

作物之營養與肥料



目 錄

第一章 作物的營養

1-1 作物之營養與肥料	1
1-2 作物體內之元素及其分類	2
1. 作物體內之元素	2
2. 巨量必須元素及微量必須元素	2
3. 依肥料成分而分類	4
1-3 與作物營養有重要關係之生理作用	5
1. 光合作用	5
2. 呼吸作用	9
3. 氮素之代謝	10
1-4 關於作物體內各元素之生理機能	12
1. 巨量必須元素	12
2. 微量元素	16
3. 其他元素	19
1-5 作物之養分吸收	20
1. 作物之養分吸收	20
2. 養分吸收之機構	21
3. 養分吸收與環境條件	23

4. 作物之整個生活史與養分吸收.....	25
-----------------------	----

第二章 肥料之種類及特性

2-1 肥料之形態及反應.....	28
1. 肥料的定義.....	28
2. 四要素之形態.....	29
3. 肥料之反應.....	38
2-2 複合肥料.....	39
1. 第一種複合肥料.....	43
2. 第2種複合肥料.....	48
3. 第3種複合肥料.....	49
4. 醱酵廢液乾燥複合肥料.....	49
5. 液體複合肥料.....	49
2-3 氮質肥料.....	50
1. 硫酸銨.....	50
2. 氯化銨.....	51
3. 尿素.....	51
4. 硝酸銨.....	52
5. 氰氨基化鈣(石灰氮素).....	52
2-4 磷酸質肥料.....	55
1. 過磷酸鈣(石灰).....	55
2. 熔磷肥.....	55
3. 熔製磷酸三鈣(燒成磷肥).....	56
4. 沈澱磷酸石灰.....	56
5. 磷礦石粉末.....	57
2-5 鉀質肥料.....	57
1. 氯化鉀.....	57
2. 硫酸鉀.....	58
3. 硫酸鉀鎂.....	58
4. 碳酸氫鉀.....	58

5. 腐植質酸鉀.....	58
2—6 有機質肥料.....	58
1. 魚肥.....	59
2. 油粕類.....	59
3. 骨粉類.....	60
4. 乾燥菌體肥料.....	60
5. 家禽糞加工肥料.....	60
6. 海鳥糞(粉).....	61
2—7 自給肥料.....	62
1. 堆肥.....	62
2. 廐肥.....	63
3. 人糞尿(下肥).....	63
4. 綠肥.....	64
5. 雞糞.....	64
6. 草木灰.....	65
2—8 石灰質肥料.....	66
2—9 特殊成分肥料.....	67
1. 矽酸肥料.....	67
2. 鎂質肥料.....	68
3. 錳質肥料.....	69
4. 硼素肥料.....	69
2—10 微量要素複合肥料.....	70
2—11 葉面散佈肥料.....	70
2—12 最近肥料之傾向.....	72
1. 摻入農藥之肥料.....	72
2. 腐植質酸肥料.....	74
3. 緩效性氮素肥料.....	74
4. 硝酸化抑制材料.....	76
5. 液肥.....	77
6. 化學的調整物質.....	77

第三章 肥料之施用法

3-1 施肥法之原理	79
1. 施肥之原則	79
2. 土壤之天然養分供給量	85
3. 肥料試驗法	86
4. 施肥量之決定	90
3-2 施肥之方法	100
1. 按作物類別施肥	101
2. 設施栽培時之施肥	120
3. 露耕栽培時之施肥	124
4. 葉面施肥	125
5. 牧草地及飼料作物之施肥	126
6. 土壤條件與施肥	127
7. 病蟲害與施肥	132
3-3 有關於肥料之購入問題	133

第四章 農作物之要素缺乏症與過剩症

4-1 作物之必須要素及其必須量	137
4-2 作物之要素缺乏症及其診斷	139
1. 要素缺乏症發生之原因概要	139
2. 要素缺乏症之診斷	141
4-3 要素之缺乏與過剩及其對策	143

第五章 特異徵狀及其對策

附表

1. 用以表示肥料成分量的化學形態	176
2. 肥料成分慣用略號	176
3. 普通肥料之成分量 (肥料管理辦法中所規定的公定規格)	177
4. 有機質肥料之成分量	179

索引

第一章 作物的營養

1-1 作物之營養與肥料

近年來可見及農業技術正在飛躍的發展中，然而利用植物吸收太陽光線之能，以生產人類之糧食，此一利用事實仍無變動，且亦不大可能會發現有其他更好的方法。不僅在農作物之收穫物，直接供作為糧食時如此，即使在以畜產品作為糧食時亦復如此，蓋因，此乃以作物收穫物供給家畜利用，使在家畜體內合成為優良品質之蛋白質與脂肪，而再利用作為人類食糧者。

據此，則站在利用植物的立場上，可知具有有關於營養及肥料方面之知識，對於與廣泛的全部農業領域有關連的農業從業人員均屬必需。

一般，植物係吸收無機物作為營養來源，並利用太陽光線之能合成有機物，此點與攝取有機物為營養來源，利用其能，然後再將廢物排除的動物，成一強烈對比，故謀使植物—動物—微生物間獲得均衡，才能完成地球上之循環，我們人類方有可能生存。

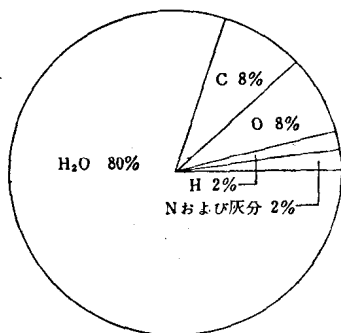
由人類栽培的植物稱之為作物，在栽培作物時，為著增加生產，天然供給量不足的營養元素，即應以肥料補充之。

基上觀點，在本書第一章中，以無機營養元素之生理機能為中心，加以說明。在第二章中，論及肥料之種類及特性。在第三章中，敘述肥料之施用法。在第四，五章中，涉及要素之缺乏及過剩，特異徵狀及其改進對策等。期使農業從業人員能即時應用而作記敘之準則。

1-2 作物體內之元素及其分類

1. 作物體內之元素

現在地球上已被發現的有 103 種元素，但並非全部已可自作物體內檢出。然而隨分析法之進步，所知之數量仍在增加中。



第 1 圖 作物體內之元素 (平均)

檢定作物體內含有元素，所常使用的方法，始自化學分析，其他尚有利用元素焰光的分析法，原子吸光分析法及利用原子爐之中子的放射化分析法等。

作物體內各元素存在量，示如第一圖，水分 (H₂O) 平均占 70-90%，除水分外，其他 10-13% 稱之為乾物質。乾物質中構成有機成分之主要元素為碳 (C)，氧 (O) 及氫 (H) 約占 90%，氮及其他各種元素，只占 10% 而已，但此類元素中，多數在作物之營養及肥料上，具

有重要意義。若將作物體燃燒，此類元素乃成為灰分而殘留，故又稱之為灰分。

2. 巨量必需元素及微量必需元素

已有 60 餘種元素自作物體內檢出，但此並非說明其全部對於作物生育是屬於必需而不可缺少的，現已確定屬於必需元素，僅有 16 種而已。

即碳 (C)，氫 (H)，氧 (O)，氮 (N)，磷 (P)，鉀 (K)，鈣 (Ca)，鎂 (Mg)，與硫 (S) 等 9 種元素，稱之為巨量必需元素。鐵 (Fe)，錳 (Mn)，銅 (Cu)，鋅 (Zn)，硼 (B)，鉬 (Mo) 及氯 (Cl) 等七種

元素，稱之為微量必需元素。

作物體內各元素之存在量，每因作物及土壤種類而有所不同，茲舉其中一例，示於第一表中。據此可知，各巨量必需元素分別約占乾物質總重之 45.4~0.23%，各微量必需元素存在量之變異，約在 0.20~0.0002% 之範圍。

第 1 表 植物體及土壤中之元素存在量（乾物質中）（Bowen）

元素	植物體	土 壤	元素	植物體	土 壤
C	454,000	20,000	Si	220	330,000
O	410,000	490,000	Zn	160	50
H	55,000	—	Fe	140	38,000
N	30,000	1,000	B	50	10
Ca	18,000	13,700	Sr	26	300
K	14,000	14,000	Rb	20	100
S	3,400	700	Cu	14	20
Mg	3,200	5,000	Ni	2.7	40
P	2,300	650	Pb	2.7	10
Na	1,200	6,300	V	1.6	100
Mn	630	850	Ti	1	5,000
Al	550	71,000	Mo	0.9	2

單位：ppm（百萬分之一，相當於 $10^{-4}\%$ ）

所謂某元素是必需的，為在水耕或砂耕法中，除了其他重要因素外，若該某一元素欠缺時，作物即不能正常生育，如(1)發生某一元素特有之缺乏徵狀。(2)不能完成自發芽以至成熟，整個生育期間之生育。(3)可以明瞭某一元素在生理上之任務等。當以上 3 種條件能充分滿足時，方能判斷其是否屬於必需的元素。茲為供參考，將有關於植物及動物之必需元素比較而列於第 2 表中。

第2表 有關植物及動物之必需元素

元素	必須性		元素	必須性	
	植物	動物		植物	動物
C	○	○	Si	?	×
O	○	○	Fe	○	○
H	○	○	Cl	○	○
N	○	○	Mn	○	○
K	○	○	Zn	○	○
Ca	○	○	Cu	○	○
S	○	○	B	○	×
P	○	○	Co	?	○
Mg	○	○	I	×	○
Na	?	○	Se	×	?

註：○……必需 ?……不明 ×……不要

3. 依肥料成分而分類

氮，磷^{*}，鉀^{**}謂之為肥料3要素。於農業上，不論在水田或旱田中栽培的作物，其收穫物皆為不歸還於土壤的掠奪式收穫，因此每使殘留於土壤中此3種元素，不足以培育後期之作物，故必需施用肥料以補充之。換言之，即氮，磷，鉀皆可說是天然供給不足之元素，故必需施用肥料以補充之。反之，若碳，氫，氧等元素，在作物體內存在量雖多，但由於大氣及水的天然供給量豐富，故通常無特別供給之必需。

矽酸^{*}常被以特殊成分處理，矽酸尚未被確認為必需的元素，但若施用之於水稻，則除能防除稻熱病與防止倒伏外，尚認為有增產的效果，故屬被用作肥料而多量使用的元素。又因旱田作物，多有發生鎂、硼

^{*}元素態磷(P)與矽(Si)，其在肥料中含有量，慣例係以磷酸(P_2O_5)及矽酸(SiO_2)等氧化物形式而表示之。

^{**}鉀在日語中係援引德語Kalium之音譯的外來語，通常只稱Kali(カリ或加里)。

、錳、鐵、銅、鋁與鋅等之缺乏徵狀，特別在日本旱田，鎂的缺乏地帶分佈極廣。故除矽酸與鎂外，有時亦將該等微量元素總括之而稱為特殊成分。該等微量元素在田地中發生缺乏病徵時，常並非由於土壤中的全存在量，而係由於易被作物吸收的形態（有效態）之存在量及與其他元素間之不平衡之狀態而使然。

然而，因為微量元素在土壤中若呈蓄積狀態，則成為有害的作用，故日本之肥料管理法中，現在只有錳與硼被認為係合法肥料，其他元素若施用於土壤中時，應依化學試藥處理而定，但作為葉面噴洒劑（散佈劑）而混入鐵，銅，鋁及鋅，則被認可。

第3表 依肥料管理法實施令之規定的肥料分類

3 要素系列肥料	{	氮質肥料	其他肥料	{	石灰質肥料
		磷酸質肥料			矽酸質肥料
		鉀質肥料			鎂質肥料
		有機質肥料			錳質肥料
		複合肥料			硼質肥料
					微量元素複合肥料

1-3 與作物營養有重要關係之生理作用

1. 光合作用（光合成作用）

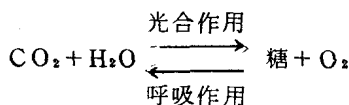
A. 概論 含有葉綠素之植物，攝取太陽光線之能，以二氧化碳及水為原料，合成為糖，此謂之為光合作用。

糖若燃燒時，會發生多量的熱，自此事可知，糖係含有多量能的物質。也可以說光合作用，係含有葉綠素的植物，把太陽光線的能轉變成化學能，以高能性的糖而積蓄的作用。

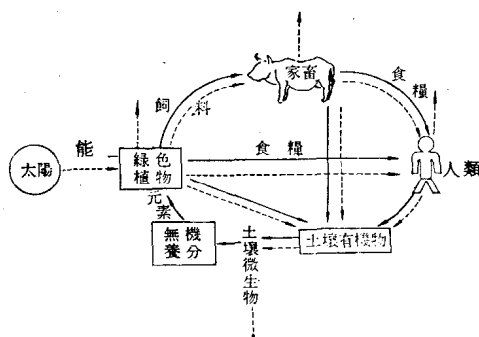
構成植物體的蛋白質，脂肪與纖維素等物質，係以糖為原料，而於其體內合成。

另一方面，無光合作用能力的動物與微生物，則利用植物合成的有

機物為呼吸作用之能源，然後再將排泄物，即 CO_2 送回大氣中。



基此事實，把大氣中的 CO_2 量保持在 0.03—0.04% 濃度範圍，而使在地球上包含人類在內等各種生物成為有存在的可能。



註：實線係表示元素，虛線係表示能

第 2 圖 有關於農業的元素及能之循環

然而在太古的某一時代中，由光合作用而合成的有機物，遠超出因呼吸作用所消費的量，那時被蓄積的光合作用產物，就是現在的以石油及煤之形態而被埋藏在地下者，故我們把它燃燒放出 CO_2 ，是處於利用起因在石炭期時代的上述兩種作用過程中之差，而獲得能源的現況中。但必須注意者，為煤及石油資源並非係無限量的物質。

地球上被利用於光合作用中的 CO_2 量，以 C 計，每年可達 2,000 億噸，其中被海水及淡水產的藻類利用者，約達 92%，其餘的約 8%，計 160 億噸係被陸生之野生及栽培植物所同化。

第 4 表 地球上之陸生植物的光合成量 (Riley 1944)

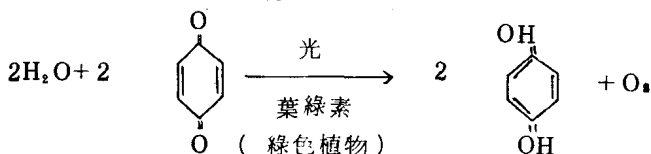
	總面積、 10^6 km^2	光合成量 (10^9 tonC/年)
森林地帶	44	11.0
耕作地帶	27	4.0
乾燥草原地帶	31	1.1
沙漠地帶	34	0.2
極地帶	13	—
合計	149	16.3

細分有如第4表所示，其中以森林地帶最大，即以耕作地帶論，亦有40億噸之多被同化。若以之與工業相比較，即可知其有多麼膨大的規模。

B. 光合作用之機構 近年來因利用放射性同位素研究*，對於光合作用機構已有更進一步的瞭解。即光合作用係經過固定光能的明反應與利用已被固定的能還原二氧化碳的暗反應兩個階段而進行。

a. 明反應

明反應可分為Hill反應及光磷氧化反應而考慮之。綠色植物倘使無二氧化碳的存在，即以光照射，亦幾乎不發生氧，若給與易還原的物質如苯醌(Benzoquinone)，則可如次式之反應而發生氧。此一現象係由英國之Hill氏所發現，故稱之為Hill反應。



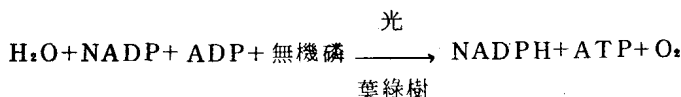
Benzoquinone
(苯醌)

Hydroquinone
(氫化醌)

在生物體內，以NADP**代替苯醌可被還原為NADPH。

綠色植物，據發現亦有利用光能以生成ATP***之能力，此即謂之為光磷氧化反應。

總括明反應如次式：



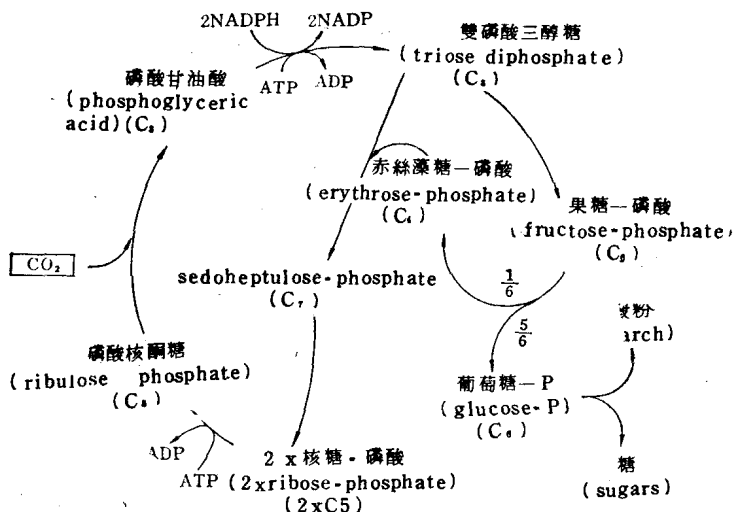
*利用放射性同位素之放射能作為目標，以追蹤其行動的方法，稱之示踪(tracer)法。

** NADP 係 Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate 之縮寫，與生物體內之氧化還原有關係。又 NADP 亦即 TPN。

*** ATP 係 Adenosine triphosphate 之縮寫，與生物體內之能的傳遞有關係。ADP 係 Adenosine diphosphate 之縮寫。

b. 暗反應

暗反應乃將二氧化碳還原成爲糖之過程，係利用因明反應而被吸進的光能之酵素反應，即二氧化碳（含碳數1個，故標示之以 C_1 ，餘類推）與 ribulose diphosphate (RuDP, 雙磷酸核酮糖, C_5) 結合後，分解成爲 phosphoglyceric acid (PGA, 磷酸甘油酸, C_3)，phosphoglyceric acid 經由 triose diphosphate (雙磷酸三醇糖) 再成爲 hexose (六碳糖, C_6)，其中一部分反回 ribulose diphosphate，被利用作爲下次吸進的二氧化碳之用。此過程係用發現者之名，而命名爲卡耳文循環 (Calvin-cycle)。

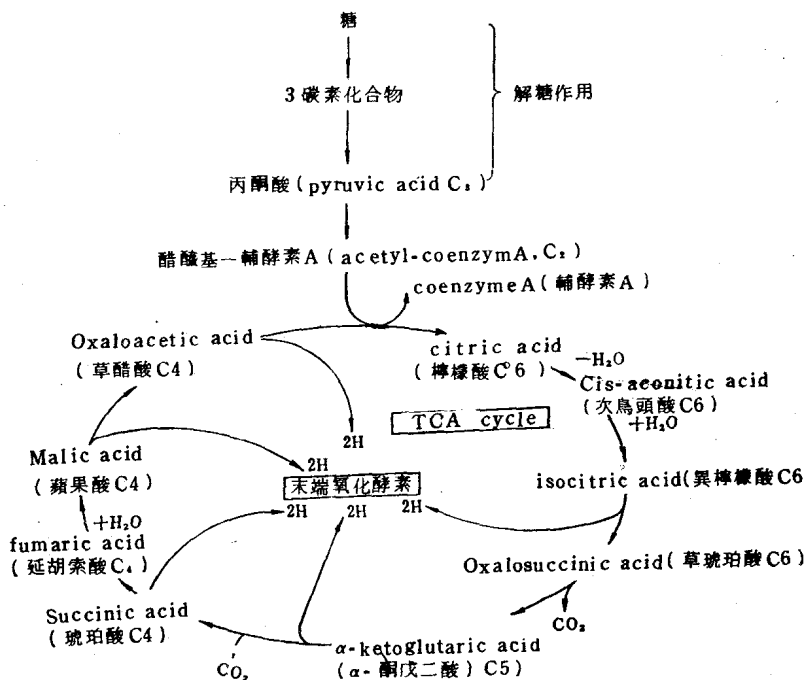


第3圖 暗反應 (Calvin-cycle)

C. 光合作用中利用能之效率 在野外太陽光線之能，可被利用於作物之光合作用者，約有0.5~2%，利用率低因素之一，爲土壤中之養分與水分及溫度等環境因素或條件，並非係對於作物生育處於最適合之狀態。若在溫室中，儘可能保持最適宜之條件下栽培作物，則利用光能之效

率可較普通田園中者多出數倍。但太陽光線中，綠色植物能利用的，為 $400\sim 800m\mu$ 的部分，約僅占全部能量的 40%，在光合作用中，光能的轉移效率約為 30%，由此可見，就是現況是屬於最適合之環境條件，在光合作用中，光能之利用率，也不過約為 12% 之程度而已。

2. 呼吸作用



第 4 圖 好氣呼吸之途徑 (TCA 循環，二循環程序)

植物與動物一樣，由同樣的機構進行呼吸。呼吸作用係作物體吸進氧氣，將體內之糖及其他有機物氧化而分解成為二氧化碳及水的作用。此時所釋放之能，係被利用供作蛋白質及其他作物體構成成分之合成與養分之吸收等廣範圍的維持生命之須要。

作物通常於有氧氣存在下，行好氣性呼吸。但若因浸水等原因而缺乏氧氣時，也會作嫌氣性呼吸。嫌氣性呼吸也叫做發酵，能產生乙醇與醛 (aldehyde)，故不能長期間繼續。

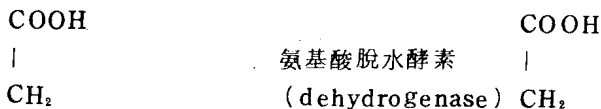
好氣性呼吸的過程如第 4 圖所示，可分為解糖作用及 TCA 循環 (或取發現者之名，而名之為 Krebs cycle) 與末端氧化酵素系列。所謂之解糖作用，係糖被分解成為丙酮酸 (Pyruvic acid $\text{CH}_3\text{COCO}_2\text{H}$) 的整個過程，在嫌氣性條件下亦可進行。TCA 循環，係丙酮酸經由甚多種類之有機酸後而放出二氧化碳之過程，必須在好氣條件下進行。末端氧化酵素系列，係經 TCA 循環生成的 NADH 與 NADPH 之 [H] 原子，由酵素經酵素而轉移，最後與氧反應生成水之過程。

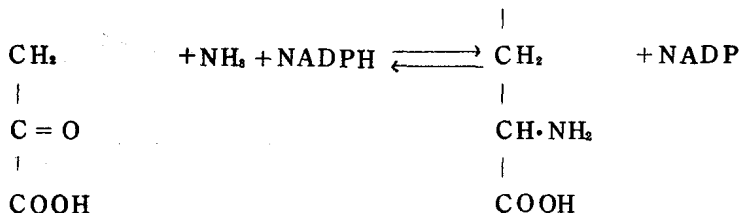
3. 氮素之代謝

A. 作物能利用之氮素形態 作物主要是以氨 (NH_3) 及硝酸 (NO_3) 等之無機離子形態而吸收氮，並於體內合成氨基酸及蛋白質等。在特殊的情況下時，寄生在豆科植物的根上之根瘤菌，可由吸收空氣中的氮素氣體而合成氨基酸，以供給寄主的豆科植物。此外如尿素，氨基酸及尿酸等低分子之有機氮化合物，亦可被吸收利用。由如此簡單的化合物以形成各種氨基酸及蛋白質，再變化為其他氮化合物的過程，稱之為氮的代謝。

B. 氮的同化途徑 作物體內吸收的 NO_3 ，被還原為 NH_3 後，而被同化即謂之為硝酸還原，此係由硝酸還原酵素所執行者。硝酸也會在根中被同化，但大部分以原來的形態移轉到地上部分中，並在那裏被合成為有機物。

氮在根中首先與在呼吸作用中由 TCA 循環程序所生成之 α - 酮戊二酸 (α -ketoglutaric acid) 相結合，而形成穀氨酸 (glutamic acid)。





α - 酮戊二酸 (α -ketoglutraic acid) 麩酸 (glutamic acid)

由 glutamic acid 經氨基酸轉移酵素再形成多量之氨基酸，而存在於作物體內。

