

# 青蛙冬眠之研究

## STUDIES ON THE HIBERNATION OF FROG

繆端生 · 呂明雄

Tuan-Sheng Miu and Ming-Shyong Leu

### 一、緒 言

動物界常有休眠 (Dormancy) 的現象，它有二種不同的形式；一爲夏伏 (Aestivation)，一爲冬眠 (Hibernation)。冬眠是生態問題，同時也是生理問題。冬眠現象至今未能說明，故「冬眠」二字很難下出它的定義來(7)(1)(5)，作者在本文乃專就青蛙的冬眠現象加以研究分析。

冬眠在理論上或應用上都有研究的必要；因爲冬眠的研究如有成就，吾人就可進一步對非冬眠動物 (Non-hibernator) 用人工方法作冬眠試驗，關於這方面的試驗前人發表的報告甚多(25)。更進一步把冬眠生理的現象應用到人類，以發展人工冬眠療法。在1951年 Laborit 等將 Chlorpromazine (註1)，投與動物後，動物體溫就顯著地降低，以達昏迷狀態而引起人工冬眠 (Artificial Hibernation)(31)，當 Laborit 的人工冬眠療法施行成功之後，在醫學上的貢獻可謂不淺。諸如外科方面可利用冬眠以代麻醉(31)，藉此在外科方面可得甚大的應用和幫助。其他臨床的應用如精神科、婦產科、內科、皮膚科、小兒科等均可應用人工冬眠療法(31)。以治療慢性病，並且病人都可在冬眠狀態下治療疾病。此乃冬眠探究重要性之一。又冬眠狀態下，動物的代謝作用減慢，能量消耗甚少，心臟活動甚微，在這種情況之下，冬眠可以延長壽命，此乃冬眠探究重要性之二。再次說到太空旅行需要冬眠，以適高空生活，此乃冬眠探究重要性之三。最後，我們可從冬眠之探究，以發展「冬眠戰爭」；即利用冬眠的原理與特性，發明一種無毀滅性的方法，以使敵人產生冬眠的昏睡狀態，藉此可達到制勝敵人的目的，此乃冬眠探究重要性之四。

動物界中無脊椎動物會冬眠的，有軟體動物如蝸牛，節肢動物如甲殼類、昆蟲類、蜘蛛類、百腳類。脊椎動物會冬眠的，有兩棲類的青蛙，陸生爬蟲類，如蛇、龜和蜥蜴，哺乳類有食蟲目如刺猬 (Hedgehog)，翼手目如蝙蝠，齧齒目的幾種動物如土撥鼠 (Woodchucks)、松鼠 (Ground Squirrels)、眠鼠 (Dormice) 和草狗 (Prairie dogs) 等，這些動物的冬眠常與環境溫度有密切的關係。Riedesel 氏<sup>(2)</sup>把動物對於溫度的調節歸成三類型；一為「外溫型調節」(Ectothermic regulation)，如青蛙、龜等其體溫乃受外界環境的影響而改變的。當牠暴露於寒冷的地方就進入冬眠狀態，當牠放置於乾燥的環境下就行夏伏，以達其適應之目的。二為「內溫型調節」(Endothermic regulation)，如白鼠、狗等其體溫乃決定於體內代謝作用 (Internal metabolism) 牠的體溫調節是直接受下視丘 (Hypothalamus) 的控制而達其適應之目的。三為「雜溫型調節」(Heterothermic regulation)，如土撥鼠 (Hamster) 和一些蝙蝠，牠們具有性能可使內溫型調節改變成外溫型調節，是利用二種不同的溫度調節能力來控制，以達到其適應之目的。

關於冬眠的起因，至今尚未闡明。一般認為冬眠係由外因和內因而引起的。屬於外因的有：(一)溫度；早在 1920 年 Buffon 和 Lacedepede 氏主張由於動物體內所產生之熱量，不足以適應環境溫度之改變，於是血液漸漸變冷，因此動物體溫降低而開始冬眠<sup>(7)</sup><sup>(10)(11)</sup>。1926 年 Adler 氏發表寒冷為引起冬眠之原因，說明環境溫度是引起冬眠的主要原因。至於溫度對青蛙冬眠之關係，Holzapfel 氏 1937 年曾作試驗研究<sup>(7)</sup>，亦認為外界環境溫度為引起冬眠的一個主要原因。(二)食物 (Food)；由於食物之缺少或饑餓，可使冬眠容易產生<sup>(10)(11)</sup>。Johnson 氏在 1930 年發表過饑餓動物較飼食動物易於發生冬眠<sup>(7)</sup>。此乃動物受餓之後較易感受寒冬的緣故。(三)水分，由於環境水分之缺少，和體內所含水量之遺失，使水之代謝發生不平衡，均會引起冬眠。其次說到屬於內因的有：(一)肥胖，由於體內脂肪之堆積，而引起冬眠<sup>(10)</sup>。(二)神經系統的調節；由於體溫中心失去作用，使動物無法調節牠的體溫。Donaldson 氏 1911 年曾發表過青蛙 (*Rana pipiens*) 的中央神經系統，在冬眠時會減輕重量，而引起其生理機能之改變<sup>(4)</sup>。(三)內分泌腺的控制，由於甲狀腺、腦下腺、腎上腺、胰腺、胸腺和性腺等腺體組織的分泌機能發生變

化，如甲狀腺在多眠時分泌的膠體物質 (Colloid Substance) 減少(7)(11)，均能引起動物生理上的變化，這都說明內分泌腺與多眠是有密切的關係。

多眠的發生有以上諸原因，歸納其一般原因，現在的多眠學說大體如下：第一、「體溫調節機構不完全」說：動物所具的體溫調節系統是原始而不完全，因動物環境溫度之突然降低，不能抵抗與適應，所以便多眠起來。第二、「體內物質的增減」說：如 Dubois 氏的自身麻醉說 (Autonarcosis theory)，他主張正常動物與多眠動物血液中，氣體含量是不同的，他特別指出  $\text{CO}_2$ ，即多眠時血中  $\text{CO}_2$  量增加，或由於動物大量放出  $\text{CO}_2$  在穴內，而使自己麻醉以引起多眠。又如內分泌腺機能的過高或過低(15)(21)均可能解釋多眠的發生。其他如 Soumalainen 氏認為多眠時動物的血糖 (Blood Sugar) 降低，同時血清中的鎂 (Serum Magnesium) 量增加(22)(26)關於血鎂量之增加， Riedesel 氏在 1957 年對哺乳動物 (蝙蝠) 曾作詳細的分析，並發表過「鎂離子影響學說」 (Magnesium Influence Theory)，主張血鎂量增加而引起多眠(21)。第三、「中樞神經系之控制」說：Prosser 氏認為中樞神經系即動物本身的一種自動溫度調節器(20)，他主張多眠乃自動溫度調節器的下降而引起的。同時又說體溫的調節是下視丘所控制的，因為一旦下視丘受冷即可引起其熱保存中心 (Heat conserving center) 和熱產生中心 (Heat generating center) 的作用改變，於是全身體溫發生變化而引起多眠。

前述多眠動物中，如蝸牛(14)、昆蟲類(1)(3)爬蟲類、食蟲目(15)(26)、蝙蝠類(21)(22)、齧齒類(9)(10)(15)等前人發表的報告甚多，但有關兩棲類者甚少(7)(12)，Holzapfel 氏 (1937) 認為多眠乃青蛙的年生活週期 (Annual Cycle) 中所經歷的一段時期，在這個年生活週期中，其內分泌腺的組織、腎臟、心臟、肌肉和血液均發生變化，所以他只對這些組織器官加以比較記述，和綜合說明(7)。本文作者於本試驗中為進一步觀察多眠青蛙的生理變化，乃作以下各項的試驗分析，即心電圖 (Electrocardiogram, E.C.G)、血鎂、腦含水量、血糖含量、心跳、呼吸、體重和脂肪體 (Fat body) 重量等項。

作者在試驗中為觀察溫度與多眠之關係，乃就自然多眠與人工低溫處理，分別作分析和研究。同時作者根據 Donaldson 提出中樞神經系重量之減少，與水份遺失的兩點，進而測定腦含水量，以觀察多眠與正常時腦含水量是否不同。同時為明白多眠時血糖

和血鎂增加是否有種別的差異性，作者乃以二種不同的青蛙，作實驗分析。

## 二、材料與方法

本試驗中所用青蛙為金線蛙 (*Rana plancyi* Lataste) 和尖鼻赤蛙 (*Rana narina* Stejneger)。前者用為自然冬眠試驗，後者用為人工低溫處理試驗，藉以比較二種不同種的青蛙在低溫時，血鎂和血糖之變化。本試驗中自然冬眠，在十一月至三月上旬之間進行。低溫處理則在三月中旬至四月底進行。青蛙用於自然冬眠試驗之前，先經放置於土洞內，外界環境溫度約為  $10-15^{\circ}\text{C}$  左右，不給與食物，時間經過二週然後取作自然冬眠試驗分析。人工低溫處理試驗所用青蛙，乃放置於冷藏室亦不飼與食物，經處理二週後作試驗分析。青蛙在土洞內及冷藏室內均需相當之濕度，否則皮膚乾而消瘦(24)。在各組試驗進行時青蛙均取大小體重相近，並一律取用母蛙，目的在減少個體和性別差異。整個試驗所用青蛙數量約 230-250 左右。

本試驗分冬眠的生態觀察與生理的實驗分析二大項目。對於生態觀察方法，作者經常觀察冬眠青蛙與低溫處理青蛙的生態現象。並注意觀察野外青蛙何時開始冬眠，何時醒來，同時注意冬眠開始與冬眠蘇醒的環境溫度。對於生理的實驗分析方面，作者分「自然冬眠組」與「低溫處理組」二種不同情形加以研究。在自然冬眠組裡分別對體重、脂肪體重量、呼吸、心跳、腦含水量、血糖、血鎂和心電圖等項加以分析，並在每一分析項目分別作「冬眠前」、「冬眠中」、「冬眠蘇醒中」和「冬眠後」(註 2)之比較。在人工低溫處理試驗組裡，分別在三個不同溫度的冷藏室進行，第一室為  $0-5^{\circ}\text{C}$ ，第二室為  $5-10^{\circ}\text{C}$ ，第三室為  $10-16^{\circ}\text{C}$  (註 3)，在這三室同樣作呼吸、心跳、腦含水量、血糖、血鎂之分析。除心電圖之記錄外，每隻青蛙可以按順序(1)測定呼吸，(2)記錄心跳，(3)採血(用於血糖及血鎂之定量)，(4)體重測定，(5)切取脂肪體，(6)取腦以作實驗分析。

青蛙呼吸數之測定，除觀察記錄青蛙下顎喉部之運動外，作者更精確地用「心尖夾」攝住下顎之喉部，使青蛙保持正常姿勢 (Normal posture)，用記紋鼓 (Kymograph) 記錄其呼吸曲線，藉以比較在單位時間內不同情況下的呼吸頻率。

心跳活動之測定，青蛙先行穿刺破壞其中樞神經系統後，用剪刀剖開胸腔(註 4)使

其心臟露出，撕破圍心膜 (Pericardium)，用「心尖夾」夾住心尖部，懸吊心臟於 Engelman 氏懸吊槓杆之一端，同樣用記紋鼓以記錄其心跳曲線。

關於採血作者經多次嘗試始獲解決，因兩棲類的凝血時間甚短，即凝血甚快，不易用小注射針筒抽取，所以在剖開胸腔和腹腔後，先以乾淨紗布或濾紙將其體液 (Body fluid) 吸乾，再用剪刀在心房與大動脈交接處剪破，使血流出，然後迅速用乾淨的吸血管 (測定血紅素所用者)，一次一次地將血吸入試管中，直至無血為止。一隻青蛙之採血量很少，約 0.5cc 左右，故作者將數隻青蛙之血收集一起(21)，即每十隻採血量放在一個試管內保存，總共十隻青蛙之採血量約 5cc 左右，保存之前需經過離心機分離，取血清於他只試管內，試管以軟木塞塞好並用石臘密封之(21)，以防管壁凝結水滴，使不發生溶血現象，以免影響定量結果。經石臘封存之試管乃放於  $5^{\circ}\text{C}$  以下之冰箱冷藏保存，以供血糖和血鎂之測定。

採過血之青蛙放於一燒杯中，用天秤稱其重量，減去燒杯重即其體重 (註 5)，稱過體重，記錄之後把脂肪體切下，置於小稱瓶 (Weighing bottle) 內，再用分析天秤稱之，所得之重量減去稱瓶重量，即得脂肪體重量。最後，便是取腦，其剪取方法如下：以剪刀分別在口的二邊，沿口角剪開至鼓膜處為止，然後使青蛙腹面朝上，分開下顎，把口腔皮膜切去，使易露出 L 形之副楔骨 (Parasphenoid bone)，此時以剪刀在枕骨與第一頸椎交接處剪斷，從枕骨大孔所見者即延腦部分，再由枕骨大孔開始，沿延腦兩邊之副楔骨向前剪開，小心勿弄碎腦部，切開腦腔後，從枕骨大孔開始的延腦到嗅葉之整個腦取下來，稱其重量  $W_f$ ，並置於  $100^{\circ}\text{C}$  (6) 之烤箱，經再三烘烤重量二次不變時，再取出稱其乾腦重  $W_d$ ，於是腦含水量  $W_c$  即可求出。然後再由  $W_f$  和  $W_c$  算出腦含水百分率。

血儀是採用 Orange 和 Rhein 兩氏(28)的光譜比色法 (Spectrophotometric method) 而測定，所用儀器是 Lumetron Clinical Photoelectric Colorimeter, Model 401-A，波長採用  $530\text{m}\mu$ ，直接在此比色計可讀出其透光度 (Transmittance) 來，然後以其讀數，從已知濃度的鎂溶液標準曲線 (Calibration Curve) 找出對應之鎂量，此即每 100cc. 血清中所含之鎂離子量。

血糖的測定是用比色法 (Colorimetric method)，比色計採用日製 Erma. Micro-Saccharimeter，把被測液放入比色刻度管，直接與標準糖分管比色之，其所得之讀數即表示每 100cc 血清中所含之糖分。

最後提到心電圖，心電圖主要在說明心臟活動的電位變化(8000)，本試驗記錄儀器，為德製 Siemens Cardiomat，電極為細小之針，以便插入皮下，先將青蛙固定於蛙板使腹部朝上，插入部位，前肢為上臂 (Upper arm) 之皮下，後肢為下腿 (legs) 之皮下，胸極 (Chest electrode) 乃插於胸骨 (Sternum) 尖端之下緣，試驗中之記錄，均選用 Lead V (Chest lead) 以記錄冬眠與高溫時心臟之電位變化。

有關統計的顯著性測驗均用「學生」氏之 "t" 測驗 (t-test) 求之(30)。

### 三、結 果

#### (I) 生態觀察：

金線蛙的自然冬眠，發生於十一月和來年的三月底之間，其時外界環境溫度約為  $10-15^{\circ}\text{C}$  左右，可以說十一月底至次年二月底為其深冬眠期，十一月上、中旬為其冬眠進入期，三月中旬以後就開始蘇醒，四月以後已可在田野看到完全蘇醒過來的蛙隻，並在夜晚到處可聞其鳴叫。冬眠時的外界溫度約在  $12-15^{\circ}\text{C}$  間，蘇醒時外界溫度約為  $15-18^{\circ}\text{C}$  間。關於青蛙冬眠棲息場所，作者發現石牆洞內、大石堆的空隙裡、土洞中、大樹根的洞內、都為其冬眠場地。在這些地方青蛙以睡眠姿態，把身體縮短背部弓彎起來而呈球形，以盡量減少熱的失散。同時前肢二臂摺存於下顎之下方，即頭部鋪貼在二隻前肢上，後肢摺靠於身軀，青蛙眼球縮入頭部眼窩內，眼睛與口腔部緊閉着，所以冬眠時是不採食的。青蛙冬眠時在洞內，有時會移動位置，亦即表示冬眠時有些含有不規則的覺醒，這同時說明冬眠時可以隨時加以刺激，而引起覺醒動作。

#### (II) 生理的實驗分析：

##### (甲) 自然冬眠部份：

1. 體重與脂肪體重之記錄：

表 1~1 各期之體重 (克)

情 況 號 體 重 碼	冬 眠 前	冬 眠 中	冬 眠 後
1	61.83	45.48	68.73
2	62.74	41.11	69.07
3	56.62	48.29	66.74
4	59.88	45.75	70.31
5	63.74	43.91	69.85
6	63.38	45.58	67.24
7	58.64	47.19	64.49
8	58.94	46.83	67.58
9	54.37	44.75	69.91
10	60.75	49.30	65.74
11	61.56	48.37	64.39
12	64.58	50.14	71.18
13	57.40	48.88	68.07
14	62.80	46.74	69.55
15	54.67	50.00	72.28
16	62.13	47.34	65.39
17	55.90	45.95	66.44
18	60.13	44.66	69.00
19	57.44	48.21	68.38
20	63.00	47.90	64.47
21	59.65	45.37	67.94
22	63.84	51.46	69.83
23	57.94	49.68	70.28
24	58.36	52.88	68.93
25	61.29	46.60	71.37
26	54.96	48.56	66.84
27	61.43	52.83	65.90
28	57.73	46.60	66.43
29	61.38	48.34	69.71
30	62.84	51.49	67.58
總 計	1800.42	1430.19	2043.62
平 均	60.014	47.673	68.1206

表 1~2 各期之脂肪體重 (克)

情 況 號 脂 肪 體 重 碼	冬 眠 前	冬 眠 中	冬 眠 後
1	0.74	0.25	0
2	0.436	0.2405	0
3	0.5145	0.371	0.005
4	0.552	0.1385	0
5	0.564	0.352	0
6	0.4827	0.3026	0.014
7	0.506	0.294	0
8	0.684	0.321	0
9	0.648	0.316	0
10	0.574	0.482	0
11	0.4037	0.262	0
12	0.479	0.274	0.02
13	0.702	0.378	0
14	0.537	0.0893	0
15	0.714	0.069	0.038
16	0.647	0.0749	0
17	0.638	0.2438	0
18	0.5893	0.175	0
19	0.594	0.305	0
20	0.498	0.2752	0
21	0.695	0.0982	0
22	0.559	0.0897	0.017
23	0.448	0.263	0
24	0.732	0.194	0
25	0.6747	0.357	0.005
26	0.723	0.1095	0
27	0.506	0.274	0
28	0.4946	0.269	0
29	0.675	0.357	0
30	0.5884	0.094	0
總 計	17.5983	7.3142	0.144
平 均	0.5866	0.2438	0.0048

由表 1~1 和表 1~2 可得下圖比較：

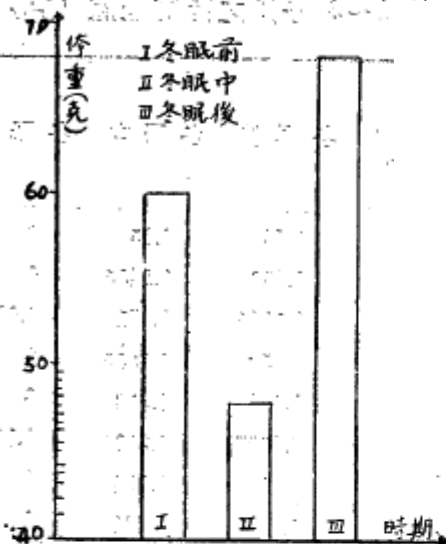


圖 1-1 體重變化

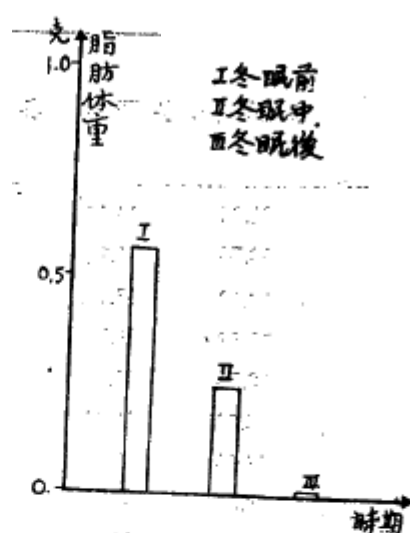


圖 1-2 各期脂肪體重變化

冬眠中之脂肪體重減少，至冬眠後，則不見脂肪體之存在，即使有也僅留餘跡，並呈薄膜狀，色比正常的來得淡。

由表 1~1 可得一個就體重為準的樣品分佈圖如下：

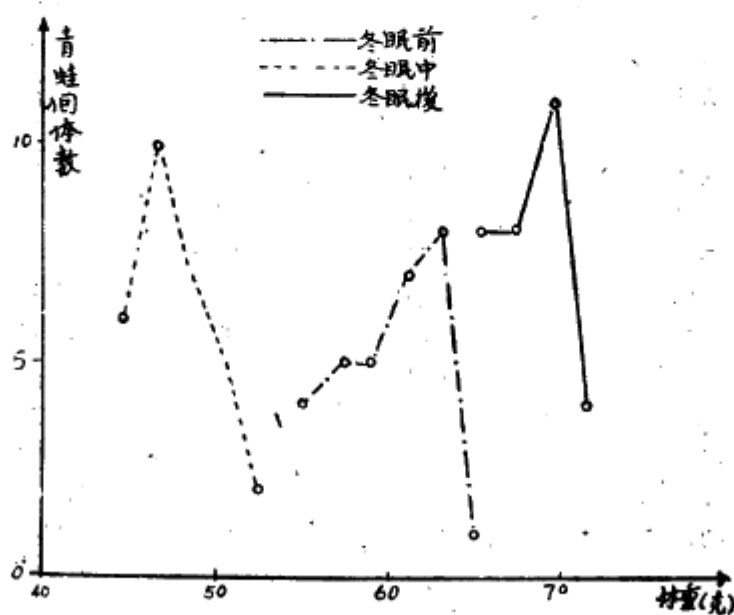


圖 1-3 體重樣品分佈圖



2. 腦含水量記錄:

表2~1: 不同時期之腦重、乾腦重及腦含水量:

時期 重量 號碼	前			中			後		
	Wf (克)	Wd (克)	Wc (克)	Wf (克)	Wd (克)	Wc (克)	Wf (克)	Wd (克)	Wc (克)
	腦重	乾腦重	含水量 百分比	腦重	乾腦重	含水量 百分比	腦重	乾腦重	含水量 百分比
1	0.05	0.007	86.9	0.0785	0.017	0.0565	0.0776	0.0106	0.067
2	0.056	0.01	82.14	0.0765	0.0185	0.058	0.0668	0.0178	0.0495
3	0.0585	0.018	75.7	0.067	0.011	0.056	0.0688	0.0047	0.0636
4	0.0495	0.017	65.66	0.056	0.002	0.054	0.066	0.008	0.058
5	0.040	0.0065	88.75	0.069	0.013	0.056	0.0594	0.0120	0.047
6	0.0648	0.0156	75.74	0.067	0.009	0.058	0.061	0.005	0.056
7	0.0595	0.013	78.15	0.068	0.007	0.056	0.0687	0.0122	0.0565
8	0.05	0.0065	87.0	0.054	0.007	0.061	0.078	0.011	0.067
9	0.054	0.012	82.22	0.061	0.006	0.055	0.0722	0.0124	0.0598
10	0.0565	0.007	84.07	0.072	0.015	0.057	0.0616	0.013	0.0486
11	0.066	0.0137	65.66	0.060	0.007	0.053	0.0628	0.007	0.0553
12	0.0765	0.0185	75.82	0.068	0.002	0.061	0.0657	0.0047	0.061
13	0.057	0.015	78.68	0.064	0.007	0.057	0.0685	0.0148	0.0542
14	0.059	0.006	89.88	0.0615	0.0095	0.052	0.0608	0.0087	0.0621
15	0.0631	0.0165	78.85	0.073	0.016	0.057	0.069	0.006	0.063
16	0.063	0.0192	69.52	0.061	0.011	0.050	0.0686	0.0164	0.0472
17	0.052	0.0047	90.62	0.050	0.009	0.041	0.0579	0.0076	0.0503
18	0.0618	0.0114	81.55	0.055	0.012	0.043	0.0647	0.0154	0.0493
19	0.0683	0.0137	76.50	0.0565	0.0145	0.042	0.0728	0.0106	0.0622
20	0.054	0.0142	78.70	0.057	0.0115	0.0455	0.0693	0.0152	0.0541
21	0.066	0.0189	71.36	0.053	0.0125	0.0405	0.0587	0.0054	0.0538
22	0.0703	0.0168	75.90	0.068	0.017	0.051	0.0675	0.0178	0.0502
23	0.051	0.0097	80.98	0.070	0.012	0.058	0.0586	0.0076	0.046
24	0.0533	0.0104	80.49	0.078	0.016	0.057	0.0527	0.009	0.0437
25	0.0473	0.0086	81.81	0.064	0.015	0.049	0.0697	0.013	0.0567
平均			78.468						
									88.84

由表 1~2 知各期含水量百分率不同, 今以下圖示之:

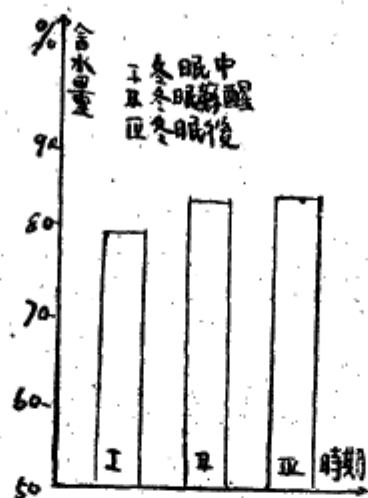


圖 2 各期腦含水量百分率

從圖 2 吾人對其含水量之差異性是否顯著，經統計而得知：

表 2~2 腦含水量之差異性：

冬眠中	}	$t = 2.864 > t_{(n=48, p=0.05)} = 2.008$ 故差異顯著
蘇醒時		
冬眠後	}	$t = 0.728 < t_{(n=48, p=0.05)} = 2.008$ 差異不顯著
冬眠中		

### 3. 血糖測定部份：

表3~1；不同時期之血糖含量：

號碼	情況 血糖量	冬 眠 中 mg/100cc	蘇 醒 時 mg/100cc	冬 眠 後 (25°C) mg/100cc
1		41	43	56
2		43	42	62
3		39	44	56
4		42	42	70
5		40	45	66
6		38	42	56
7		42	43	60
8		45	44	60

9	42	44	58
10	44	45	64
11	39	42	57
12	41	44	59
13	42	42	61
14	43	43	66
15	46	43	60
16	43	42	58
17	41	41	64
18	38	44	57
19	40	42	63
20	39	43	66
21	37	44	58
22	42	41	60
23	44	42	61
24	41	42	56
25	40	43	57
26	38	44	63
27	39	41	60
28	46	43	58
29	43	43	57
30	41	42	63
合 平	1239	1287	1812
計 均	41.3	42.9	60.4

由表 3~1 得各期血糖之平均數，以下圖示之：

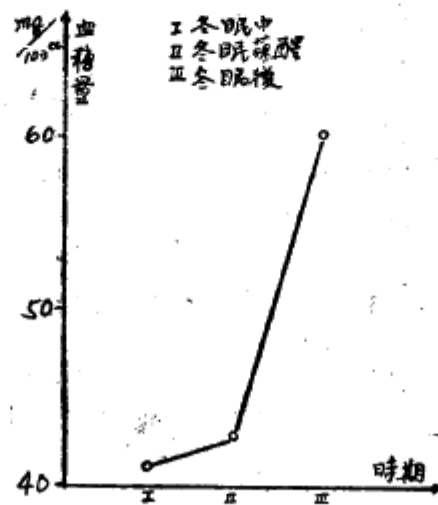


圖3 各期血糖之含量變化

進一步用統計方法測其差異顯著性而得：

表3~2：各期青血糖量之差異顯著性

冬眠中	}	$t = 8.595 > t_{\left(\frac{n=58}{p=0.05}\right)} = 2.000$ 差異顯著
蘇醒時		
冬眠後	}	$t = 26.71 > t_{\left(\frac{n=58}{p=0.05}\right)} = 2.000$ 差異顯著
冬眠中		

#### 4. 血鎂測定部份：

表4~1：各期之血鎂含量

次 數	時 期 測 定 量	冬 眠 中		蘇 醒 時		冬 眠 後	
		透 光 度 (%)	血 鎂 量 mg/100cc	透 光 度 (%)	血 鎂 量 mg/100cc	透 光 度 (%)	血 鎂 量 mg/100cc
1		63.6	2.60	58.5	1.63	53.2	0.63
2		63.1	2.51	58.2	1.57	53.6	0.70
3		61.6	2.22	59.5	1.82	53.2	0.63
4		63.3	2.55	57.3	1.40	52.8	0.55
5		63.7	2.61	58.7	1.67	53.0	0.59
6		61.4	2.18	58.1	1.56	52.2	0.43
7		61.8	2.26	57.4	1.42	53.3	0.65
8		61.6	2.22	58.5	1.63	53.6	0.70
9		61.5	2.20	57.2	1.39	54.3	0.83
10		61.5	2.20	59.6	1.84	54.0	0.78
11		62.6	2.41	58.5	1.63	53.1	0.61
12		62.5	2.40	58.8	1.69	52.4	0.47
13		62.8	2.45	58.8	1.69	52.3	0.45
14		63.2	2.52	57.6	1.46	53.3	0.65
15		62.3	2.35	58.4	1.61	52.7	0.53
合 計			35.68		24.01		9.20
平 均			2.38		1.60		0.61

由表 4~1 所得血鎂平均數量以圖示之：

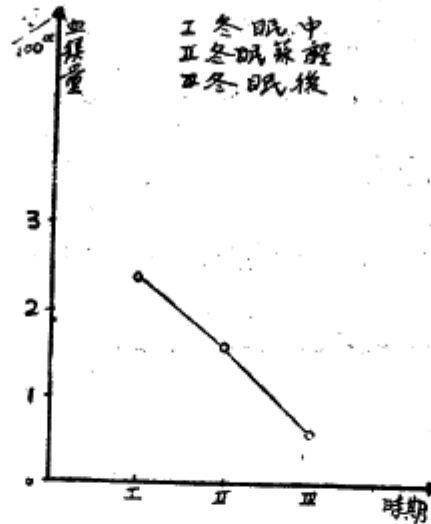


圖 4. 各期血鎂量之變化

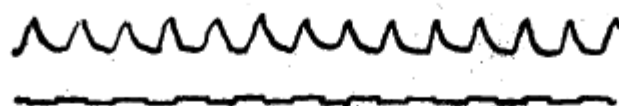
其差異顯著性表示如下：

表 4~2 各期血鎂量之變化差異性

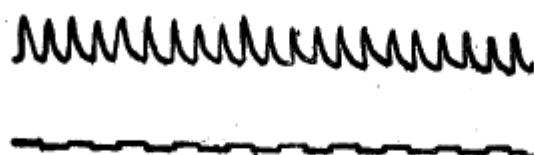
冬眠中	}	$t = 14.58 > t_{(n=28, p=0.05)} = 2.048$	顯著
蘇醒時			
冬眠後	}	$t = 21.396 > t_{(n=28, p=0.05)} = 2.048$	顯著
冬眠中			

5. 呼吸之記錄部份：

A. 冬眠中



B. 冬眠蘇醒



C. 冬眠後

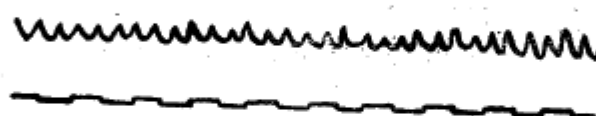


圖5-1 各期之呼吸運動曲線

自然冬眠青蛙呼吸之次數，經觀察而得；即冬眠中為每分鐘 40~45 次之間，平均可以 42次/60秒 表之。冬眠蘇醒時則為每分鐘 62~65 次左右，平均為 63次/60秒。冬眠後為每分鐘 90~95 次，平均為 93次/60秒。以此平均數可表示其呼吸運動曲線如後。

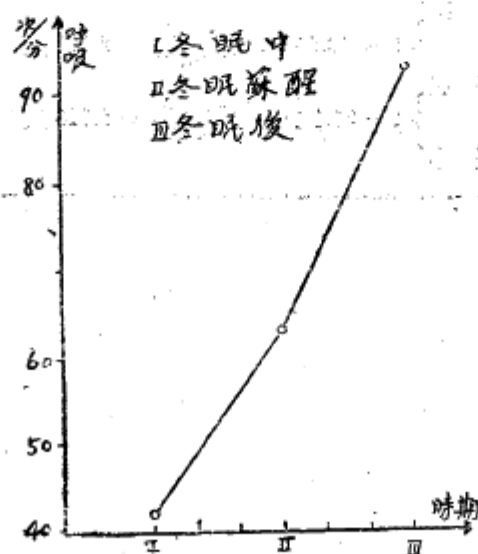
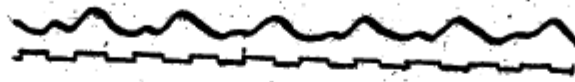


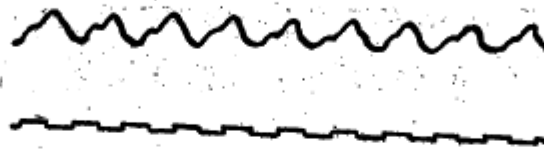
圖5-2 各期呼吸率之差別

6. 心跳之記錄部分：

A 冬眠中：



B 冬眠蘇醒：



C 冬眠後：

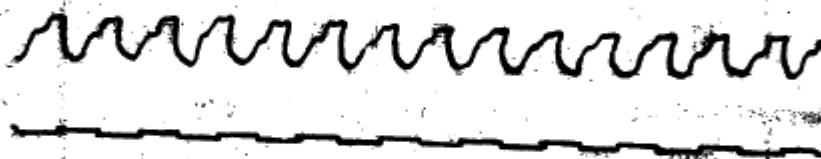


圖 6-1 各期之心跳曲線

自然冬眠時之心跳次數，冬眠中為每分鐘18次（16~20），冬眠蘇醒為每分鐘27次（25~28），冬眠後為每分鐘45次（42~46）。以上各期心跳之差別可用下圖示之：

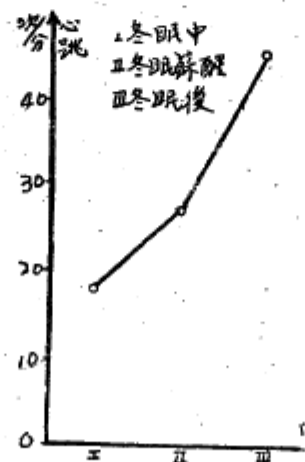


圖 6-2 各期之心跳變

7. 心電圖記錄部份：

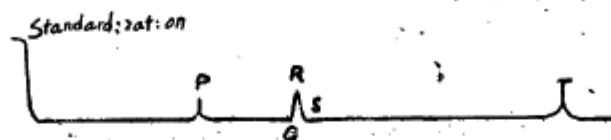


圖7冬眠期中之心電圖

將 P-Q wave, QRS complex 及 S-T wave 所經歷之時間算出如下：

表7 心電圖各波段之時間 (冬眠時)

項 目	時 間 (秒)
P-Q wave	0.48
QRS complex	0.08
S-T wave	1.20
合 計	1.76

乙、低溫處理部份：



1. 腦含水量：

表 8~1 不同溫度處理青蛙腦含水量變化

試 號	溫 度 重 量	0-5°C				5-10°C				10-15°C			
		腦 重 克	乾 腦 重 克	含 水 量 克	含 水 量 %	腦 重 克	乾 腦 重 克	含 水 量 克	含 水 量 %	腦 重 克	乾 腦 重 克	含 水 量 克	含 水 量 %
1		0.059	0.016	0.043	72.88	0.0303	0.0195	0.0411	67.82	0.0315	0.018	0.0485	70.73
2		0.0604	0.0093	0.0511	84.6	0.0314	0.0084	0.053	83.32	0.0392	0.009	0.0502	84.8
3		0.0624	0.0182	0.0492	78.85	0.0358	0.0075	0.0483	83.53	0.0391	0.0184	0.0507	73.37
4		0.0546	0.009	0.0456	83.52	0.0304	0.014	0.0464	76.82	0.0316	0.012	0.0496	80.52
5		0.0596	0.014	0.0410	68.79	0.0472	0.0083	0.0387	81.99	0.036	0.008	0.0515	88.55
6		0.0588	0.0151	0.0437	74.32	0.0433	0.0038	0.0346	78.82	0.0317	0.0106	0.0511	82.82
7		0.0511	0.0036	0.0415	81.21	0.0379	0.0087	0.0492	84.97	0.0391	0.0148	0.0443	74.96
8		0.061	0.012	0.049	80.33	0.0433	0.007	0.0413	83.51	0.0705	0.0168	0.0537	76.17
9		0.0537	0.0083	0.0454	84.54	0.0381	0.0168	0.0179	82.47	0.0379	0.0153	0.0526	77.47
10		0.0618	0.0182	0.0436	70.55	0.0391	0.0157	0.0434	73.48	0.0303	0.0033	0.051	84.58
11		0.0585	0.0153	0.0432	73.85	0.0318	0.016	0.0458	74.11	0.0396	0.162	0.0534	76.72
12		0.0498	0.0085	0.0413	82.93	0.48	0.0085	0.0335	82.23	0.0325	0.003	0.0585	85.60
13		0.0522	0.0124	0.0398	76.25	0.0321	0.0158	0.0468	74.53	0.0371	0.015	0.0521	77.65
14		0.0619	0.0162	0.0457	73.83	0.0481	0.0036	0.0385	80.04	0.0388	0.012	0.0568	82.56
15		0.0564	0.0128	0.0431	76.42	0.0319	0.017	0.0443	72.54	0.062	0.0128	0.0432	73.35
16		0.0626	0.019	0.0453	72.36	0.0379	0.0033	0.0483	83.94	0.0383	0.0031	0.0542	85.64
17		0.0596	0.0143	0.0399	65.27	0.0319	0.0121	0.0338	76.69	0.0351	0.007	0.0601	92.32
18		0.0559	0.017	0.0449	80.82	0.0366	0.0103	0.0457	80.74	0.037	0.0122	0.0548	81.79
19		0.0632	0.0183	0.0401	63.45	0.0386	0.0087	0.0499	85.15	0.0316	0.008	0.0533	87.04
20		0.0628	0.0195	0.0433	68.95	0.0353	0.0078	0.0487	86.19	0.0701	0.018	0.0517	73.75
合 計					1513.22				1600.96				1614.39
平 均					75.661				80.048				80.72

由上表之腦含水量百分率之平均數用下圖示之：

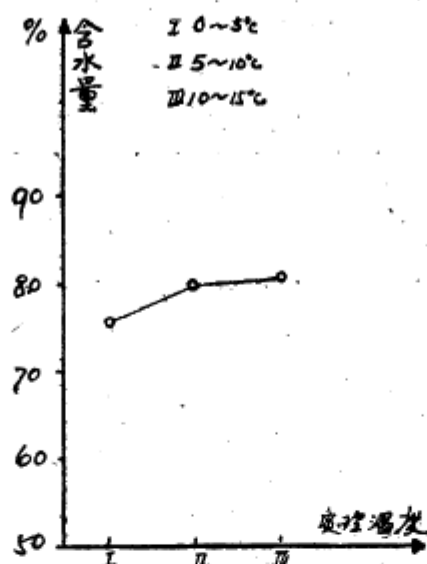


圖8不同溫度處理後腦含水量百分率

表 8~1 所示三者之腦含水量百分率的平均數，經統計而算出  $t$  值如下：

表 8~2 低溫處理腦含水量之差異性：

0-5°C	}	$t = 2.905 > t_{(n=40, p=0.05)} = 2.021$ 顯著
5-10°C		
10-15°C	}	$t = 0.378 < t_{(n=40, p=0.05)} = 2.021$ 不顯著
0-5°C		
0-5°C	}	$t = 2.726 > t_{(n=40, p=0.05)} = 2.021$ 顯著
0-5°C		

## 2. 血糖：

表 8~1 二種青蛙低溫處理之血糖量變化 (mg/100cc)

溫度青蛙 血糖量 號碼	0-5°C		5-10°C		10-15°C	
	I	II	I	II	I	II
1	41	38	40	45	48	48
2	40	44	38	48	45	49
3	38	40	41	46	40	53
4	40	39	39	47	42	50

5	48	41	42	44	44	52
6	41	38	45	48	43	49
7	37	45	38	45	41	48
8	34	45	40	45	42	52
9	40	40	42	46	44	51
10	35	43	38	48	50	49
11	39	44	36	47	43	48
12	36	42	44	44	41	52
13	40	40	37	45	42	51
14	36	44	46	46	43	48
15	37	45	40	48	50	53
16	40	42	35	48	40	48
17	39	44	45	43	42	50
18	37	39	39	47	40	48
19	42	41	45	46	48	49
20	36	43	43	47	51	52
合 計	771	881	813	923	885	1000
平 均	38.55	41.55	40.65	46.15	44.25	50
附 註	I: 金線蛙		II: 尖鼻赤蛙			

茲將上表之平均數，用下圖以比較之

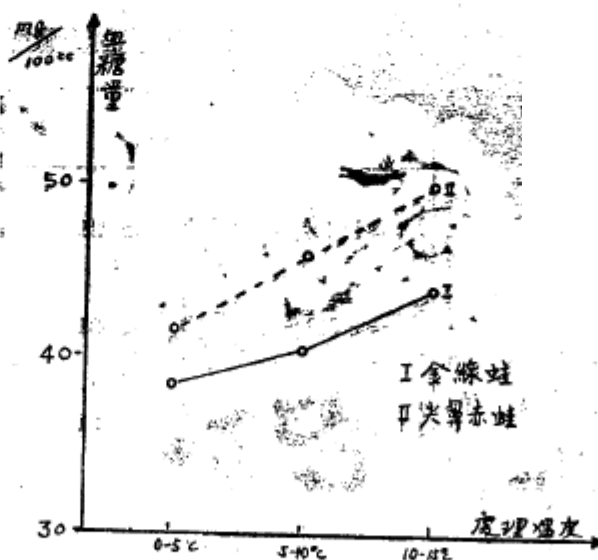


圖 9. 二種青蛙抵溫處理之血糖變化

從圖 9 吾人欲看出每一種青蛙經處理後，在不同溫度下血糖量是否有顯著差異，我們同樣用統計而估算如下：

表 9~2 金線蛙低溫處理後之血糖差異性

0-5°C	}	$t = 2.3115 > t_{\left(\frac{n=40}{p=0.05}\right)} = 2.021$	顯 著
5-10°C			
10-15°C	}	$t = 3.3898 > t_{\left(\frac{n=40}{p=0.05}\right)} = 2.021$	顯 著
0-5°C			

表 9~2 尖鼻赤蛙低溫處理後之血糖差異性

0-5°C	}	$t = 2.783 > t_{\left(\frac{n=40}{p=0.05}\right)} = 2.021$	顯 著
5-10°C			
10-15°C	}	$t = 4.9157 > t_{\left(\frac{n=40}{p=0.05}\right)} = 2.021$	顯 著
0-5°C			

同樣的，為進一步觀察這二種青蛙分別在相同溫度之下，是否血糖量有種別差異，用統計方法亦可估算  $t$  值如下：

表 9~4 二種青蛙在同一溫度處理下下血糖量差異性：

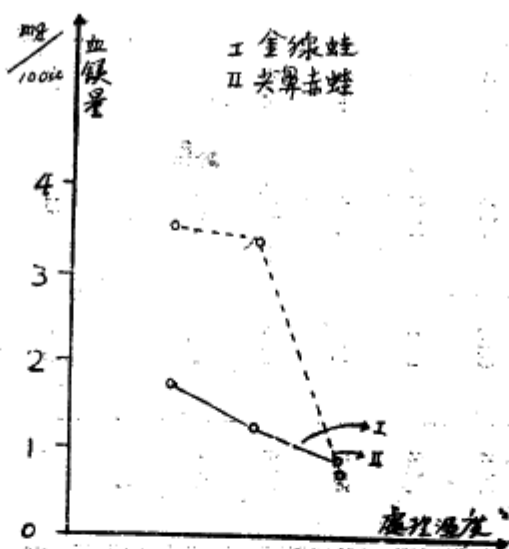
溫 度	青 蛙 種 類	$t$ 值	差 異 性
0-5°C	金 線 蛙	$t = 4.2194 > t_{\left(\frac{n=40}{p=0.05}\right)} = 2.021$	顯 著
	尖 鼻 赤 蛙		
5-10°C	金 線 蛙	$t = 6.720 > t_{\left(\frac{n=40}{p=0.05}\right)} = 2.021$	顯 著
	尖 鼻 赤 蛙		
10-15°C	金 線 蛙	$t = 6.545 > t_{\left(\frac{n=40}{p=0.05}\right)} = 2.021$	顯 著
	尖 鼻 赤 蛙		

### 3. 血鎂：

關於血鎂含量，每一種青蛙在不同溫度處理之下其含量有顯著之差異，見表 10~2 和表 10~3，又這二種不同之青蛙，在相同溫度處理以後，血鎂量差異也是顯著的，見表 10~4 及圖 10。

表 10~1 二種青蛙在低溫處理後之血鈣量

溫度 青蛙 測定量 號	0°-5°C				5°-10°C				10°-15°C			
	I		II		I		II		I		II	
	透光度 %	血鈣量 mg/100cc	透光度 %	血鈣量 mg/100cc	透光度 %	血鈣量 mg/100cc	透光度 %	血鈣量 mg/100cc	透光度 %	血鈣量 mg/100cc	透光度 %	血鈣量 mg/100cc
1	59.7	1.86	68.5	3.55	55.6	1.08	68.2	3.49	58.8	0.	54.0	0.78
2	59.2	1.76	69.0	3.64	58.2	1.57	68.3	3.51	54.3	0.88	54.3	0.88
3	60.3	1.97	67.5	3.86	55.3	1.02	67.7	3.39	54.8	0.93	53.8	0.74
4	59.7	1.86	68.2	3.49	55.3	1.12	67.3	3.32	55.5	1.06	54.8	0.98
5	60.0	1.92	69.3	3.70	57.3	1.40	68.7	3.58	54.0	0.78	54.0	0.78
6	58.6	1.65	68.5	3.55	58.3	1.59	67.2	3.80	53.3	0.65	53.0	0.59
7	58.3	1.59	68.5	3.55	54.3	0.93	68.2	3.49	54.2	0.82	53.8	0.74
8	58.3	1.69	67.8	3.4	55.3	1.02	68	3.45	55.6	0.97	53.3	0.65
9	60.0	1.92	68.2	3.49	57.0	1.35	67.6	3.36	53.8	0.74	53.8	0.74
10	57.8	1.50	68.3	3.60	56.3	1.21	67.5	3.36	54.6	0.89	54.3	0.88
合 計		17.72		35.94		12.29		34.27		8.41		7.61
平 均		1.77		3.59		1.23		3.43		0.84		0.76
附 註	I: 金線蛙				II: 赤鼻尖蛙							



10 = 綠青蛙低溫處理後之血鐵變化

表10~2 金線蛙低溫處理後之血鐵差異性：

0-5°C	}	$t = 4.495 > t_{(p=0.05)}^{(n=20)} = 2.086$	顯 著
5-10°C			
10-15°C	}	$t = 4.92 > t_{(p=0.05)}^{(n=20)} = 2.086$	顯 著
0-5°C			
0-5°C	}	$t = 8.942 > t_{(p=0.05)}^{(n=20)} = 2.086$	顯 著
0-5°C			

表10~3 尖鼻赤低溫處理後之血鐵差異性：

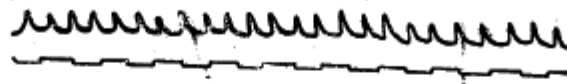
0-5°C	}	$t = 2.492 > t_{(p=0.05)}^{(n=20)} = 2.086$	顯 著
5-10°C			
10-15°C	}	$t = 65.952 > t_{(p=0.05)}^{(n=20)} = 2.086$	顯 著
0-5°C			
0-5°C	}	$t = 64.12 > t_{(p=0.05)}^{(n=20)} = 2.086$	顯 著
0-5°C			

表10~4 二種青蛙在同一溫度處理下之血鐵差異性：

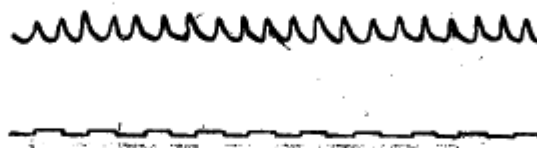
溫 度	青 蛙 種 類	值	差 異 性
0-5°C	金 線 蛙	$t = 17.254 > t_{(p=0.05)}^{(n=20)} = 2.086$	顯 著
	尖 鼻 赤 蛙		
5-10°C	金 線 蛙	$t = 40.14 > t_{(p=0.05)}^{(n=20)} = 2.086$	顯 著
	尖 鼻 赤 蛙		
10-10°C	金 線 蛙	$t = 3.359 > t_{(p=0.05)}^{(n=20)} = 2.086$	顯 著
	尖 鼻 赤 蛙		

4. 呼吸：

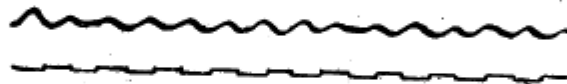
A. 18°C 時



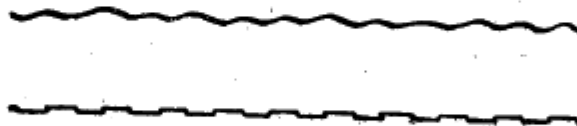
B. 16°C 時



C. 13°C 時



D. 10°C 時



E. 5°C 時

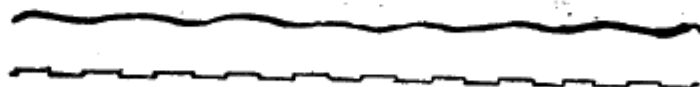


圖 11~1 不同溫度處理下青蛙之呼吸運動曲線

低溫處理後，不同溫度下青蛙的呼吸次數，顯然是大為不同；5°C 時為每分鐘 24 次 (22~25)。10°C 時為每分鐘 33 次 (30~35)。13°C 時為每分鐘 45 次 (44~48)。16°C 時為每分鐘 60 次 (58~62)。18°C 時為每分鐘 72 次 (70~75)。其變化情形可見圖 11~2。

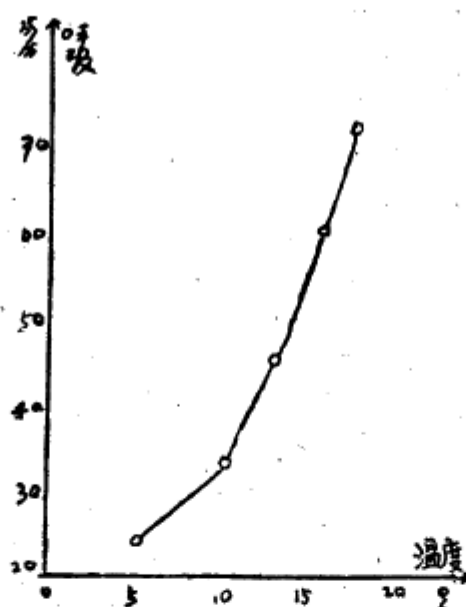


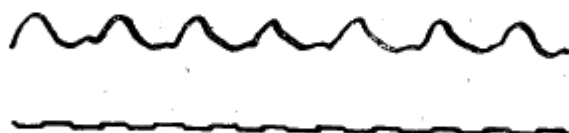
圖 11-2 不同溫度處理下之呼吸率差別

5. 心跳：

A. 20℃時：



B. 16℃時：



C. 12℃時：



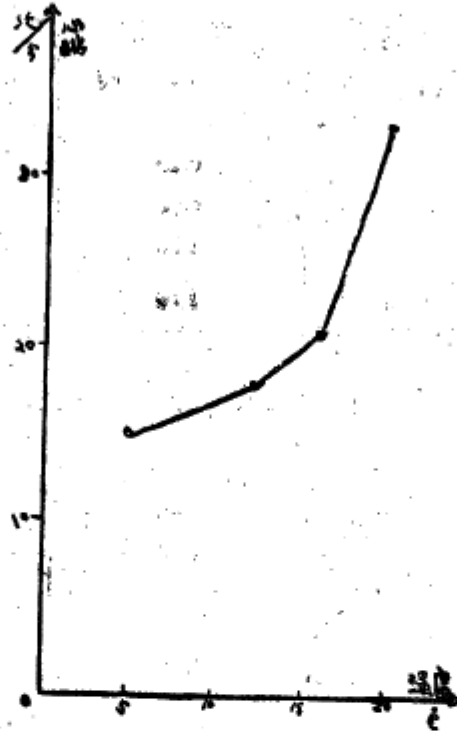
D. 5℃時：



圖 12-1 不同溫度處理下之心跳曲線



不同低溫處理之下，心跳次數也是顯然不同， $5^{\circ}\text{C}$  時為每分鐘 15 次 (12~16)。 $12^{\circ}\text{C}$  時每分鐘為 18 次 (17~19)。 $16^{\circ}\text{C}$  時為每分鐘 21 次 (20~22)。 $20^{\circ}\text{C}$  時為每分鐘 33 次 (30~35)。其變化情形可見圖 12~2。



丙、夏天時期青蛙心電圖記錄：本記錄於溫度  $29^{\circ}\text{C}$  時得之。

Standardization

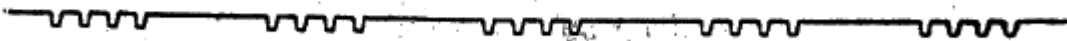


圖 13-1 夏天(室溫  $29^{\circ}\text{C}$  時)之青蛙心電圖

圖 13~1 心電圖各波段之時間 (夏天)

項 目	時 間 (秒)
P-Q wave	0.20
QRS complex	0.04
S-T wave	0.38
合 計	0.62

經表 7 和表13~1吾人可比較冬夏二季青蛙的心電變化，即冬天跳慢，夏天則快，區別明顯，見表13~2：

表13~2 冬眠時與夏天時心電圖各波段時間

項 目	時 間 (秒)	冬 眠 時	夏 天
P-Q wave		0.48	0.20
QRS complex		0.08	0.04
S-T wave		1.20	0.88
合 計		1.76	0.62

茲將上表所示冬眠時間與夏天時之青蛙心電圖各波段時間比較如下圖：

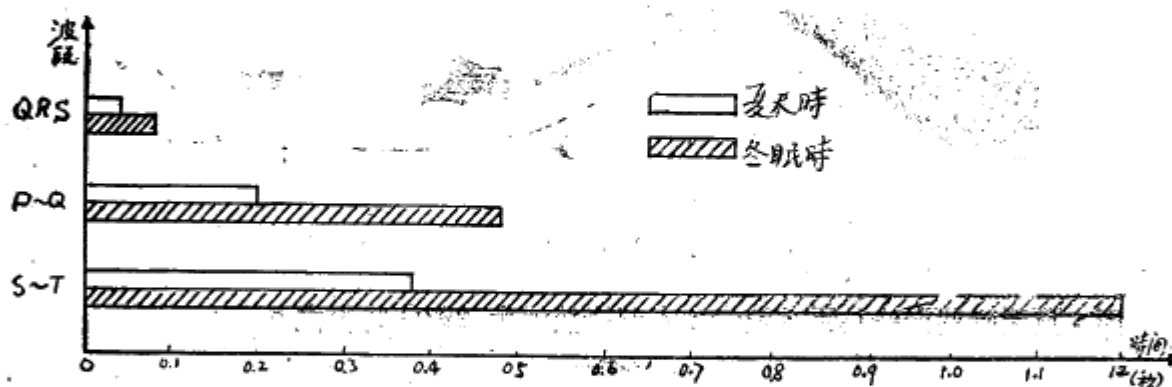


圖13-2冬眠與非冬眠(夏天)青蛙心電圖各波段時間之比較

#### 四、討 論

1. 體重與冬眠的關係，從圖 1~1 看出，冬眠中的體重減少，冬眠後約經半個月即開始迅速增加體重。又由圖 1~3 看出三者體重的分佈，並非屬於常態分佈，所以冬眠中體重降低，冬眠中體重在此圖所示偏於左旁，此表示冬眠前體重比冬眠時大，相反的，冬眠後之體重偏於右旁，表示冬眠過後半個月開始增加體重。

1932~1933年 Holzapfel 氏(7)曾發現 *Rana pipien* 體重有季節性的變化，作者認為金線蛙也是一樣有的，關於冬眠前體重的增加，作者認為是由於脂肪體的增大（由圖

1~1 與圖 1~2 可比較得知)，和食物的儲存而增加的。因為冬眠時不採食，為維持冬眠期中「能量」的供給，必需作此準備。冬眠中因肌肉內所儲藏之肝糖及脂肪體的氧化分解，轉變成能量而被利用，所以冬眠中之體重顯然地減少。至於冬眠後體重將更為減少，經一段時間，青蛙體重便迅速增加，作者認為冬眠過後馬上就是「性成熟」(Sexual Maturation) 期，由於活動性 (Activity) 變為正常，開始採食，同時冬眠過後母蛙腹腔內充滿很多成熟的卵，所以冬眠後約經半個月的時間，體重急速增加。對於體重季節性之變化，除了受「溫度」影響外，作者主張「激素」與「神經系統」也有重要的關係。

2. 從圖 2 和表 2~2 知道冬眠中與蘇醒時，冬眠中與冬眠後青蛙腦含水百分率是顯著的不同，這表示冬眠與腦含水量是有密切關係的。作者認為由於溫度的刺激而影響水分的代謝，即冬眠中減少 (78.5%)，此可以水分子之主動吸收作用來說明 (23)，因冬眠時代謝能減少，所以水分子之主動吸收作用變弱腦細胞之水分代謝作用減低而進入昏迷狀態，但溫度升高後，腦細胞代謝作用恢復，代謝能增加，水之主動吸收作用變強，於是腦達其足夠水量之後，腦細胞水之代謝作用恢復而漸蘇醒 (82.6%)。至於冬眠蘇醒 (82.6%) 與冬眠後 (83.84%)，二者差異不顯著，表示二者含水量差不多，即青蛙由於溫度變化，一旦蘇醒後腦細胞一直保持其正常水分代謝，使蛙隻有正常之活動。關於腦水之代謝控制中心，作者認為是下視丘，因為溫度變化以刺激下視丘，於是它的調節作用發生改變，對於這方面作者認為須用腦波或腦電圖來表示腦的活動作用，因為通常細胞水分減少，則其活動性隨之降低，藉此比較含水量，以推知腦含水量與冬眠之密切關係。

從表 8~2 看出，5~10°C 與 10~15°C 處理過的蛙隻其腦含水量無顯著之差異，與冬眠蘇醒時和冬眠後的情形一樣，所以從表 2~2 和表 8~2 比較，可推知冬眠時之溫度為 10°C 左右，冬眠蘇醒之溫度為 15°C 左右，此與作者所作野外自然冬眠觀察情形吻合。

3. 由圖 3 可以看出冬眠時、蘇醒時及冬眠後，各期的血糖量有所變化，更由表 3~2 知道各期之間血糖量的差異很顯著。同樣情形，人工低溫處理後在各種不同溫度之下，血糖量也是不同的；由表 9~2 及表 9~3 可一目了然，因此冬眠時由於溫度的

變化可以影響血糖含量。關於血糖量的減少原因作者認為(1)冬眠時青蛙不採食。(2)激素之控制影響。(3)冬眠時一切代謝作用降低，於是肝糖很少被分解變成葡萄糖，所以血糖隨之減少。

4. 由圖 4 而知冬眠中血鎂量增加，蘇醒時漸減，至冬眠後則更為減少，此現象與 Ridesel 氏<sup>(21)</sup>對哺乳動物研究所得的結果相同。由表 4~2 更看出各期之差異非常顯著，而且表 10~2 和表 10~3 所示，在不同低溫處理後血鎂量之差異也很顯著，可見冬眠可影響血鎂量的變化。

根據 Ridesel 氏主張，鎂離子與熱的散失有關，因它而引起體溫的降低，為冬眠現象的一個事實。於是鎂被認為與冬眠有關，作者同意 Ridesel 氏的看法，認為由於血鎂增加，而產生生理狀態的改變，以引起冬眠。鎂離子通常對組織和細胞均有主要的代謝作用。它可影響溫度調節中心。鎂在細胞內為一陽離子，根據 Eichelberger 與 McLean<sup>(5)</sup>二氏報告，在肝細胞和骨骼肌中的鎂量與血清中鎂量，其濃度約為 30:1.5。由此可見細胞中鎂量很多，表示鎂參與很多的代謝作用。因為冬眠時細胞的代謝作用減低，作者認為是由於鎂由細胞滲入血清，故冬眠時血鎂增加，同時鎂對肌肉的利用腺苷三磷酸(ATP)有直接的影響，這可以解釋冬眠時肌肉緊張與奮性減低的原因，因冬眠時鎂由肌細胞大量滲透到血清而使血鎂增加，因此對肌肉之利用ATP發生影響，於是肌肉在冬眠時比較遲鈍，亦即能量之供給減少，而使肌肉之收縮受阻，同時鎂在細胞內參與代謝作用，與酵素有密切關係，Sumner 和 Somers 說鎂可使酵素活性化而作用加強。冬眠時可能由於大量血鎂增加，細胞內鎂量減少，使酵素的作用發生變化，或者直接由於體溫的減降，而使酵素的作用不正常。據前人的記載報告，鎂對神經系統的影響與血鎂濃度有密切關係<sup>(17)</sup>；鎂可消除神經肌肉的傳遞作用，同時還影響神經系統的知覺中樞，以引起知覺的消失。因此這就是說明鎂有麻醉的作用。Ridesel 氏<sup>(21)</sup>認為鎂與體溫調節也有密切關係，他發現由鎂注射處理可引起體溫降低，同時由於體溫降低血鎂也隨之增加。經鎂注射而發生體溫降低，乃鎂對下視丘前部的失熱中心(Heat loss center)發生作用的結果。鎂因具有退熱作用，因之鎂被認為是參與體溫調節之主要物質。由於血鎂增加為體溫降低的一個結果，同時血鎂增加也為引起體溫減低的一個原因，所以鎂被視為與冬眠有關係的。以上乃討論到血鎂增加後對生理的影響。

至於血鎂增加的原因，Ridesel氏(21)認為是由體內生理動態平衡 (Homeokinesis) 現象的改變而引起，他認為血內電解質 (Serum electrolyte) 都維持一定之正常量。所以他說血鎂增加乃由生理動態平衡現象改變而產生。作者同意他的觀點，認為由於維持正常電解質的機能改變，這機能改變主要是指水分平衡 (Water balance) 的改變，也就是由於水分的減少，而使血液變濃 (Hemoconcentration)，於是血鎂濃度增加。除了水分減少為血鎂增加原因之外，作者認為負責維持生理動態平衡的細胞膜構造，將會影響血鎂的增加，同時腸吸收作用的增加亦為一使血鎂增加的原因。就腎臟來說，作者也認為同樣負有維持正常血鎂量和負有鎂排泄的維持作用。如果腎管對鎂的再吸收 (Reabsorption) 增加，或者腎管過濾速度的減慢，以至於減低腎管的排泄作用，均會使血鎂增加。但因為冬眠時代謝機能減低，反使腎管的再吸收作用減少，故靠再吸收作用以增加血鎂，不能圓滿解釋，故腎管排泄作用的減低似為一血鎂增加原因。

作者認為細胞膜通透移動性 (Transfer) 的改變，為生理動態平衡的一主要機構，以負責血鎂之增加，前面說過鎂為細胞內之一主要離子，且細胞內濃度比血清大二十倍 (5)，所以身體細胞內可視為鎂離子儲藏所，從體溫降低引起皮膚與肌肉之釋放鎂離子(9)，我們知道冬眠時同樣從細胞中可釋放出鎂離子來。於是作者又聯想到與細胞膜更有密切關係，因為細胞膜的通透移動性改變，可以由細胞膜本身的構造改變而引起。至於細胞膜構造之改變，間接是由於代謝產物之堆積，使  $P^i$  發生變化，直接是受「冷」的影響，使細胞的代謝作用改變，如呼吸商 (Respiratory Quotient) 在冬眠時顯然降低，隨之  $P^i$  變化，而  $P^i$  之改變可影響到細胞膜的通透力 (Permeability)。冬眠時細胞內的  $P^i$  變化，血清之  $P^i$  也會隨着變化。同時，冬眠時  $P^i$  降低是事實(27)，所以冬眠時的確細胞膜會發生構造或機能的變化。由於細胞受冷可直接改變細胞之通透性，所以在冬眠的時候因體溫減低，細胞可放出鎂離子，而跑到血內，所以血鎂增加。但是如何再由血回到細胞內，關於這點 Ridesel 氏用「鎂~蛋白質結合力」 (Mg-protein binding power) (22) 變化來解釋，即細胞內蛋白質分子結合力增加，或血蛋白分子結合力減小，而使血鎂滲入細胞內，然而這些蛋白質與離子之結合力，並非由冷卻 (Cooling) 而可影響(23)，所以分子結合力並不能完全圓滿解釋血鎂增加現象。

從細胞生理上來看，由於細胞內鎂離子濃度比細胞外 (血清) 的大二十倍，故細胞

內外已經存在着很大的鎂離子濃度差異(Concentration Gradient)，所以作者認為對於血鎂之增加，可用「鎂離子之主動吸收」(Active magnesium transfer)來解釋，這種主動吸收作用可使鎂離子跑到細胞內去(藉能量而由低濃度之細胞外跑入高濃度之細胞內)，並維持在細胞內，這種「維持」(Maintenance)也是需要代謝能(Metabolic energy)。而冬眠時因細胞受冷，進入細胞內之鎂減少，相對的血鎂增加，這是因為冬眠時代謝能減少，不足以長久維持細胞內的鎂離子，於是由細胞內釋放到細胞外而跑到血中，所以冬眠時鎂離子之主動吸收機能減弱，以助增加血鎂。因之細胞膜之主動吸收機能，為一合理解釋冬眠發生「生理動態平衡」的原因，也是說明血鎂增加最合理原因。

至於冬眠之蘇醒時，因為體溫隨着外界環境溫度的改變，慢慢變高，於是細胞的代謝機能漸漸恢復，於是代謝機能也逐漸產生，這時細胞的主動吸收機能又升高，亦即細胞內所存能維持的能量比血中來得多，於是溫度升高蘇醒時，血鎂慢慢又滲回細胞內以使細胞內外(血清)之鎂濃度差異減少，所以冬眠後血鎂比冬眠時為低。

5. 圖 9 和表 9~4 說明低溫時金線蛙 (*R. plancyi*) 與尖鼻赤蛙 (*R. narina*) 的血糖量有顯著之差別。又圖 10 和表 10~4 也可發現這二種青蛙之血鎂量也不同，所以作者認為血糖和血鎂量是有種別差異性(Specific difference)存在的。同時說明不同青蛙在生理生態方面的適應程度是不同的。

6. 冬眠時的呼吸率及心跳率，從圖 5~1, 5~2 及圖 6~1, 6~2 分別可以看出比冬眠後少，即冬眠時呼吸心跳慢，夏天高溫時則快，同樣用低溫處理，溫度愈低則呼吸心跳都隨之愈低。由圖 11~1, 11~2 和圖 12~1, 12~2 看得很清楚。心跳與溫度的關係，有人主張呈直線關係，也有人主張是指數曲線關係。但是通常冬眠時之心臟活動是不規則的，又一般說來離體蛙心之跳動，在夏天情形呈直線關係，冬天則呈指數曲線關係(2)(28)，本試驗之自然冬眠與低溫處理情形，由圖 6~2 和 12~2 可知心跳與溫度非呈直線關係，因此冬眠時青蛙心跳與溫度的關係，是呈指數曲線關係的。

7. 由圖 7 和圖 13~1 或圖 13~2 所示：冬天青蛙進入冬眠，所以 P-Q 波段、QRS Complex 及 S-T 波段的時間均較夏天 (29°C) 時為長，於是整個心臟電位變化的時間也長於夏天，所以冬天心跳慢，夏心跳快，由此試驗所得明顯不同結果，可以斷定冬眠時心臟活動降低，也就是溫度可影響心臟的活動。

8. 青蛙之冬眠是隨外界環境溫度之降低而引起，這時青蛙的體溫也隨之降低，其溫降低之原因；是由於下視丘的失熱中心 (Heat loss center) 受影響而降低體溫的，前面已經提過藉環境低溫冷卻可使下視丘的機能改變，同時產生血鎂增加，Ridesel 氏主張細胞冷卻而直接產生鎂之釋放，而使血鎂增加，以影響失熱中心而降低體溫。但最合宜的說法是冷曝 (Cold exposure)，使身體周圍組織冷卻，連同血鎂增加都分別有影響下視丘失熱中心的作用。此乃二者之附加影響，因為體溫之降低有賴於血液之冷卻，而血鎂增加可能有利於血液之冷卻也。

9. 本試驗所作生態觀察部份，均以外界環溫度為基準，對於蛙隻的冬眠時體溫、蘇醒時體溫、冬眠後正常體溫，未作測量比較，作者認為有關溫度與動物的關係，作實驗時應量動物本身的內部體溫 (Internal deep temperature)，如直腸體溫、食道體溫、最好是測體內腦部的體溫，這樣好分析比較生理生態的種種問題。因為溫度可促進動物體內的一切化學反應，以動物體的內部體溫能確實地說明一切生理代謝問題，也更能精確地解釋與分析生態現象。關於此點，因設備關係，須待將來補試。

10. 作者 (繆端生) (29) 主張動物冬眠是有其物質基礎的，即冬眠動物體內有一種物質，叫冬眠素 (Hibernatin)，同時體內另有一種酵素 (Hibernatinase)。冬眠素可以引起冬眠，而冬眠酵素可破壞冬眠素，以抑制或阻止冬眠的發生，常溫下冬眠酵素甚為活動，可不斷破壞冬眠素，而失其作用，但到了環境溫度太冷，當動物遇冷曝時，體內冬眠酵素却不活動，冬眠素即不受抑制，就可活動而引起冬眠，待外界環境溫度上升，達冬眠酵素活動之適當溫度時，冬眠酵素又重新活動起來，於是不斷地破壞冬眠素，使動物從冬眠中蘇醒過來，這是說明體內酵素的活動性問題，關於此點，作者認為又與鎂量有關，因為鎂可以使細胞內的酵素得以活性化而活動，如果鎂大量滲入血清中，細胞內酵素量減少，而酵素活動性減低，於是代謝機能減低。從酵素這一觀點，根據「體內物質的增減」這個冬眠學說，作者認為冬眠時體內某種酵素 (如 Dehydrogenase) 量的減少，而使酵素作用不正常 (減弱)，於是代謝作用降低，以達冬眠的狀態。將來對於冬眠之探究，應配合生物化學及組織化學等方面，作進一步的酵素生理研究以期能圓滿地說明冬眠酵素的存在，藉以更能闡明冬眠的真正意義。



## 五、摘 要

1. 本試驗分生態觀察與生理實驗分析二項目，對青蛙冬眠作詳細之研究分析，為更瞭解青蛙冬眠與溫度的關係，更行低溫處理試驗以與自然冬眠比較和分析。所作之研究包括體重、脂肪體重、呼吸、心跳、腦含水量、血糖、血鎂和心電圖等項，低溫處理試驗更用金線蛙 (*R. planeyi*) 和尖鼻赤蛙 (*R. narina*) 為材料，加以分析其血糖與血鎂含量之差異。
2. 金線蛙自然冬眠開始於十一月上旬至次年三月底才蘇醒。冬眠時外界環境溫度為  $10^{\circ}\text{--}15^{\circ}\text{C}$  左右，蘇醒時外界環境溫度為  $15^{\circ}\text{--}18^{\circ}\text{C}$  左右。
3. 冬眠時因不採食，體重減少，同時脂肪體漸漸減小，至冬眠後則完全用光而消失不見。
4. 冬眠時，青蛙之腦含水量減少，但剛蘇醒時與冬眠後則含量無顯著差異。
5. 冬眠時因不採食，同時糖類以肝糖之形存於肝臟，故血糖減少。
6. 冬眠時蛙隻身體受冷，細胞中之鎂離子為達其生理動態平衡，以主動吸收作用漸漸釋放到細胞外（血清），故冬眠時血鎂增加。
7. 冬眠時血糖減低，血鎂增加是有種別差異性的。
8. 冬眠時呼吸和心跳率均顯然減少。
9. 低溫處理後腦含水量、呼吸、心跳、血糖都同樣減少。血鎂同樣增加。血糖血鎂變化也同樣有「種別差異性」。
10. 冬眠時心臟電位傳遞變化較夏天時慢。

〔註1〕 Chlorpromazine 按各藥廠出品之不同，有 Wintermin, Contamin, 和 Thorazine 等種。它主要作用在抑制中樞神經系統和自由神經系統。

〔註2〕 本文所用「冬眠後」一詞，在時間上乃指四月中旬而言，並非冬眠一過的瞬短時間。作者經觀察冬眠完全蘇醒開始於三月底和四月初，故「冬眠後」乃指冬眠完全蘇醒後之二週為準。

〔註3〕 低溫處理所用冷藏室，當發電機開動後，三室的溫度分別降列  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$  和  $15^{\circ}\text{C}$ ，每隔日開動時，溫度分別升為  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$  和  $16^{\circ}\text{C}$ ，作者採隔日開動發



電機的情形，固定實驗時間，分別在 5°C, 12°C 和 16°C 時進行實驗。

〔註 4〕 不宜剪斷血管，否則將影響結果。同樣，心跳記錄後該青蛙仍要用於採血，故宜小心血管，如碰破血管則採血量將減少。

〔註 5〕 本試驗中之體重測定均未計其採血量。

## 英 文 摘 要

1. The present investigation was proceeded with ecological studies and physiological analysis on the problems of the hibernation of frog. In this experiment, the low temperature treatment was also carried out for the purpose of making a detailed comparison with the natural hibernation. The determinations of body weight, fat body weight, rate of respiration, heart beat, brain's water content, blood sugar content, serum magnesium content and E.C.G. were included in the physiological analysis. The author used two species of frog, *R. plancyi* Lataste and *R. narina* Stejneger, in low temperature treatment to study whether there is a specific difference in the changes of blood serum magnesium content.
2. The natural hibernation of *R. plancyi* Lataste begins from November and ends at the end of March. The environmental temperature cause animals to hibernate is 10-15°C and it was found that the environmental temperature above 15°C will cause animals to awake.
3. No food was taken during hibernation so that the body weight decreased. Meanwhile, the fat body was utilized as an energy source to maintain the lowest level of metabolism, so the fat body was completely disappeared as the hibernation ended.
- \*4. Brain's water content was decreased during deep hibernation, but there was no significant difference at any period of awakening.
5. The blood sugar content was also decreased in deep hibernation, this might be due to the fasting and to the storage of glucose in the form of glycogen in the liver.
6. The peripheral body tissues were cooled during hibernation. For the purpose of maintaining a relatively constant homeokinesis, the magnesium was released from cells to plasma by the mechanism of active transfer of cell membrane. So, the serum magnesium content was increased during hibernation.

7. The changes of blood sugar and serum magnesium content give a specific difference observed in this experiment.
8. The rates of respiration and heart beat also decreased during hibernation.
9. The results of decrease of brain's water content, rate of respiration, heart beat, blood sugar content and increase of serum magnesium content are all the same whether in the artificial hibernation or in the natural hibernation also give a specific difference as the natural hibernation shown.
10. The heart activity shown by E.C.G. during hibernation is slower than that in the summer.

### 參 考 文 獻

1. Andrewartha, H.G. 1952. "Diapause in Relation to the Ecology of Insects", Biol. Rev., 27:50-107.
2. Barcroft, J. and J.J. Izquierdo. 1931. "The Relation of Temperature to Pulse Rate of the Frog". Jour. physiol., 71:105-155.
3. Bodine, J. H. 1923. "Hibernation in Orthoptera", J. Exp. Zool., 37:457-476.
4. Donaldson, H. H. 1911. "On the Seasonal Changes in the Relative Weights of the Central Nervous System". Jour. Morphol., 22:663-664.
5. Eichelberger, L. and F. C. McLean. 1942. "The Distribution of Calcium and Magnesium between the Cells and the Extracellular Fluids of Skeletal Muscles and Liver in Dogs", J. Biol. Chem., 142:467-476.
6. Hall, F. G. 1922. "The Vital Limit of Excitation of Certain Animals", Boil. Bull., 42:31-51.
7. Halzapfel, R. A. 1937. "The Cyclic Character of Hibernation in Frogs", Quart. Rev. Biol., 12:65-84.
8. Hurst, J. W. and G. C. Woodson, 1952. "Atlas of Spatial Vector Electrocardiography".
9. Johnson, G. E. 1928. "Hibernation of the Thirteen-lined Ground Squirrel, Citellus Tridecemlineatus (Mitchell). 1. A comparison of the Normal and Hibernating States", Jour. Exp. Zool., 50:15-30.
10. Johnson, G. E. 1930. "Hibernation etc., V. Food, Light, Confined Air, Precooling, Castration and Fatness in Relation to production of Hibernation Boil. Bull., 59:114-127.
11. Johnson, G.E. 1931. "Hibernation in Mammals", Quart. Rev. Biol., 6:439-461.

12. Kenneth Mellanby. 1941. "The Body Temperature of the Frog", Jour. Exp. Biol., 18;55-61.
13. Klotz, I. M. 1950. "Nature of Some Ion-protein Complex", Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, Vol. 14. Amino Acids and Proteins, 14;97-110.
14. Lustig, B., Ernst, T. and E. Reuss. 1937. "Die Zusammensetzung des Blutes von *Helix Pomatia* bei Sommer- und Wintertieren". Biochem. Zeitschrift, 290;95.
15. Lyman, C.P. and P.O. Chatfield. 1955. "Physiology of Hibernation in Mammals", physiol. Rev., 35;403-425.
16. Michael Bernreiter, M. D. "Electrocardiography".
17. Neuwirth, I. and G.B. Wallace. 1932. "Magnesium: Narcosis, Absorption and Serum Concentration", J. Pharm. and Exper. Therap., 45;109-115.
18. Orange, M. and H.C. Rhein. 1951. "Microestimation of Magnesium in Body Fluids", Jour. Biol. Chem., 189;379-386.
19. Platner, W.S. 1950. "Effects of Low Temperature on Magnesium Content of Blood, Body Fluids and Tissues of Goldfish and Turtle", Amer. J. Physiol., 161;399-405.
20. Prosser, C. L. 1950 "Comparative Animal Physiology", Philadelphia: Saunders, Chapter 10.
21. Riedsel, M.L. 1957. "Serum Magnesium Levels in Mammalian Hibernation", Transaction Kansas Academy of Science, 60;99-141.
22. Riedesel, M. L. and G. Edgar Folk, Jun. 1956. "Serum Magnesium Change in Hibernation", Nature, 177;668.
23. Robinson, J.R. 1953. "The Active Transport of Water in Living Systems", Biol. Rev., 28;158-194.
24. Smith, V.D.E. and C.H. Jackson. 1931. "The Changes during Desiccation and Rehydration in the Body and Organs of the Leopard Frog (*Rana Pipiens*)", Biol., 60;80.
25. Soumalainen, P. 1938a. "Production of Artificial Hibernation", Nature, 142;1157.
26. Soumalainen, P. 1938b. "Magnesium and Calcium Content of Hedgehog Serum during Hibernation", Nature, 141;471.
27. Stormont, R.T., M.A. Foster and C. Pfeiffer. 1939. "Plasma  $P^{H}$ ,  $CO_2$  Content of the Blood and 'Tissue Gas' Tension during Hibernation", Proc. Soc. for

(230) 師大學報 第十一期(下冊)

Exp. Biol. and Med. 42:56-59.

28. Taylor, N. B. 1931. "The Relation of Temperature to the Heart Rate of the South African Frog (*Xenopus daetylothra*)", Jour. Physiol., 71:156-168.

29. 繆端生 1962. 6. 1

30. 葉樹藩 1962

冬眠論臺北醫學院綠杏雜誌創刊號抽印本

試驗設計學(第一部份:生物統計學)

31. 小林龍男(Kobayashi Tatsuo et al) 1956. 冬眠劑療法と冬眠麻醉(クロルプロマジン療法)

[註] 有星號作者未讀其原文