) ส่วนปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำทั้งหมดมีค่าเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลจาก 530-1,080 ไมโครกรัม/ลิตร โดยค่าต่ำสุดอยู่ในฤดูหนาวและสูงสุดในฤดูร้อน (รูปที่ 6ข) องค์ประกอบส่วนใหญ่ของไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำทั้งหมดคือ แอมโมเนีย ส่วนไนเตรตและไนไตรต์มีปริมาณค่อนข้างต่ำและมักจะตรวจไม่พบเสียเป็นส่วนมาก แสดงว่าอินทรียสารในอ่างเก็บน้ำอาจมีการย่อยสลายตลอดเวลา Chiaudani and Vighi (1974) รายงานว่าปริมาณของไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำทั้งหมดในทะเลสาบซึ่งเกิดภาวะยูโทรฟิเคชั่นมีค่าตั้งแต่ 1,045-1,494 ไมโครกรัม/ลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำทั้งหมดในอ่างเก็บน้ำบางพระอยู่ในระดับค่อนข้างสูง ซึ่งจะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูร้อน



รูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของปริมาณออโธฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (ก) ไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (ข) คลอไรด์ (ค) และซัลเฟต (ง) ของน้ำในอ่าง เก็บน้ำบางพระที่สถานีสูบน้ำของโครงการฯ

อัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ในแหล่งน้ำ อาจใช้เป็นดัชนีแสดงสถานภาพทางด้านสารอาหารของแหล่งน้ำได้ (Maloney et al, 1972; Chiaudani and Vighi, 1974; Greene et al, 1975; Claesson and Ryding, 1977) Shiroyama et al (1975a) รายงานว่าอัตราส่วน 11.3 ของธาตุอาหารหลักทั้ง 2 ชนิด เป็นอัตราส่วนที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ถ้าอัตราส่วน N:P ในแหล่งน้ำมากกว่า 11.3 แสดงว่าการเจริญเติบโตของสาหร่ายในแหล่งน้ำนั้นถูกจำกัดด้วยธาตุฟอสฟอรัส แต่ถ้าอัตราส่วน N:P น้อยกว่า 11.3 แสดงว่าไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระมีค่า N:P ที่สถานีเก็บน้ำทั้ง 4 แห่งในฤดูกาลทั้ง 3 ตั้งแต่ 36.74-116.78 ซึ่งแสดงสถานภาพทางด้านสารอาหารของน้ำในอ่างเก็บน้ำได้อย่างชัดเจนว่า ฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายตลอดช่วงเวลาของการวิจัยครั้งนี้ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำดังกล่าวข้างต้นอาจกล่าวได้ว่า อ่างเก็บน้ำบางพระอาจอยู่ในภาวะซึ่งมีธาตุอาหารหลักปานกลาง (mesotrophic) ทั้งนี้เพราะในภาวะปัจจุบันแหล่งน้ำมีธาตุอาหารไนโตรเจนมากเพียงพอ แต่ยังถูกจำกัดด้วยธาตุอาหารฟอสฟอรัส ถ้าได้รับน้ำเสียหรือสิ่งปฏิกูลจากภายนอกซึ่งมีธาตุอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะฟอสฟอรัสในปริมาณมากขึ้น อ่างเก็บน้ำนี้ก็มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงสถานภาพทางด้านสารอาหารไปเป็น eutrophic ได้ ทะเลสาบส่วนใหญ่ในประเทศอิตาลีซึ่งมี N:P ตั้งแต่ 4.10-291.00 ก็อยู่ในสภาวะ mesotrophic และ oligo-mesotrophic เช่นเดียวกัน (Chiaudani and Vighi, 1974)

คลอไรด์และซัลเฟตในอ่างเก็บน้ำมีปริมาณสูงสุดในฤดูฝนคือ 12.07 และ 4.13 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับและต่ำสุดในฤดูหนาวคือ 9.24 และ 2.54 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 6ค และ 6ง) อิออนทั้งสองนี้ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในฤดูฝนสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามอาจถือได้ว่าปริมาณอิออนทั้งสองไม่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมากนักและยังอยู่ในระดับต่ำ โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับค่าคลอไรด์และซัลเฟตในน้ำซึ่งเหมาะสำหรับทำน้ำประปาตามมาตรฐานของการประปานครหลวง รวมทั้งน้ำที่จะไม่เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์น้ำซึ่งมีความทนทานน้อยต่อปริมาณอิออนทั้งสองตามมาตรฐานของ U.S.Public Health Service (1962) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 250 มิลลิกรัม/ลิตร

สำหรับโลหะหนักที่เป็นธาตุอาหารรอง (micronutrients) ของพืช 4 ธาตุ สำคัญ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ในอ่างเก็บน้ำ พบว่ามีปริมาณน้อยมาก ตรวจไม่พบด้วยวิธีการและเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ Bartlett et al (1973) พบว่าระดับทองแดงและสังกะสีที่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของ S. capricornutum ได้โดยสมบูรณ์มีค่าเป็น 90 และ 120 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังนั้นธาตุอาหารรองเหล่านี้จึงไม่น่าจะแสดงความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืชในอ่างเก็บน้ำบางพระนี้ แต่อาจจะเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตในบางโอกาสได้

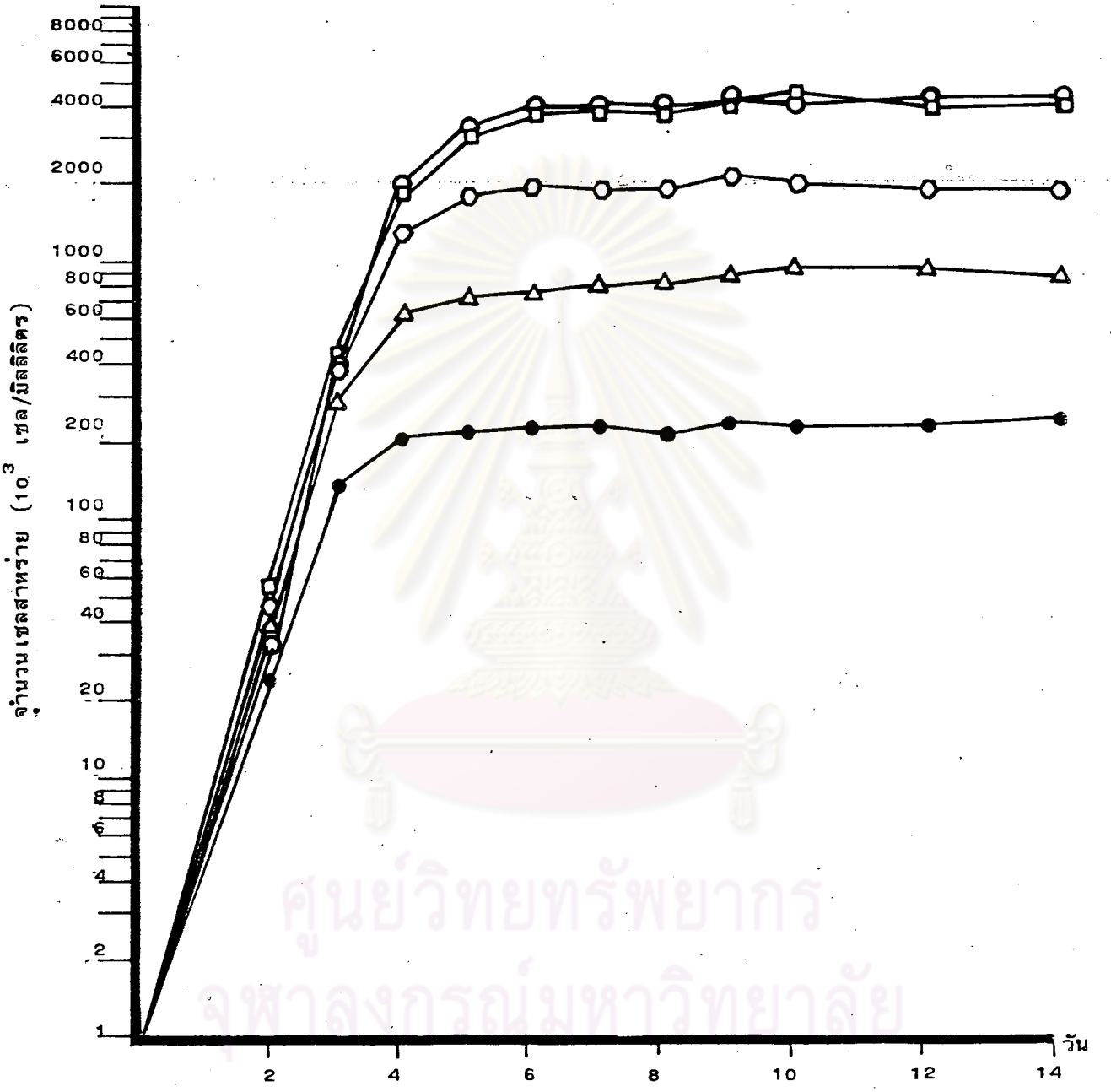
ผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายทดลองในสารอาหารมาตรฐาน

ผลการทดลองขั้นแรกเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของ S. capricornutum ในสารอาหารมาตรฐานซึ่งมีธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ฟอสฟอรัสในปริมาณ 0-200 ไมโครกรัม/ลิตร และไนโตรเจนในปริมาณ 0-1,000 ไมโครกรัม/ลิตร เปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดเดียวกันนี้ในสารอาหารมาตรฐานซึ่งมีปริมาณธาตุต่าง ๆ ตามปกติ แสดงในตารางที่ 2 (รูปที่ 7 และ 8) กราฟแสดงการเจริญเติบโตของ S. capricornutum ในธาตุอาหารหลักความเข้มข้นต่าง ๆ ทั้งสองชนิดรวมทั้งในสารอาหารมาตรฐานครบถ้วนมีลักษณะเป็นรูปตัว S (Sigmoid curve) ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั่วไปและทุกการทดลอง S. capricornutum เจริญเติบโตเพิ่มจำนวนสูงสุดภายใน 6-8 วัน สำหรับปฏิกริยาตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่า S. capricornutum ไม่อาจเจริญเติบโตหรือเพิ่มจำนวนได้เลยในสารอาหารที่ขาดฟอสฟอรัสแม้ว่าจะมีไนโตรเจนและธาตุอื่น ๆ ครบถ้วน และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของฟอสฟอรัสมากขึ้น S. capricornutum ก็จะเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนตามไปด้วย และปฏิกริยาตอบสนองนี้ชัดเจน แม้เมื่อเพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสให้เพียง 25 ไมโครกรัม/ลิตร และให้จำนวนเซลสูงสุดถึง 2.5×10^5 เซล/มิลลิลิตร หรือ 880 เท่าของจำนวนเซลเมื่อเริ่มต้นเมื่อเพิ่มฟอสฟอรัสเป็น 50 ไมโครกรัม/ลิตร (รูปที่ 7) แต่สำหรับกรณีของไนโตรเจน พบว่า S. capricornutum สามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลได้ถึง 8.0×10^4 เซล/มิลลิลิตร หรือ 80 เท่าของจำนวนเซลเมื่อเริ่มต้นในสารอาหารซึ่งไม่มีไนโตรเจนเลย และเมื่อเพิ่มไนโตรเจนเป็น 100 และ 250 ไม-

ตารางที่ 2 แสดงการเจริญเติบโตของสาหร่ายทดลอง S. capricornutum ในอาหารมาตรฐานซึ่งมีธาตุอาหารหลักฟอสฟอรัสและไนโตรเจนปริมาณต่าง ๆ

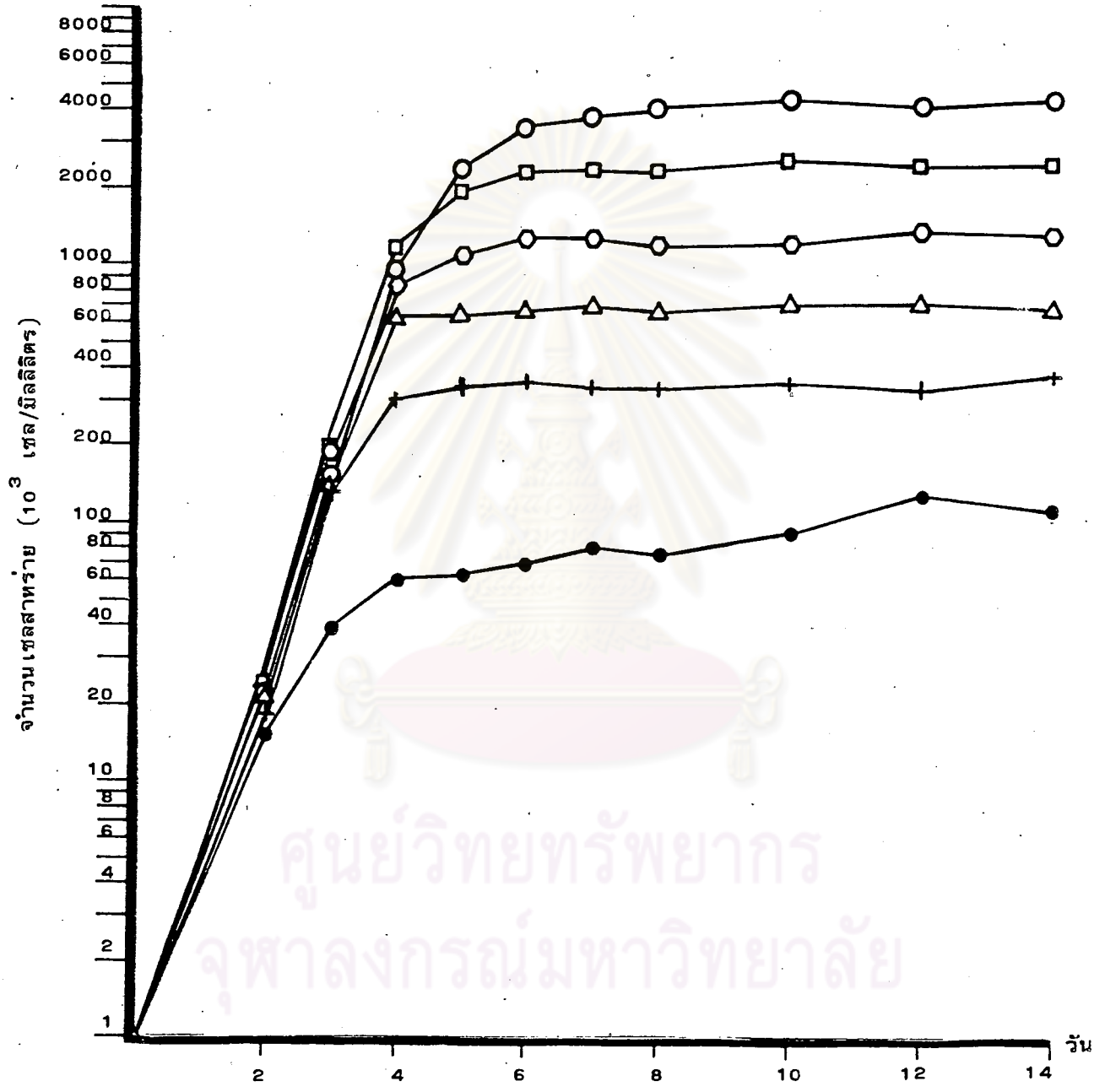
ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/ลิตร)	จำนวนเซลสาหร่าย (เซล/มิลลิลิตร)										
	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7	วันที่ 8	วันที่ 9	วันที่ 10	วันที่ 12	วันที่ 14
ฟอสฟอรัส											
0	← ไม่เพิ่มจำนวนเซล →										
25	2.51×10^4	1.46×10^5	2.20×10^5	2.40×10^5	2.42×10^5	2.53×10^5	2.39×10^5	2.60×10^5	2.51×10^5	2.57×10^5	2.78×10^5
50	4.17×10^4	3.10×10^5	6.96×10^5	7.95×10^5	8.39×10^5	8.86×10^5	9.03×10^5	9.70×10^5	1.05×10^6	1.03×10^6	9.44×10^5
100	4.88×10^4	4.30×10^5	1.41×10^6	1.95×10^6	2.12×10^6	2.07×10^6	2.10×10^6	2.34×10^6	2.26×10^6	2.14×10^6	2.18×10^6
200	5.80×10^4	4.86×10^5	2.08×10^5	3.38×10^6	4.10×10^6	4.24×10^6	4.16×10^6	4.58×10^6	4.66×10^6	4.35×10^6	4.56×10^6
อาหารมาตรฐาน-สูตรครบถ้วน[1]	3.44×10^4	4.51×10^5	2.27×10^6	3.78×10^6	4.29×10^6	4.43×10^6	4.38×10^6	4.57×10^6	4.54×10^6	4.63×10^6	4.90×10^6
ไนโตรเจน											
0	1.54×10^4	4.06×10^4	6.35×10^4	6.49×10^4	7.08×10^4	8.27×10^4	7.72×10^4	-	9.19×10^4	1.33×10^5	1.19×10^5
100	1.87×10^4	1.34×10^5	3.13×10^5	3.42×10^5	3.68×10^5	3.49×10^5	3.46×10^5	-	3.64×10^5	3.50×10^5	3.87×10^5
250	2.12×10^4	1.58×10^5	6.65×10^5	6.66×10^5	7.07×10^5	7.27×10^5	6.84×10^5	-	7.51×10^5	7.46×10^5	7.08×10^5
500	2.39×10^4	1.84×10^5	8.79×10^5	1.15×10^6	1.34×10^6	1.35×10^6	1.27×10^6	-	1.28×10^6	1.40×10^6	1.40×10^6
1,000	2.47×10^4	1.97×10^5	1.23×10^6	2.03×10^6	2.43×10^6	2.46×10^6	2.47×10^6	-	2.65×10^6	2.56×10^6	2.62×10^6
อาหารมาตรฐาน-สูตรครบถ้วน[1]	2.14×10^4	1.49×10^5	1.00×10^6	2.56×10^6	3.62×10^6	4.08×10^6	4.37×10^6	-	4.70×10^6	4.39×10^6	4.75×10^6

[1] อาหารมาตรฐานสูตรครบถ้วนมีฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในปริมาณ 186 และ 4,200 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ



รูปที่ 7 แสดงอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย S. capricornutum ในอาหารมาตรฐาน ซึ่งมีฟอสฟอรัสในปริมาณตั้งแต่ 25 (●), 50 (△), 100 (○), 200 (□) ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ และในอาหารมาตรฐานสูตรครบถ้วน (○)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8 แสดงอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย S. capricornutum ในอาหารมาตรฐาน ซึ่งมีไนโตรเจนในปริมาณตั้งแต่ 0 (●), 100 (+), 250 (△), 500 (○) 1,000 (□) ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ และในอาหารมาตรฐานสูตรครบถ้วน (○)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไครกรัม/ลิตร จำนวนเซลเพิ่มเป็น 3.5×10^5 และ 7.3×10^5 เซล/มิลลิลิตร ตามลำดับ คือ ประมาณ 350 และ 730 เท่าของจำนวนเซลเมื่อเริ่มต้น (รูปที่ 8)

จากผลการทดลองในเบื้องต้นนี้จึงกำหนดเอาวันที่ 7 ของการทดลองเลี้ยงสาหร่ายเป็นวันวัดผลการศึกษาศักยภาพของการเจริญเติบโตของสาหร่ายอันเป็นผลของธาตุอาหารที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำต่าง ๆ และกำหนดเอาปริมาณฟอสฟอรัส 50 ไมโครกรัม/ลิตร และไนโตรเจน 200 ไมโครกรัม/ลิตร เป็นปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมที่จะเพิ่มให้แก่ตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาว่าธาตุอาหารชนิดใดในสองชนิดนี้เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำ

การเจริญเติบโตของ S. capricornutum ในสารอาหารมาตรฐานที่มีธาตุต่างๆ ครบถ้วนตามสูตรของ PAAP (U.S. EPA, 1971) ซึ่งเพาะเลี้ยงไว้ในห้องปฏิบัติการที่มีความเข้มแสง 2,700-3,200 ลักซ์ อุณหภูมิ 26 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาพการเพาะเลี้ยงที่ใช้ตลอดโครงการวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับที่เพาะเลี้ยงในสารอาหารสูตรเดียวกันแต่ที่ความเข้มแสง 4,304 ลักซ์ อุณหภูมิ 24 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส (U.S. EPA, 1971) และในสารอาหารมาตรฐานครบถ้วนสูตร Z8 เข้มข้น 5% ที่ความเข้มแสง 6,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 20 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส ในห้องปฏิบัติการของ Norwegian Institute for Water Research (NIVA) (Kallqvist, 1973b) พบว่า S. capricornutum เจริญเติบโตได้ดีในสภาพการเพาะเลี้ยงทั้ง 3 แบบ โดยที่ S. capricornutum เจริญเติบโตให้จำนวนเซลสูงสุดใกล้เคียงกันในสภาพการเพาะเลี้ยงของการวิจัยครั้งนี้และสภาพการเพาะเลี้ยงของ NIVA (4.26×10^6 และ 4.00×10^6 เซล/มิลลิลิตร ตามลำดับ) ส่วนในสภาพการเพาะเลี้ยงของ U.S. EPA (1971) S. capricornutum ให้จำนวนเซลต่ำกว่าเล็กน้อย คือ 3.00×10^6 เซล/มิลลิลิตร

<u>ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระโดยใช้สาหร่ายทดลอง</u>

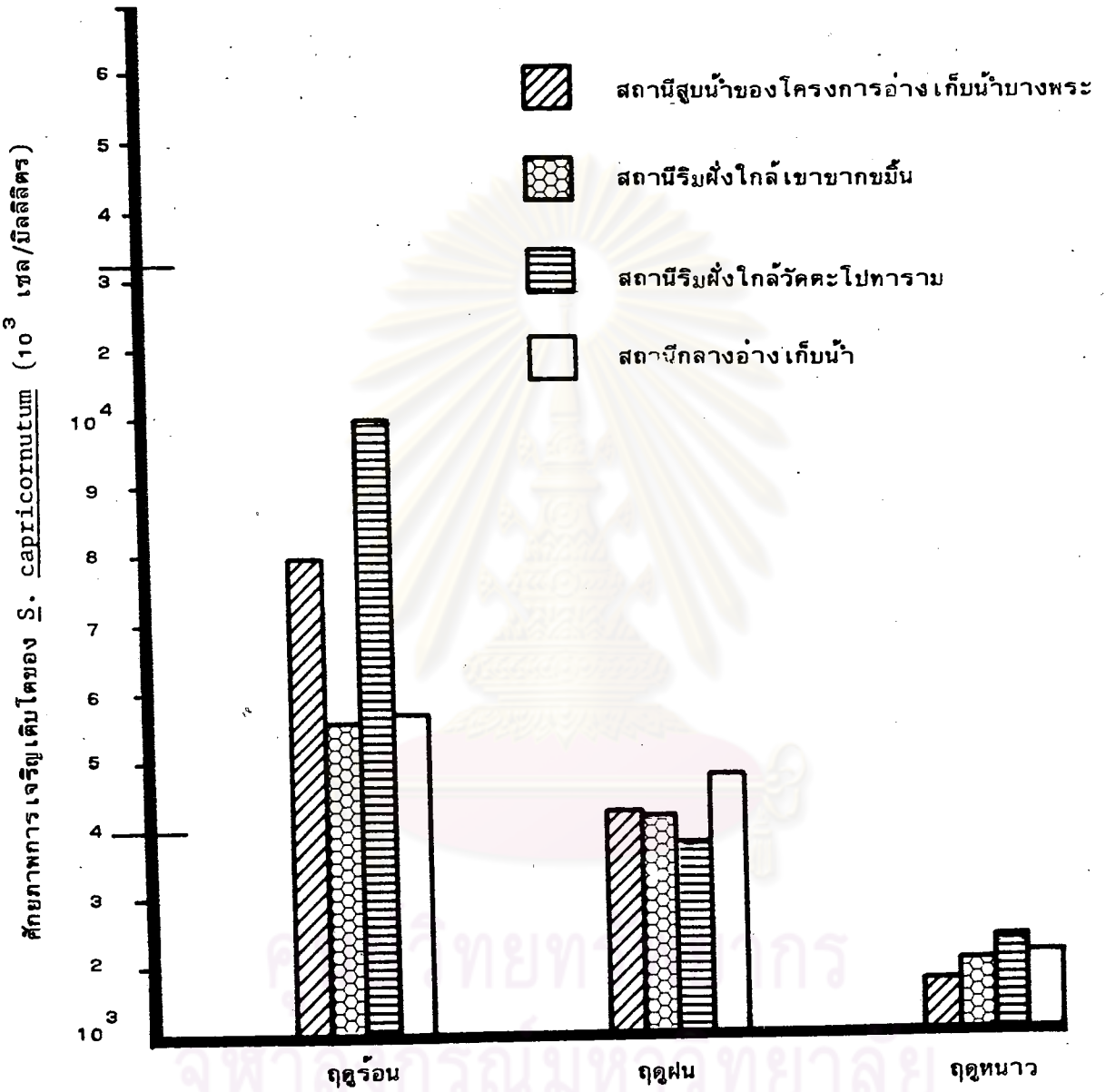
ก. <u>ศักยภาพในการเจริญเติบโตของสาหร่ายในตัวอย่างน้ำ</u>

การทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของศักยภาพของอ่างเก็บน้ำบางพระว่ามีธาตุอาหารพอที่จะทำให้สาหร่ายเจริญแพร่พันธุ์ได้มากน้อยแค่ไหน โดยใช้สาหร่าย

เซลเดียวสีเขียว S. capricornutum ในการทดลอง ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่า น้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระมีศักยภาพสูงสุดในฤดูร้อนคือ S. capricornutum เจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลอยู่ระหว่าง 5.51×10^3 - 9.95×10^3 เซล/มิลลิลิตร สถานีที่มีศักยภาพสูงสุดคือ สถานีริมฝั่งใกล้วัดตะโปทาราม (สถานีที่ 3 ในรูปที่ 1) ให้จำนวนเซล/มิลลิลิตร เท่ากับ 9.95×10^3 ส่วนสถานีที่มีศักยภาพต่ำสุดของฤดูร้อนคือ สถานีริมฝั่งใกล้เขาขากขมิ้น (สถานีที่ 2 ในรูปที่ 1) ให้จำนวนเซล/มิลลิลิตร ของ S. capricornutum เท่ากับ 5.51×10^3 ซึ่งใกล้เคียงกับจำนวนเซลของสาหร่ายที่สถานีกลางอ่างเก็บน้ำ (สถานีที่ 4 ในรูปที่ 1) ส่วนสถานีสูบน้ำเพื่อการประปาของโครงการฯ (สถานีที่ 1 ในรูปที่ 1) ให้จำนวนเซลเท่ากับ 7.92×10^3 เซล/มิลลิลิตร ดังนั้นถ้าพิจารณาคุณภาพน้ำที่สถานีเก็บน้ำทั้ง 4 แห่ง จากศักยภาพในการเจริญเติบโตของสาหร่ายอาจกล่าวได้ว่า ในฤดูร้อนการสูบน้ำเพื่อใช้ในการประปาจากสถานีสูบน้ำของโครงการฯ อาจไม่เหมาะเท่าบริเวณกลางอ่างเก็บน้ำซึ่งมีสาหร่ายเจริญเติบโตน้อยกว่า อันจะทำให้ปัญหาในการกรองลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณเซลของสาหร่ายที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างน้ำที่สถานีสูบน้ำของโครงการฯ ในฤดูร้อนนี้จัดว่ายังไม่มากนัก น้ำในคลองบางกอกน้อยและคลองประปาซึ่งใช้ในการประปาของการประปานครหลวง มีศักยภาพในการเจริญเติบโตของ S. capricornutum สูงถึง 2.4×10^5 และ 9.0×10^4 เซล/มิลลิลิตร ตามลำดับ (Chaiyarach, 1978) สำหรับในฤดูฝนอ่างเก็บน้ำมีศักยภาพในการเจริญเติบโตของสาหร่ายปานกลาง โดยมีจำนวนเซลของ S. capricornutum ใกล้เคียงกันทั้ง 4 สถานีคือ 3.79×10^3 - 4.77×10^3 เซล/มิลลิลิตร ส่วนในฤดูหนาวเป็นช่วงเวลาที่อ่างเก็บน้ำมีศักยภาพในการเจริญเติบโตของสาหร่ายต่ำที่สุดโดยมีจำนวนเซลระหว่าง 1.78×10^3 - 2.37×10^3 เซล/มิลลิลิตร และทั้ง 4 สถานีมีศักยภาพใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับในฤดูฝน เมื่อพิจารณาผลผลิตสูงสุดของ S. capricornutum ในตัวอย่างน้ำจากสถานีเก็บน้ำทุก ๆ แห่งในฤดูกาลต่าง ๆ แล้วอาจกล่าวได้ว่า ฤดูร้อนและฤดูฝนอ่างเก็บน้ำมีศักยภาพในการเจริญเติบโตของสาหร่ายในระดับปานกลาง จึงจัดอยู่ในประเภทแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารระดับปานกลาง (Moderate productivity) หรือเรียกว่า mesotrophic water ส่วนในฤดูหนาวอ่างเก็บน้ำมีศักยภาพในการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำ จัดอยู่ในประเภทแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารระดับต่ำ (Low productivity)

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์สถานภาพทางสารอาหารและธาตุที่เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายของอ่างเก็บน้ำบางพระ

	จำนวนเซลสาหร่าย (เซล/มิลลิลิตร)					
	ตัวอย่างน้ำไม่เติมธาตุอาหาร	ตัวอย่างน้ำเติมไนโตรเจน	ตัวอย่างน้ำเติมฟอสฟอรัส	ตัวอย่างน้ำเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัส	ตัวอย่างน้ำเติมทั้งไนโตรเจนฟอสฟอรัสและธาตุอาหารรอง	สารอาหารมาตรฐานสูตรครบถ้วน
<u>ฤดูร้อน</u>						4.30×10^6
สถานีที่ 1	7.92×10^3	7.49×10^3	6.94×10^4	7.99×10^4	3.10×10^5	
2	5.51×10^3	5.76×10^3	5.06×10^4	9.89×10^4	$3.24.20^5$	
3	9.95×10^3	9.54×10^3	9.28×10^4	1.19×10^5	3.93×10^5	
4	5.65×10^3	6.68×10^3	6.28×10^4	6.19×10^4	3.50×10^5	
<u>ฤดูฝน</u>						3.64×10^6
สถานีที่ 1	4.22×10^3	5.11×10^3	4.11×10^4	1.47×10^5	2.56×10^5	
2	4.18×10^3	4.09×10^3	4.15×10^4	1.57×10^5	2.90×10^5	
3	3.79×10^3	4.30×10^3	3.83×10^4	1.51×10^5	2.25×10^5	
4	4.77×10^3	4.88×10^3	3.94×10^4	2.13×10^5	2.97×10^5	
<u>ฤดูหนาว</u>						3.97×10^6
สถานีที่ 1	1.78×10^3	1.84×10^3	6.17×10^4	2.51×10^5	5.01×10^5	
2	2.03×10^3	1.83×10^3	7.79×10^4	2.90×10^5	4.77×10^5	
3	2.37×10^3	2.21×10^3	7.07×10^4	2.69×10^5	4.93×10^5	
4	2.10×10^3	1.83×10^3	7.68×10^4	3.15×10^5	5.25×10^5	



รูปที่ 9 แสดงศักยภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย S. capricornutum ฤดูกาลในตัวอย่างน้ำจากสถานีเก็บน้ำทั้ง 4 แห่ง จำนวนเซลสาหร่าย 1-4 X 10^3, 4-33X10^3 และมากกว่า 33 X 10^3 เซล/มิลลิลิตร แสดงความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในแหล่งน้ำระดับต่ำ ปานกลาง และสูง ตามลำดับ

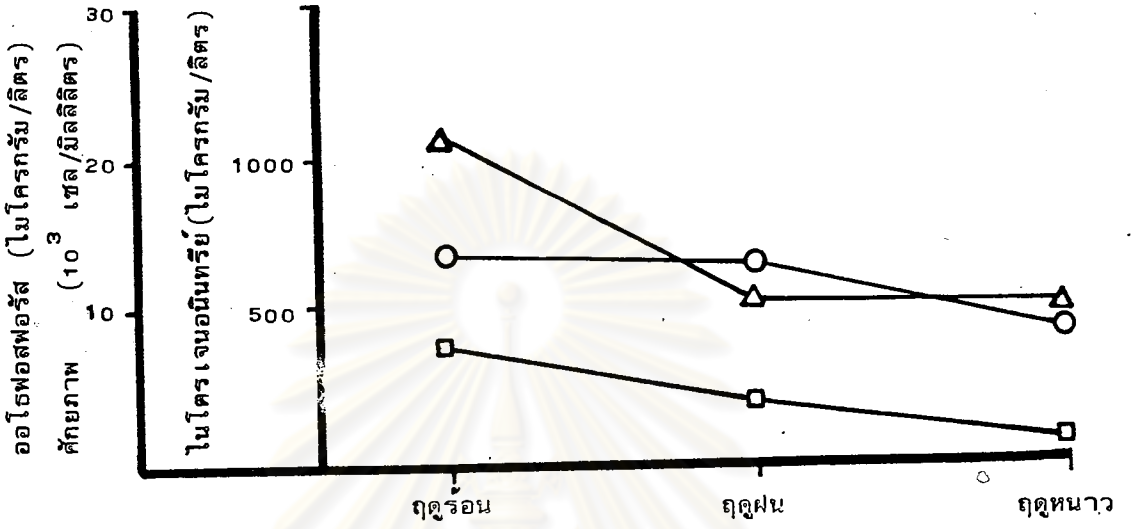
I 17191816

หรือ oligotrophic water (Miller et al, 1974; Greeme et al, 1975; Kotai et al, 1976)

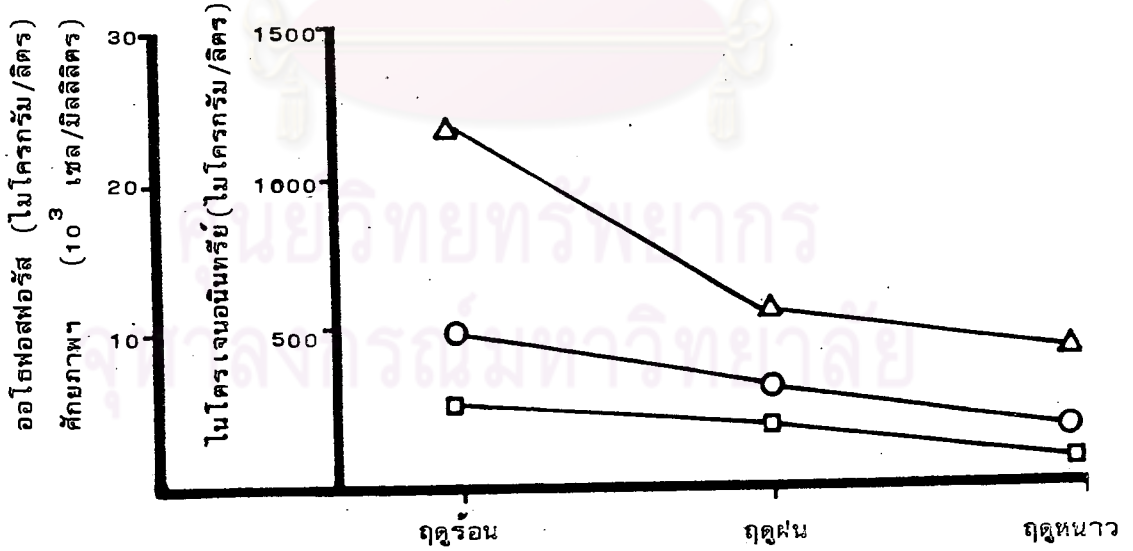
ผลการวิเคราะห์ศักยภาพในการเจริญเติบโตของสาหร่ายในแหล่งน้ำโดยใช้สาหร่ายทดลองนี้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ฟอสฟอรัสและไนโตรเจน ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ และพืชสามารถใช้ได้ทันที (available form) กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของศักยภาพของอ่างเก็บน้ำซึ่งแสดงด้วยผลผลิตของ S. capricornutum มีรูปแบบเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารหลักซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดคือ ฟอสฟอรัสดังแสดงในรูปที่ 10-13 ส่วนไนโตรเจนก็เป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง แต่เนื่องจากมีปริมาณค่อนข้างสูงจึงไม่เป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณออโธฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้จากวิธีทางเคมี ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณออโธฟอสฟอรัสที่ Chiaudani and Vighi (1974) รายงานไว้ดังกล่าวข้างต้น อาจกล่าวได้ว่าอ่างเก็บน้ำนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดภาวะยูโทรฟิเคชั่นได้ แต่จากผลการวิเคราะห์ศักยภาพในการเจริญเติบโตของสาหร่ายทดลองชี้ให้เห็นว่า แหล่งน้ำมีสถานภาพทางอาหารเป็น mesotrophic ในฤดูร้อนและฤดูฝนและ oligotrophic ในฤดูหนาวแสดงว่าปริมาณออโธฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้จากวิธีทางเคมี ไม่ได้แสดงถึงศักยภาพในการเจริญเติบโตของสาหร่ายตามธรรมชาติ ทั้งนี้เพราะการเจริญเติบของสาหร่ายตามธรรมชาติไม่ได้มีปริมาณออโธฟอสฟอรัส เป็นปัจจัยจำกัดเพียงอย่างเดียว อาจมีธาตุอาหารอื่นเป็นปัจจัยจำกัดด้วย ดังนั้นการใช้ผลของการวิเคราะห์ทางเคมีในการบ่งชี้คุณภาพน้ำโดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับสารอาหารในน้ำเพียงอย่างเดียวจึงมีข้อจำกัด ควรที่จะใช้การวิเคราะห์ทางชีวภาพควบคู่กันไปด้วย

ข. <u>สถานภาพและปัจจัยจำกัดทางด้านสารอาหารของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำ</u>

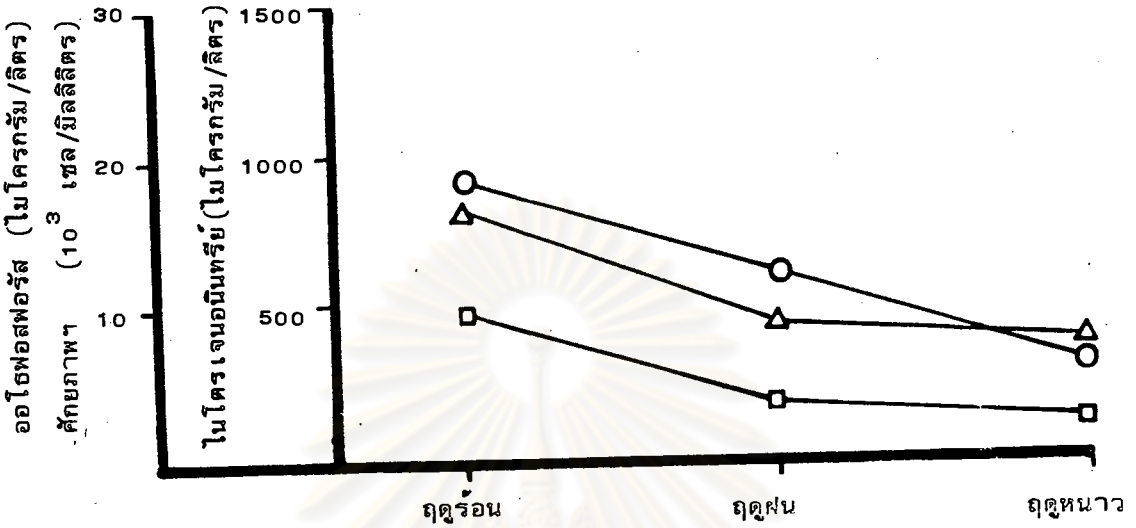
การวิเคราะห์สถานภาพทางอาหารของแหล่งน้ำเพื่อศึกษาปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำโดยการทดลองเติมธาตุอาหารที่จำเป็นลงในตัวอย่างน้ำก่อนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทดลอง ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 14 พบว่า S. capri-



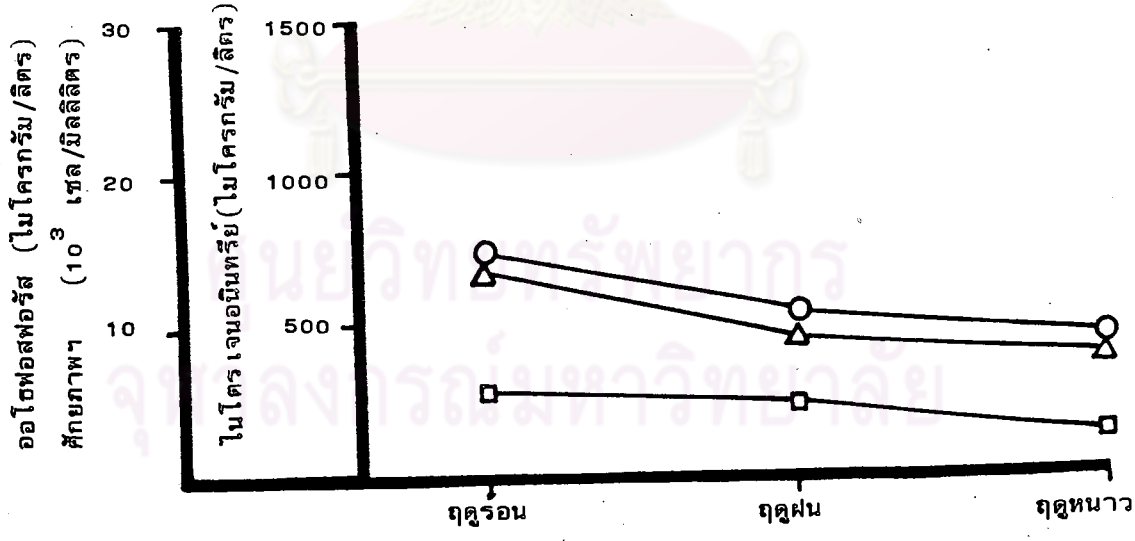
รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย S. capricornutum (□) กับปริมาณออโธฟอสฟอรัส (○) และไนโตรเจนอนินทรีย์ (△) ที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำจากสถานีสูบน้ำของโครงการฯ



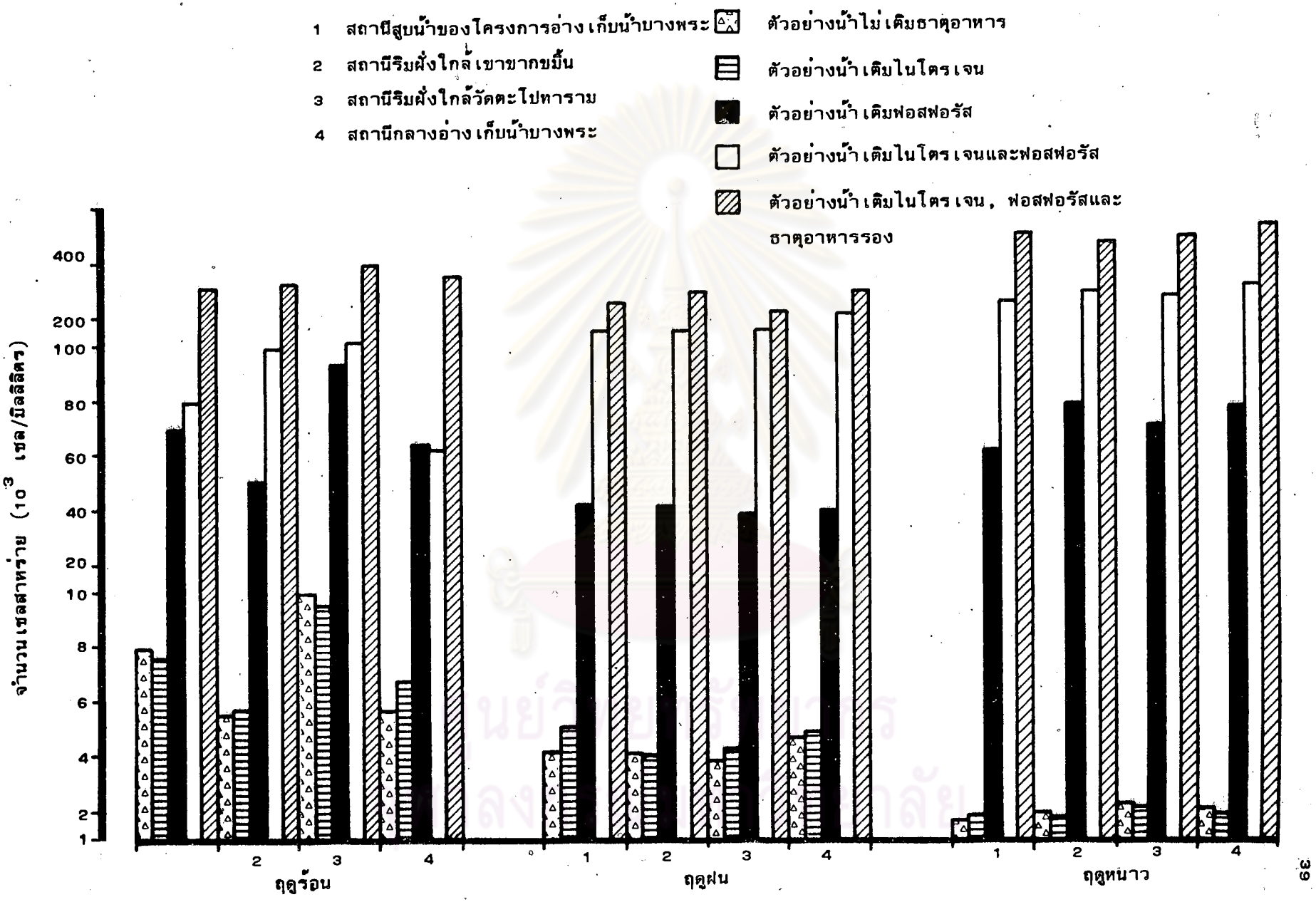
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย S. capricornutum (□) กับปริมาณออโธฟอสฟอรัส (○) และไนโตรเจนอนินทรีย์ (△) ที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำจากสถานีริมฝั่งใกล้เขาขากขมิ้น



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย S. capricornutum (□) กับปริมาณออโธฟอสฟอรัส (○) และไนโตรเจนอนินทรีย์ (△) ที่ละลายน้ำของตัวอย่างจากสถานีริมฝั่งใกล้วัดตะโปทาราม



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย S. capricornutum (□) กับปริมาณออโธฟอสฟอรัส (○) และไนโตรเจนอินทรีย์ (△) ที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำจากสถานีกลางอ่างเก็บน้ำบางพระ



รูปที่ 14 แสดงสถานภาพของสารอาหารและธาตุที่ เป็นปัจจัยจำกัดการ เจริญ เติบโตของสาหร่ายในอ่าง เก็บน้ำบางพระในรูปของการ เจริญ เติบโต ของ S. capricornutum ในตัวอย่างน้ำที่ เติมธาตุอาหารต่าง ๆ

cornutum มีการเจริญเติบโตแตกต่างกันในตัวอย่างน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่เติมธาตุอาหารต่าง ๆ หลังจากเพาะเลี้ยงไว้ 7 วัน โดย S. capricornutum ให้จำนวนเซลในตัวอย่างน้ำที่เติมธาตุอาหารไนโตรเจน 200 ไมโครกรัม/ลิตร ได้พอ ๆ กับในตัวอย่างน้ำที่ไม่เติมธาตุอาหารใด ๆ เลย แต่เจริญเติบโตได้ดีในตัวอย่างน้ำที่เติมธาตุอาหารฟอสฟอรัสและเพิ่มจำนวนเซลสูงสุดในแต่ละสถานีเก็บน้ำตั้งแต่ 5.06×10^{4} - 9.28×10^{4} เซล/มิลลิลิตร คือ เป็น 8.76 - 11.12 เท่าของจำนวนเซลในตัวอย่างน้ำที่ไม่เติมธาตุอาหารใด ๆ เลย สำหรับในฤดูร้อน และเพิ่มขึ้นถึง 3.84×10^{4} - 4.15×10^{4} และ 6.17×10^{4} - 7.79×10^{4} เซล/มิลลิลิตร หรือเป็น 8.26 - 10.11 และ 29.83 - 38.37 เท่าของจำนวนเซลในตัวอย่างน้ำที่ไม่เติมธาตุอาหารใดเลยของแต่ละสถานีเก็บน้ำในฤดูฝนและฤดูหนาวตามลำดับ และ S. capricornutum ยังสามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลขึ้นอีกเล็กน้อยในตัวอย่างน้ำที่เติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสร่วมกัน และในตัวอย่างน้ำที่เติมทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุอาหารรองในทุกสถานีเก็บน้ำและทุกฤดูกาล ซึ่งอาจสรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่า ฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำทุกสถานีเก็บตัวอย่างน้ำและทุกฤดูกาลตลอดช่วงการวิจัยนี้ ซึ่งเป็นลักษณะที่พบมากในแหล่งน้ำจืดทั่ว ๆ ไป (Lund, 1967; Rodhe, 1976; Claesson and Ryding, 1977) ผลการวิเคราะห์โดยการใช้สาหร่ายทดลองนี้ยังสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางเคมีของค่าไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำทั้งหมดและออโธฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีอัตราส่วน N:P มากกว่า 11.3 ในทุกสถานีเก็บน้ำและทุกฤดูกาลด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย