

施用無機肥料對魚類增產之研究—1

邱長吉 彭弘光 吳榮藩

The Effect of Phosphorus and Nitrogen Fertilizers on Fish Production in Freshwater Ponds(I)

By

C. J. Chiou, H. K. Peng and S. F. Wu

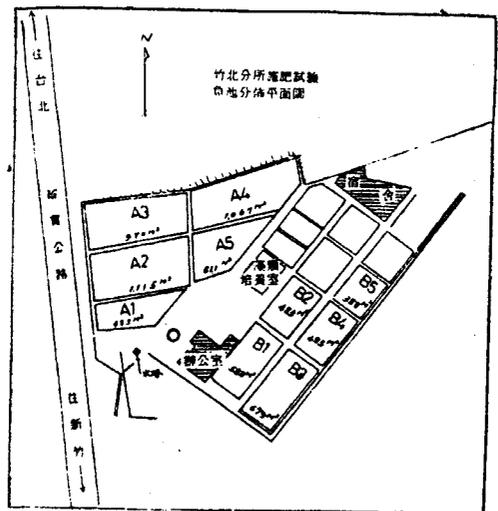
摘 要

竹北分行所在農復會補助下進行之施肥試驗，目的在研究(1)淡水養魚之最適磷肥施用量(2)各組級磷肥濃度對魚類增產之效果，及(3)磷肥外加施氮肥是否能更促進增產。從1969年1月至11月試驗所得結果，我們認為：(1)魚產量之高低不能完全以池水中含磷量之多寡作為判定。(2)魚池施放磷肥對魚類增產（尤其是白鰱）功效極大。水深一公尺全年每公頃過磷酸鈣之最適施放量为 2,000 公斤。(3)魚池施用磷肥後有殘留效果存在。而氮肥效果需要再作研究。

一、引 言

淡水魚塢養魚，爲了提高單位面積生產量，施肥是必需而有效的方法。近年來最常使用的化學肥料爲磷肥（即過磷酸鈣），因爲磷是植物性浮游生物必須的化學元素，而一般自然水中的含量又極低微。據

Juday and Birge (Fred. 1966)調查北美 479個湖沼的結果，其溶磷 (Soluble Phosphorus) 的平均含量爲 0.003mg/l，故爲了使以植物性浮游生物爲食的鱧魚等能够獲得豐富的餌料，必須施放適量的磷肥以促進浮游生物的大量繁生。林書顏及陳同白對於施用磷肥的效果已有多篇論著詳細說明 (Lin and Chen, 1966; Lin, 1968)。至於氮肥在淡水養魚是否必要，尙難作絕對的判定，似有再作研究的需要。本試驗由美國洛克斐勒基金會補助，在農復會漁業組的策劃及省水產試驗所的配合下自民國五十八年一月至十一月在竹北分所順利進行完畢。試驗計劃由林書顏教授擬定，內容包括水質分析、浮游生物定性定量、魚類食性、施肥，魚池管理等。試驗期間並請日本淡水區水產研究所專家里見至弘博士、伊藤時夫、杉目崇尙、東井純一等來竹北作技術指導數月。本試驗目的(1)試驗決定獲得最高魚產之最經濟合理的磷肥施用量，(2)磷肥外加施氮肥是否對淡水養殖增產有良好的效果。此次試驗期間較長，分析項目亦多，所得資料不少，而且較完全。本報告只其中一部份，以後將陸續發表。雖然不一定能够立刻對養殖業有所助益，但它是目前臺灣有關施肥養魚較完整而有系統的基礎研究資料，可供所有湖沼學家、施肥養魚專家、業者等作為參考以改進肥料的施用，促進魚產的增加，且對淡水魚塢施用磷肥或兼施磷肥氮肥後全年水質及浮游生物之變化情形有全盤的概念，有助於對魚池生態、化學、生物等條件作進一步的了解。



圖一 竹北分所施肥試驗池分佈平面圖

※本報告已刊登中國水產第 212 期。

二、材料與方法

(一)試驗池：本試驗使用魚池10口，面積共 6,871M²，分A、B兩區（見圖1）A區5口面積共 4,248 M²，最大 1,115M²，最小 485M²，地勢較低，預定保持水深85公分；B區5口面積共 5,623M²，地勢較高，最大 679M²，最小 388M²，預定保持水深80公分。各池於 1969年1月中旬排乾後開始整理，並由池岸搭木橋至池中心，每池裝設兩條塑膠採水管，一條端離池底20公分一條離水面20公分。然後注入地下水至預定深度。

(2)放養：1月30日開始放養試魚，有鯉魚 (*Cyprinus carpio*)、河內鯽 (*Carassius carassius*)、草魚 (*Ctenopharyngodon idella*)、白鯪 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、大頭鯪 (*Aristichthys nobilis*) 等，最大的為草魚全長平均 10.33 公分體重 150 克，最小為鯉魚，平均長度7.04公分，體重4.75克，各按魚池之大小以一定比例放養（表一）。

表一 竹北分所施肥試驗供試魚之種類、體長、體重、放養日期以及各池之放養尾數

放 養 日 期		1 月 30 日	1 月 31 日	2 月 1 日			
放 養 類 別		鯉	河 內 鯽	鯪	鯪	鯪	
供 試 魚	最 大	全長cm.	8.2	10.0	23.5	11.5	9.0
		體重g.	6.92	12.75	155.0	13.35	7.95
	最 小	全長cm.	6.2	7.0	22.5	8.7	8.0
		體重g.	2.82	5.15	150.0	6.1	6.0
	平 均	全長cm.	7.04	8.41	23.0	10.33	8.28
		體重g.	4.75	8.87	150.0	9.43	6.56
放 養 尾 數	A	1	24	24	3	29	5
		2	56	56	7	67	11
		3	49	49	6	58	10
		4	53	53	6	64	11
		5	31	31	4	37	6
	B	1	29	29	4	35	6
		2	24	24	3	29	5
		3	34	34	4	41	7
		4	24	24	3	29	5
		5	19	19	2	23	4
	合 計		243	343	42	412	70

(三)施肥：A₁為對照池（不施任何肥料）外，其餘各池全年共施磷肥 [CaH₄(PO₄)₂] 80 次，但不施氮肥。每次施肥量係按面積大小、水深，依預定各組級磷肥濃度計算而得。全年總施肥量各區依池號順序漸增至A₅為最高。B區B₁為對照池，其餘各池按預定各組級濃度對應施放磷肥外，四池均放相當於 0.5ppm 氮之硫酸銨 [(NH₄)₂SO₄]，全年共施放78次（表二）。施肥每星期2次（週一、四），全年平均施放，時間在每天上午10時採水後。方法是將每池每次所需之量倒入水桶中以池水溶解稀釋後沿池均勻灑佈。2月3日第一次施肥，各月施肥日期次數見表三。

(四)採水：每週固定2次（週一、四）於上午10時行之。分為上下層及全層採水。上下層採水時，上層水是魚池水面下20公分處之水；下層水是池底以上20公分處之水。以方形塑膠桶（長70cm寬35cm深30cm）部份壓下水面，則桶底之水位低於魚池水位，逐次將水管迅速移入桶內，利用大氣壓力及虹吸（Siphon）之作用引導水樣入桶內，以洗淨之塑膠瓶自管口盛接供水質分析之用。另一塑膠瓶同樣盛滿，供浮游生物定性定量之用。又以較細小之橡皮管插入水管，將細管伸入氧氣瓶之底部，盛滿水加MnCl₂及NaOH·KI混合液混勻固定以作氧氣測定。水溫氧化還元電位差及電導度（Conductivity）等之測定亦在採水之同時辦理。野外記錄本則記載採水當天之天候、各水樣之號碼、現場測定之結果以及池況、水色、透明度等。全層採水時，以鐵製之圓柱鐵桶（直徑20cm 高65cm 一端附有活動之橡皮塞蓋）緩緩套放入池中，將蓋底由上鎖緊，使水不外泄，量桶內水柱高，記下。然後將鐵桶提起置於大型膠水桶中，在桶中取水供化學及浮游生物測定之用。最後將桶中所有水倒入浮游生物網中（網目為No.25）留在網中之濾液作動物性浮游生物測定之用。另外每四週作一次日夜變化測定，每四小時採水測定一次，此時則以較小之塑膠圓桶代替鐵桶。

(五)分析之項目及方法：

1. 水質分析：將水樣立刻搬回試驗室，將全層水樣檢出，然後以離心機在每分鐘3000轉速度下離心

表二 竹北分所各施肥試驗池之面積、預定水深、水量、預定施肥濃度、次數及施肥量

池別	面積 M ²	水深 Cm	水量 M ³	磷 肥				氮 肥			
				濃 度 PPM	過磷酸鈣CaH ₄ (PO ₄) ₂			濃度 PPM	硫酸銨(NH ₄) ₂ SO ₄		
					施放次數	每 次 施用量 g	總施用量 g/M ³		施放次數	每 次 施用量 g	總施用量 g/M ³
A 1	485	85	412		0	0	0	0	0	0	0
A 2	1,115	85	948	0.05~0.09	80	1,232	103.99	0	0	0	0
A 3	970	85	825	0.1~0.29	80	2,104	204.15	0	0	0	0
A 4	1,067	85	907	0.3~0.59	80	6,902	608.81	0	0	0	0
A 5	611	85	519	0.6~1.00	80	6,643	1023.27	0	0	0	0
B 1	582	80	466		0	0	0	0	0	0	0
B 2	485	80	388	0.05	80	504	103.91	0.5	77	970	192.5
B 3	679	80	543	0.10	80	1,385	203.97	0.5	78	1358	195.0
B 4	485	80	388	0.30	80	2,953	608.86	0.5	78	970	195.0
B 5	388	80	310	0.60	80	3,968	1022.68	0.5	78	775	195.0

表三 各月份施肥日期

月 別	施 肥 日 期	次 數	
		磷	氮
二	3(P)、6(P) 7(N)、10、13、20、24、28	7	6
三	3、6、10、13、17、20、24、27、31	9	9
四	4、7、10(N)、14(P)、17(P)、19(N)、21(P)、22(N)、25、28	8	7
五	1、5、8、12、15、19、23、26、29	9	9
六	2、5、9、12、15、19、23、26、29	9	9
七	3、7、10、14、18、21、24、28、31	9	9
八	4、7、11、15、18、21、25、28	8	8
九	1、4、8、12、18、22、25、29	8	8
十	2、6、10、13、16、20、23、27、30	9	9
十一	3、7、10、13	4	4

註：日期之後(P)表示僅施磷肥，(N)表示僅施氮肥，無符號者表示施磷肥及氮肥。

表四 A區各池供試魚放養收成、養成率及生產量情形

池 別 (M ²)	項 目	供 試 魚 (1)						雜魚(2)	生 產 量	
		鱧	鱖	鮠	鯉	河內鯽	小 計		(1)+(2) Kg	Kg/ha
A 1 (485)	放 尾 數	29	5	3	24	24	85	6.63	60.96	1,256.91
	養 重 量	272.5g	32.80	450.0	114.00	212.88	1083.15			
	收 尾 數	29	5	3	19	24	80			
	成 重 量	31.17kg	7.63	1.82	9.40	4.31	54.33			
	養 成 率	100%	100	100	79.17	100	94.12			
A 2 (1,115)	放 尾 數	67	11	7	56	56	192	27.50	128.18	1,149.60
	養 重 量	631.81g	72.16	1050.00	266.00	496.72	1,517.69			
	收 尾 數	64	11	4	55	56	190			
	成 重 量	49.51kg	12.44	4.73	25.34	8.66	100.68			
	養 成 率	95.52%	100	57.14	98.21	100	96.45			
A 3 (970)	放 尾 數	58	10	6	49	49	127	21.46	161.41	1,664.02
	養 重 量	546.94g	65.60	900.00	232.75	434.63	2,179.92			
	收 尾 數	58	7	6	41	49	161			
	成 重 量	83.01kg	16.87	6.08	20.16	13.83	139.95			
	養 成 率	100%	70	100	83.67	100	93.60			

A 4 (1067)	放養	尾數	64	11	6	53	53	187			
		重量	603.52g	72.16	900.00	251.75	470.11	2,297.54			
	收成	尾數	64	10	6	53	52	185			
		重量	85.40kg	19.58	3.14	14.57	12.69	135.38	31.95	167.33	1,568.23
養成率			100%	90.91	100	100	98.11	98.93			
A 5 (611)	放養	尾數	37	6	4	31	31	109			
		重量	348.91g	39.36	600.00	147.25	274.97	1,410.49			
	收成	尾數	34	6	2	23	30	95			
		重量	45.36kg	8.02	1.26	4.52	7.01	66.17	26.81	92.98	1,521.77
養成率			91.89%	100	50	74.19	96.77	87.16			

表五 B區各池供試魚放養、收成、養成率及生產量情形

池別 (M ²)	項 目	供 試 魚 (1)						雜魚(2)	生 產 量	
		鱧	鱖	鮠	鯉	河內鯽	小 計		(1)+(2) kg	kg/ha
B 1 (582)	放養	尾數	35	6	4	29	29	103		
		重量	330.05g	39.36	600.00	137.75	257.23	1,364.39		
	收成	尾數	34	6	4	23	29	96		
		重量	11.25kg	1.00	1.43	8.04	2.81	24.53	6.00	30.53
養成率			97.14%	100	100	79.31	100	93.20		
B 2 (485)	放養	尾數	29	5	3	24	24	85		
		重量	283.47g	32.80	450.00	114.00	212.88	1,083.15		
	收成	尾數	29	5	2	10	24	85		
		重量	11.90kg	2.22	0.68	2.34	3.06	20.20	17.90	38.10
養成率			100%	100	66.67	41.67	100	82.35		
B 3 (679)	放養	尾數	41	7	4	34	34	120		
		重量	386.63g	45.92	600.00	161.50	301.55	1,491.43		
	收成	尾數	40	6	3	34	34	107		
		重量	44.08kg	8.17	2.55	6.85	6.58	68.23	28.30	96.53
養成率			97.56%	85.71	75	100	100	97.50		
B 4 (489)	放養	尾數	29	5	3	24	24	85		
		重量	273.47g	32.80	450.00	114.00	212.85	1,083.15		
	收成	尾數	26	5	3	24	24	82		
		重量	24.30kg	5.57	1.26	7.33	4.66	43.12	10.67	53.79
養成率			89.66%	100	100	100	100	96.47		
B 5 (388)	放養	尾數	23	4	2	19	19	67		
		重量	216.89g	26.24	300.00	90.25	168.53	801.91		
	收成	尾數	23	4	2	18	19	67		
		重量	23.13kg	4.30	0.95	7.97	5.25	41.42	6.35	47.77
養成率			100%	100	100	94.74	100	98.51		

10分鐘，取出水樣，各吸所需測定量注入三角瓶供各項目之測定。上下層水樣以丹麥製 pH meter (Type PHM 28) 測定其pH值。水樣經過離心主要是除去水浮游生物及雜質，以免影響測定之精確度。以濾紙過濾亦同；但所用濾紙必先用蒸餾水浸去所含之 $\text{NH}_4\text{-N}$ 以免影響測定之結果。水中之各化學營養成份常隨時間變化（尤其是磷），故所有測定項目除了總磷 (ΣP) 總氮 (ΣN) 有機質 (Organic matter) 及二氧化矽 (SiO_2) 外其他都在當天測定。

- ①水溫：在採水之同時以水溫計插入水管中測定之。
- ②電導度 (Conductivity)：以日製東亞 (TOA) (M-3M) 型電導度計測定。
- ③氧化還元電位差 (Eh value)：以日製東亞 Eh 計測定之。
- ④pH：以丹麥製 pH 計 (pHM28) 型測定之。
- ⑤透明度：以小型 Secchis disk (直徑5cm之白色小圓盤連在有刻度之小鐵棒上) 測定之。
- ⑥磷 ($\text{PO}_4\text{-P}$)：加酸性 Ammonium molybdate 於試水中使與 $\text{PO}_4=$ 形成 Molybdc-phosphoric acid，再以 SnCl_2 將該化合物還元為藍色之複合物。然後用 Spectronic 20 (美製 Baush & Lomb) 以比色法測定之。使用波長為 $690\mu\text{m}$ 。
- ⑦亞硝酸態氮 ($\text{NO}_2\text{-N}$)：加 Griess Romijn 試藥一小匙使變粉紅色之化合物以比色法測定之。使用波長 $520\mu\text{m}$ 。
- ⑧硝酸態氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$)：加食鹽飽和溶液，再加 Diphenylamin Solution 使生藍色化合物以比色法測定之。使用長波 $590\mu\text{m}$ 。
- ⑨亞摩尼態氮 ($\text{NH}_4\text{-N}$)：加 Nessler's Reagent 使生黃褐色之 $\text{O} \begin{matrix} \text{Hg} \\ \text{Hg} \end{matrix} \text{NH}_2 \cdot \text{I}$ 化合物以比色法測定之。使用波長 $410\mu\text{m}$ 。
- ⑩鹼度 (Alkalinity)：以 methyl-red 及 Bromcresolgreen 配成之混合溶液為指示劑以 0.1N 之硫酸 (H_2SO_4) 滴定至微紅色。
- ⑪溶氧 (dissolved oxygen)：以 Wrinkler method 測定。
- ⑫總磷量 (ΣP)：加 P.C.A. (HClO_4) 在電爐上緩緩以溫火加熱處理，稀釋後依測 $\text{PO}_4\text{-P}$ 之方法測定之。
- ⑬有機質 (Organic matter)：依 Micro Dichromate method for determination of organic matter in Pond water (Maciolek modification)。
- ⑭ Kjeldahl-N：加分解促進劑後在電爐加熱處理，用蒸餾水稀釋後依測 $\text{NH}_4\text{-N}$ 之方法測定之。
- ⑮二氧化矽 (SiO_2)：以已知濃度之鉻酸鉀 ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 溶液為對照，用 Nessler's tube 以肉眼比色測定之。

2. 浮游生物之測定

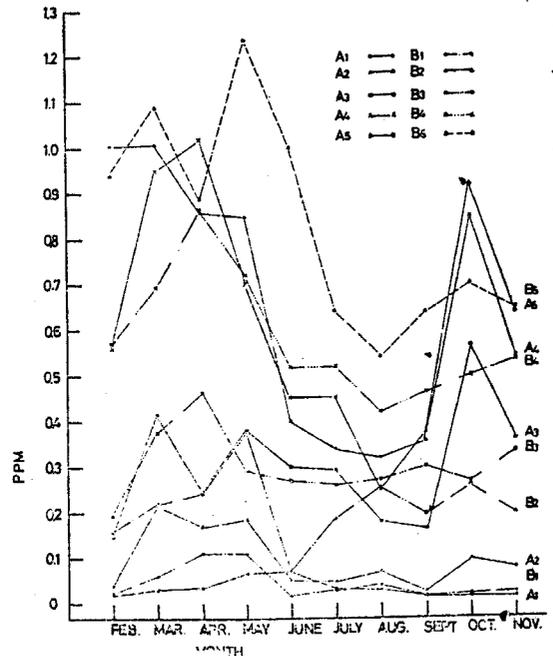
(1) 定量測定 (沉澱量法)：動物性浮游生物之定量是將經浮游生物網過濾所得的少量浮游生物水樣倒入有刻度的圓錐形沉澱管中，靜置24小時所得之容積 (cc數)。植物性浮游生物之定量是將所得各層水樣分別全部離心，所得之量以 mg/l 表示。

(2) 定性測定：動物性浮游生物是以定量浮游生物吸管取 1 cc 注放於玻璃片 (Slide chamber) 在顯微鏡下計算其種類及個數。植物性浮游生物是以吸管取一小滴 (約 $\frac{1}{3}$ ml) 經過離心沉澱下來之藻類樣品，在顯微鏡下部份計算其種類及細胞數後，換算以 cell/ml 表示之。

(丙) 捕魚收成：從1969年1月30日放養到11月24日清池捕魚，魚之生長期間約10個月。有少數死亡又有少數魚苗逃入試驗池 (以雜魚計算)、經測定全長、體重、尾數後其生產量、養成率見表四及五。

三、結果與討論

(一)磷 (Phosphorous)：由表六及圖 2 可知各試驗池水中之含磷量均隨所施過磷酸鈣之量而變動，施磷肥多的池所含的磷亦多。其中以B₅池之年平均含磷量最高為 0.834ppm 而A₁池(不施肥)最低 0.034ppm。一般說來在五月份以後各池含磷量都普遍降低至八月又再漸漸回升，可能因為在這期間水溫高，(平均水溫在28 °C 以上 33°C 以下)太陽光強，最適於植物性浮游生物 (Phytoplankton) 行光合作用故消耗較多的磷。九月以後水溫漸降，日光漸弱，植物性浮游生物同化作用較弱，耗磷較少故池水含磷量又有稍增的現象。根據全年各池磷之平均含量看來，除了A₁ B₁ (對照池) B₅ 外其餘七個池之含磷量均較預定之最高含磷量為高，這是因為各池在試驗期間水深都較預定的為低的緣故。A₁ 池磷的年平均含量最低，為 0.034ppm B₁ 池次之 (0.044 ppm)，但兩池的魚產量有顯著之差別，A₁ 池1256.9 kg/ha，B₁池 524.6 kg/ha (表四、表五)。其原因可

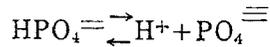
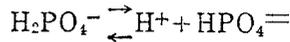
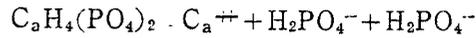


圖二 各試驗魚池溶磷(PO₄-P)月平均之年變化

表六 各試驗池中磷 (PO₄-P) 之月平均含量 (ppm) 及全年動態
() 內數字表各月測定次數

池號	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
二 月 (7)	0.022	0.041	0.144	0.560	1.056	0.023	0.158	0.192	0.569	0.939
三 月 (9)	0.029	0.215	0.414	0.952	1.094	0.060	0.216	0.378	0.694	1.089
四 月 (8)	0.034	0.170	0.245	1.022	1.858	0.109	0.245	0.464	0.864	0.886
五 月 (9)	0.066	0.185	0.379	0.701	0.850	0.107	0.394	0.294	0.719	1.240
六 月 (9)	0.070	0.051	0.300	0.453	0.396	0.018	0.089	0.270	0.522	1.021
七 月 (9)	0.049	0.049	0.294	0.453	0.343	0.030	0.183	0.262	0.524	1.637
八 月 (8)	0.030	0.069	0.213	0.248	0.322	0.037	0.254	0.283	0.422	0.538
九 月 (8)	0.013	0.044	0.265	0.412	0.387	0.014	0.196	0.302	0.455	0.644
十 月 (9)	0.015	0.098	0.568	0.852	0.917	0.020	0.261	0.269	0.503	0.702
十一 月 (6)	0.013	0.079	0.362	0.541	0.636	0.026	0.201	0.335	0.538	0.647
年平均量(X)	0.034	0.100	0.318	0.619	0.668	0.044	0.220	0.305	0.581	0.834

方面由作為魚類食料的動植物性浮游生物以至魚的本身都含有磷。水中之磷是最重要的元素，因為它多方面影響生物的產量，又因在天然水中含量極微，很容易變為水中各種生物生長的限制因子（Limiting factors）（Hutchison, 1957）。近年來魚池施用的磷肥都是過磷酸鈣〔 $C_{12}H_{10}(PO_4)_2$ 〕，含有18%之磷肝（ P_2O_5 ），溶入水中後就會逐步解離如下：



其解離程度以及和其他物質化合的情形主要視水中之 pH、alkalinity、及其他如 Ca^{++} 、 Fe^{++} 、 Al^{+++} 等濃度而定。魚池施用磷肥後有一部份磷在數秒鐘內即被植物性浮游生物及菌類吸收供作生長繁殖之用。磷之含量在當天或第二天達到最高，以後逐漸減少至第 5~6 天最低（林正男 1968）。當然其變化的弧度會受植物性浮游生物的量、水溫、雨量及魚池其他化學條件的影響。相反的葉綠素的量却隨磷之減少而增加，這是由於植物性浮游生物因吸收磷而增加。磷除了被植物性浮游生物利用外還會被底泥（Bottom soil）吸收（Hepher, 1958）或沉澱為磷酸鈣〔 $Ca_3(PO_4)_2$ 〕（Matida, 1956; Hepher, 1958）或為磷酸鐵、磷酸鋁等複合物；也有被吸附在底泥之氫氧化鐵膠中者（Ohle, 1937; Einsle, 1938）所有這些變化會使加入池中的磷消耗掉一部份。濃度愈高這種作用愈快。但根據筆者今年（1970年）度的磷肥殘餘效應試驗資料得知，在施肥很重的魚池，這些沉積底泥中的磷酸複合物（如磷酸鈣、鐵、鋁等）能够部份被水溶解出來（表七），其溶出量與去年的濃度比較各不相同，可能因各池的池底組成及各種化學條件有關。其中 A_3

表七 各試驗池中之總施肥量全年磷之總含量及其滲出量之百分比

池 號	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
1969年 全年施用磷肥總量 (kg/ha)	0	1040	2040	6090	10230	0	1040	2040	6090	10230
1969年 全年含磷年平均含量 (ppm)	0.034	0.100	0.318	0.619	0.686	0.044	0.220	0.305	0.581	0.834
1970年 含磷月平均含量(3月5日至4月9日) (ppm)	0.007	0.006	0.0108	0.214	0.202	0.012	0.009	0.014	0.086	0.235
1969年 含磷年平均量與 1970年 含磷月平均量之百分比	20.6%	6%	2.5%	34.6%	29.4%	27.3%	41%	4.6%	14.8%	28.2%

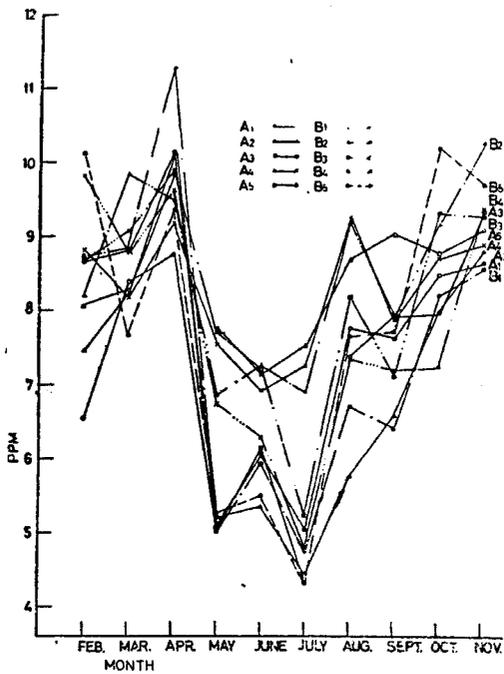
池只有去年濃度的 2.5%，而 A_3 的產量最高。筆者推想是否因為 A_3 之化學條件及底泥好，施放的磷肥極大部份被植物性浮游生物利用掉而發生沉澱現象少。磷在池中之各種生物的、化學的變化途徑相當複雜，至今尚有許多問題不能明瞭。Karzinkin 和 Skekhanova (Nipolsky, 1963) 曾用放射性 P^{32} 來試驗魚類是否直接吸收水中之離子元素。他們發現磷離子不但由消化管被血液吸收，而且通過鰓及皮膚而透入魚體內。如果以 P^{32} 來更進一步確定明瞭磷在魚池中的變動途徑以及被利用或沉澱的情形則可由施肥量來預測魚產。魚池之最大施磷量（Optimum dose of Superphosphate）即在單位面積能獲得最高魚產量所需要之磷肥量據林書顏先生（1968）之報告是在 1030 kg/ha，但竹北分所 1969 年施肥試驗是 A_3 池施 2040 kg/ha 之魚產量高（1664.02 kg/ha），可見最大施肥量常因各魚池之條件而有變動。如以經濟的觀點來說，磷肥的效用隨量之增加而減少，例如每公頃施 100 公斤的磷肥則其轉換率（Conversion rate）為 1（磷）：2.1（魚），但如每公頃施 500 公斤磷肥時轉換率則為 1（磷）：0.8（魚）。故根據林書顏先生之報告最經濟之施磷量在 444~666 kg/ha 之間。一般淡水湖中溶存之可溶性磷量為 0.005~0.05 ppm（

西條, 1962) ; 德國北部各湖可溶性含量甚高平均為 0.47ppm (Hutchinson, 1957) ; 台灣全省各地區魚池及湖沼之 PO_4-p 平均含量為 0.132ppm (Liaw 1967~1968) 。此與 (Moyle, 1946) 認為之魚池最適當 PO_4-p 為 0.1~0.2ppm 略有差異。如果比較 10 個魚池中魚產量之高低順序與水中含磷量之多少, 可發現魚池中磷量之多寡並不能完全作為魚產量高低之判定。因為磷在數秒鐘內即可被浮游生物吸收, 含磷量多的魚池可能是藻類少, 被吸收消耗的磷量少而不減少, 含磷量少的魚池可能是被池中大量浮游生物吸收利用而減少。因此即使同時測定同量施肥的同大魚池 (但其浮游生物量有大差異者) 其測定結果將有差異。故筆者認為要正確比較水中含磷量之多寡以與單位面積魚產量相配合作為決定魚池最適當之磷含量時, (1) 先要明瞭磷之變動曲線, 也就是施磷後含量由最高變至最低之情形及 (2) 測定浮游生物量之多寡。這樣才能正確明瞭池水中含磷量多少的原因而推定魚池的好壞。施肥的目的在增加水中的磷, 使浮游生物能獲得足夠的磷以作最大程度的生長繁殖之用。磷在魚池中被利用及沉積之情形受日光、水溫、浮游生物之種類數量、及魚池之物理、化學、生物、底質等之影響。換言之即水中磷之變化弧度常因季節及各池種種條件不一而有變動。了解這點後可在研究施肥之水質分析、浮游生物測定、及施肥的方法上加以改進。首先要決定在某季節某魚池特定條件下之變動弧度, 其次作浮游生物測定, 明瞭其最高量至最低量之變化情形、時間及維持最大浮游生物產量的時間。由水質及浮游生物測定結果可知在此種條件下維持浮游生物達最高產量的磷肥量及施肥後幾天必須再施肥以能充足供應浮游生物保持最高產量之濃度。由此可決定施肥之時間間隔及施肥量而把握磷肥之最大經濟功效。

(二) 溶氧 (dissolved oxygen) : 由圖三及表八可知從 2~4 月間除 B_5 池氧氣減少外其餘各池均增加, 可能在這期間各池有水綿發生 (A_1 有植物性浮游生物), 含有豐富的葉綠素, 光合作用旺盛而放養之魚類因水溫低, 食物不夠, 未能迅速生長。另因魚體尚小由呼吸作用而消耗之氧不多, 再加上大氣的擴散作用所以各池之溶氧均相當高而且逐漸上升。4~5 月所有各池之月平均含氧量均大大降低 (由 4 月之各池總平均 9.78ppm 降至 5 月之 6.28ppm, 相差 3.5ppm 之多), 原因可能是在這期間水溫漸高, ($23^{\circ}C$ 以上) 池中之浮游生物也因水中磷量之增加開始大量繁殖, 日光受池面植物性浮游生物之阻隔不能穿射到池

表八 各試驗池溶氧 (D.O.) 之月平均含量 (ppm) 及全年之平均動態
() 內數字表各月測定次數

池號 月份	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
二月 (7)	6.55	7.47	8.66	8.82	8.07	8.73	8.20	8.70	9.83	10.13
三月 (6)	8.40	8.22	8.81	8.18	8.29	8.83	9.85	9.09	8.80	7.68
四月 (8)	8.77	10.16	10.15	9.20	9.85	11.28	9.50	9.91	9.63	9.38
五月 (9)	5.60	5.20	5.04	7.57	7.78	5.03	6.87	7.73	6.75	5.26
六月 (9)	6.08	5.29	6.16	6.93	7.15	5.95	7.28	7.23	6.30	5.51
七月 (9)	5.05	4.43	4.38	7.26	7.54	4.77	6.91	5.24	4.81	4.50
八月 (8)	7.79	5.79	7.40	9.28	8.71	6.73	9.23	8.21	7.37	7.68
九月 (8)	7.64	6.60	7.93	7.90	9.05	6.42	7.93	7.14	7.21	7.73
十月 (9)	8.51	8.02	8.00	8.74	8.80	8.23	9.20	9.35	9.27	10.22
十一月 (6)	8.86	8.85	9.36	8.86	9.11	8.60	10.30	9.31	9.40	9.73
年平均量 (X)	7.3	7.0	7.6	8.3	8.4	7.5	8.5	8.2	7.9	7.8



圖三 各試驗魚池溶氧月平均之年變化

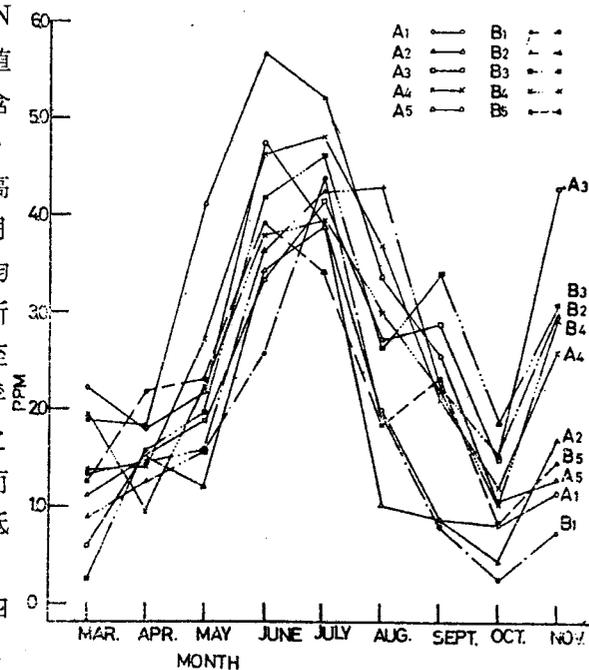
底，因之生長在池底之大量水綿開始死亡、腐爛、分解，在此過程中大量的氧氣被消耗了。另外魚類也因水溫升高，有足量的食物（指浮游生物）故生長迅速，呼吸作用旺盛消耗較多的氧。從5到6月各池的氧氣含量變化不一，有的增加有的減少，但變化之幅度不大，都在1.1ppm以下。6月到7月除A₁A₅略升外，其餘各池均降低而達全年最低之含氧量（各池7月總平均5.49ppm），其中A₂A₃月平均含氧量最低各為4.43ppm及4.38ppm。7月份是全年水溫最高的時期（平均在32°C左右），水綿的腐敗分解可能最為迅速，而魚的生長速度最快，呼吸作用需要消耗大量的氧氣，因之氧氣的含量達到全年最低量。但此對魚之生長毫無不利的影響。據H. Swingle之意見認為池塘養魚氧氣在3ppm以上就不會阻礙其生長，七月到八月氧氣各池均上升可能因為水綿等有機物之分解漸漸減少且藻類光合作用所產生的氧氣漸多而增加了水中溶氧。八月到九月變化不一，幅度不大。九月到十月除A₅略降外其餘各池均增。十月至十一月除B₅及B₃略降外其餘各池均增，各池溶氧含量都在8.7ppm以上，最高10.3ppm。

總體來說所有十個魚池之含氧量均不致對魚之生長有不利之影響。

(三)有機氮 (Organic Nitrogen)：是Kjeldahl-N (包括Organic Nitrogen和NH₄-N) 減去NH₄-N之值，也就是魚池中之浮游生物及懸浮於水中所有物質之含氮量。通常可由有機氧之含量約略推斷浮游生物的量。由表九及圖4知10個試驗池中全年有機氮平均含量最高的是A₅ (2.72ppm) 最低的為B₁之1.50ppm。從3月到4月A₁A₂A₅B₄等池之月平均含量稍減，其餘各池均增加。4月到5月除A₂外各池均增加。5月到6月所有各池之有機氮月平均含量均大增（由2.17ppm增至3.98ppm，增加幅度1.81ppm）。由此推測植物性浮游生物之大量發生，大概是從5月開始，6月至7月之總平均含量仍在增加（由3.98ppm增至4.24ppm）而達全年之最高量。7月以後漸減而至10月達全年之最低平均量（1.05ppm）。11月比10月稍高一點。

(四)生產量 (Fish yield)：各池生產量（詳見表四表五）如依高低順序排列則為A₃A₄A₅B₃A₁B₅A₂B₄B₂B₁。A區平均產量為1432.11 kg/ha。B區平均產量為1012.60kg/ha。A區比B區平均每公頃增加約420公

斤。似乎B區加施氮肥，生產量反而減低。但如以A₁作為A區各池之對照；B₁為B區之對照比較，則B區之每公頃平均增產量百分比都比A區高。由此看來加施氮肥似乎有效果。又如以A₁和B₁魚產量之平均作為所有各池魚產量的對照則A區之各池增產百分比則又高，加施氮肥效果似乎又不顯著（詳見表十）



圖四 各試驗魚池有機氮月平均之年變化

表九 各試驗池中有機N(Organic Nitrogen)之月平均含量(ppm)及全年之平均動態 () 內數字表各月測定次數

池 號	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
三 月 (2)	2.22(1)	1.115	0.610	1.39(1)	1.88(1)	1.330	0.890	0.275	1.93	1.260
四 月 (4)	1.795	1.513	1.468	1.410	1.813	1.428	1.259	1.500	0.945	2.779
五 月 (4)	2.180	1.223	1.875	2.718	4.105	1.590	1.565	1.955	2.208	2.295
六 月 (5)	4.673	3.430	3.324	4.623	5.652	2.580	3.632	4.180	3.768	3.910
七 月 (4)	3.841	3.878	4.150	4.801	5.206	4.376	4.237	4.610	3.915	3.423
八 月 (4)	2.002	1.020	2.720	3.680	3.370	1.927	4.287	2.638	3.00	1.848
九 月 (4)	0.870	0.873	2.880	2.095	2.558	0.798	2.233	3.410	2.213	2.260
十 月 (4)	0.815	0.439	1.488	1.195	1.080	0.255	1.533	1.863	1.035	0.805
十一 月 (3)	1.350	1.713	4.280	2.588	1.490	0.738	2.977	3.073	2.957	1.470
年平均含量 (X)	2.194	1.689	2.28	2.45	2.72	1.50	2.26	2.35	2.20	1.93

表十 各試驗池與對照池比較之魚產增產百分率 (%)

池 號	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
與對照區之比較										
以A ₁ 為A區之對照B ₁ 為B區之對照作比較之增產百分率			13.2%	12.5%	12.1%		15%	27.1%	21%	23.5%
以 (A ₁ +B ₁) ÷ 2 為對			12.9%	18.7%	17.6%	17.1%	8.8%	16%	12.3%	13.8%

四、結 論

- (1) 魚產量之高低不能完全以水中含磷量之多寡作為判定。
- (2) 魚池施用磷肥後有殘留效應存在。
- (3) 根據竹北分所施肥試驗，魚池水深一公尺全年每公頃過磷酸鈣之最適施放量為2000公斤。
- (4) 養魚池加施氮肥是否必要，須再作研究。

五、謝 辭

本文承蒙農復會陳同白先生、袁柏偉先生、林書顏教授之熱心指導、修正與鼓勵，鄧火土所長時加指

導並提供寶貴參考資料，日本淡水區水產研究所里見至弘博士、杉目宗尚、伊藤時夫、東井純一等專家之技術指導及觀念之啓示，得以完成。謹致最深的謝意與敬意。試驗期間竹北分所長劉嘉剛先生曾熱心日夜幫忙，其他臺灣大學林曜松、陳弘成、吳榮富等曾對本文提供有價值的意見，在此一併致謝。對竹北分所同仁之密切合作與協助也更深感激。

參 考 文 獻

- Hutchinson, G. E., 1957 A Treatise on Limnology. Vol. 1. Geography, Physics, and Chemistry. John Willy, N. Y.
- Hepher, B., 1958 On the dynamics of phosphorus added to fish pond in Israel. *Limnol. Oceanogr* 3(1):84—100
- American Public Health Association, 1961 Standard methods for examination of water and wastewater.
- Hickling, C. F., 1962 Fish culture, 295 pages. Faber and Faber, London.
- Lin, S. Y. and Chen, T. P., 1966 Increase of production in freshwater fish ponds by use of inorganic fertilizers. Proceedings of the World Symposium on Warm-water Pond Fish Culture, FAO Fisheries Report No. 44, 3: 210—225 p. Rome.
- Hepher, B., 1966 Some Limiting factors affecting the dose of fertilizers added to fish ponds, with special reference to the Near East. Proceedings of the World Symposium on Warm-water Pond Fish Culture, FAO Fisheries Report No.44, 3: 1—6 p.
- Frey, Favid G., 1966 Limnology in North America. The University of Wisconsin Press.
- Liaw, W. K., and Lin, C. N., 1967 Chemical and biological studies of fertilized ponds and lakes. *China Fisheries* No. 174, 3—9p.
- Lin, S. Y., 1968 Pond fish culture and the economy of inorganic fertilizer application. *JCRR Fisheries* No. 6 37p.
- _____ Primary productivity and fish yield. *JCRR Fisheries* No. 9 58—69p.
- Lin, C. N., 1968 Phosphorus dynamics in fertilized ponds. *China Fisheries* No. 181, 5—9p.
- Liaw, W. K., 1969 General features of water quality and biological aspect of some fresh water fish ponds in North Taiwan *JCRR Fisheries Series*: No. 8 21—29p.
- 西條 八 東 1962 湖沼調査法
- 日本分析化學會北海道支部 1966 解説水の分析
- 林 書 顏 魚池施放磷肥的重要 *中國水產* 161 期 2—6 頁
半 谷 高 久 水質調査法

ABSTRACT

The purposes of the fish pond fertilization experiment carried out at Chupei Fish Culture Institute and sponsored by the Joint Commission on Rural Reconstruction (JCRR) are (a) the most suitable amount of superphosphate to be added to the fish pond per unit area. (b) the effects of various phosphorus concentrations to the increase of fish production. (c) the possibilities of increasing fish production by adding nitrogen fertilizers in addition to the phosphorus fertilizers.

The experiments were carried out from January to November, 1969, and the findings we obtained are as follows:

1. The fish production of a pond is not proportionally depends on the phosphorus concentration of the pond.
2. There are great effects of phosphorus fertilizers (super-phosphate is most commonly used) in the increasing of fish production especially the production of silver carp.
3. There are residual effect of phosphorus fertilizers (super-phosphate) after a period of application.
4. According to the data obtained, the most suitable amount of p-fertilizer (superphosphate) to be used in one hecter of fish pond of approximately 1m in depth is 2000kg.

