

# 認識化學肥料

吳正宗

國立中興大學 土壤環境科學系

依肥料管理法第三條所稱肥料係指『供給植物養分或促進養分利用之物品』，所稱堆肥係指『以有機質材料，經醱酵腐熟之肥料』，其種類根據『肥料種類品目及規格』分成八大類：

1. 氮肥類：共有尿素等20品目。
2. 磷肥類：共有過磷酸鈣等9品目。
3. 鉀肥類：共有氯化鉀等10品目。
4. 次量、微量要素肥料類：包括鈣、鎂、矽之次量要素肥料及鐵、硼、錳、鋅、銅、鋁之微量要素肥料；共有硫酸鎂等41品目。
5. 有機質肥料類：包括植物質肥料、動物質肥料(含其排泄物)及其所堆肥化產生的堆肥等；共有植物渣粕肥料等14品目。
6. 複合肥料類：二種以上三要素肥料混合，或再與次量、微量要素肥料、有機質肥料混合者；共有複合肥料等3品目。
7. 植物生長輔助劑類：不屬於前六款肥料，而對植物生長有促進作用者；有腐植酸1品目。
8. 其他肥料類：其規格由主管機關個案審定。

本章將針對三要素、次量、微量及複合肥料等化學肥料進行說明。

## 一、氮肥的特性與施用要領

### (一)氮肥的種類及其性質

作為氮素源的化學肥料，主要有兩種型態，分別為硝酸態氮及銨態氮，亦有同時含此兩種型態者，另外有有機態(含碳化學氮肥或醯胺態氮)，較重要的化學氮肥及其分類如表 1。化學氮肥均極易溶於水，有效性高，施用效果迅速。

#### 1. 銨態氮肥

##### (1)屬生理酸性肥料

銨態氮肥除硝酸銨、碳酸銨為生理中性外，其他均為生理酸性肥料，施用後易使土壤酸化，此因銨被作物吸收後遺留酸根及銨態氮在硝化過程中產生氫離子之故。

##### (2)可被土壤膠體吸附

表1 主要的氮肥種類及其性質

肥料種類	氮含量 %	生理 <sup>1</sup> 反應	產酸 <sup>2</sup> 趨 勢	鹽度 <sup>3</sup> 危 害	吸濕 <sup>4</sup> 性	性質說明
銨態氮肥(Ammonium Fertilizers)						
無水氨	82	酸	-148	低	—	施用時需高壓設備，為有毒氣體
氨水	12-16	微酸	-38	低	—	易揮發損失，具腐蝕性與刺激性
碳酸氫銨	17	中	—	—	—	易分解揮發損失
氯化銨	24-25	極酸	-138	高	77.2	吸濕性較硫酸銨大，迅速使土壤酸化
硫酸銨	20-21	極酸	-110	高69	79.2	吸濕性小，物理性佳，易使土壤酸化
硝酸態氮肥(Nitrate Fertilizers)						
硝酸鈣	11-12	鹼	+20	很高52	46.7	極易吸濕潮解，助燃易爆
硝酸鉀	13	中	+26	很高73	90.5	含有氧化鉀39%，植物反應迅速，為複合肥料，稍具吸濕性，助燃易爆
硝酸鈉	15-16	鹼	+29	很高 100	72.4	使土壤構造分散、硬化，排水變差，具強吸濕性，助燃易爆
銨硝酸態氮肥(Ammonium Nitrate Fertilizers)						
硝酸銨	33-34	微酸	-59	高104	59.4	具銨態、硝態氮肥的特點，具吸濕性，助燃易爆
硝酸銨鈣	20-26	鹼	0	中	—	
硝硫酸銨	25-27	酸	—	高	—	
醃銨態氮肥(Amide Fertilizers)						
尿素	46	中	-84	中	—	高溫高濕下，吸濕大，經尿素酶水解成銨態氮始可被植物吸收，肥效較銨、硝態氮略遲
氰氨化鈣	20-22	鹼	+63	低	—	具殺蟲、殺菌、除草及打破休眠效果，具腐蝕性
常壓液態氮肥(Normal Pressure Liquid Nitrogen Fertilizers)						
硝酸銨鈣	17	鹼		中		石灰與硝酸反應，再用氨中和之
硝酸銨液	20	中				硝酸銨與水質量比為57.2:42.8的混合液
尿素液	20	中				尿素與水質量比為43.5:56.5的混合液
尿素硝酸銨液	28	中				硝酸銨、尿素與水質量比為39.5:30.5:30.0的混合液
尿素硝酸銨液	30	中				硝酸銨、尿素與水質量比為42.2:32.7:25.1的混合液
尿素硝酸銨液	32	中				硝酸銨、尿素與水質量比為44.3:35.4:20.3的混合液

1. 肥料施入土壤經植物吸收後，導致土壤pH值下降者為生理酸性，pH值上升者為生理鹼性

2. 負值表產酸，正值表產鹼

3. 以硝酸鈉施入土壤5天後，土壤溶液的滲透壓定為100，其他等當量肥料施用後之滲透壓之相對值

4. 吸濕性分級：50以下極強，50-60強，60-70中，70-75中弱，75-80弱，80-85很弱，85以上不吸濕

銨離子帶正電荷，在土壤中可被帶負電荷的土壤膠體所吸附，較不易移動及淋洗損失，肥效持續時間較長，被吸收時僅靠根之接觸截取。

### (3) 易發生硝化作用導致土壤酸化

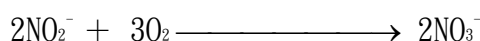
銨離子在適當的pH值(6.0~8.0)、溫度(30~35°C)、通氣及水分(田間容水量的50~67%)下，很容易被硝化細菌氧化成硝酸態氮。旱田土壤中的氮素大部分以硝酸態氮的型態存在及被植物吸收。

Nitrosomonas(Chemoautotrophic bacteria)



pH 6-8, aerobic soil, 30-35°C

Nitrobactor(Chemoautotrophic bacteria)



aerobic soil

### (4) 中鹼性環境易有氮的揮失

銨離子在鹼性環境中會有氮的揮失，故氮素肥料型態為銨鹽時，應儘可能不施用於pH值超過6.5的土壤，且忌與鹼性肥料混合同時施用，但應配合石灰或其他鹼性物質施用，以免土壤酸化。



### (5) 副成分

如氯化銨與硫酸銨均屬於銨態氮肥，主成分完全一樣，副成分有差異。

- 氯化物比硫酸鹽溶解度大，更易於淋失，更易使土壤酸化。
- 氯離子有抑制硝化細菌的作用，可以減緩銨離子的硝化過程，使銨離子能在土壤中保存較久。
- 氯離子不會還原使水稻根變黑，反觀硫酸根在強烈還原厭氣條件下，會還原成硫化氫使水稻根變黑，影響水稻根對養分的吸收，所以氯化銨施用於水田的效果較硫酸銨好。
- 氯化銨的氯對某些忌氯作物的品質有影響，如施用過量，會使山芋、馬鈴薯、甘薯、樹薯等澱粉及糖含量降低；會使甘蔗、甜菜含糖量及品質降低；氯也會影響煙草耐燃性及降低茶葉品質，因此，在這些忌氯作物不要施用氯化銨，如要施入需提早施用。
- 有些具特殊辛辣味道的作物，如大蒜、蔥、薑、香草植物等好硫作物，施用硫酸銨效果則較佳。

## 2. 硝酸態氮肥

### (1) 具強吸濕性

硝酸態氮肥料在固態時，具有強烈吸濕性，所以導致肥料的含氮量因含水量不一而有差異。硝酸態氮肥料吸濕後，會結成硬塊或潮解成熔融態，

取用時非常不方便。

(2)屬生理鹼性肥料

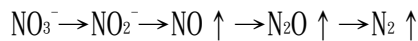
硝酸鹽中除硝酸鉀、硝酸銨為生理中性外，餘均為生理鹼性肥料，當用量大時，極易使土壤pH值變高。尤其是硝酸鈉，因植物大量吸收硝酸鈉的硝酸，而遺留鈉離子，致土壤排水性質變劣。

(3)對土壤膠體吸附弱，易淋洗流失

硝酸根帶負電荷不易為土壤膠體所吸附，極易流失。

(4)厭氣狀態會有脫氮損失

施用於水稻田因處於厭氣狀態，空氣不易流通，會有變成亞硝酸鹽為害作物或脫氮損失之慮，故不能一次大量施用，宜分少量多次施用。硝酸態氮肥料與未腐熟堆肥及過磷酸鈣混合亦會有脫氮損失。



化學異營細菌

(5)高溫下易燃易爆

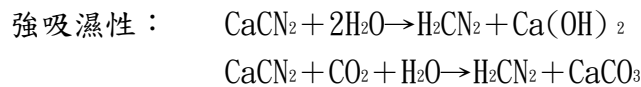
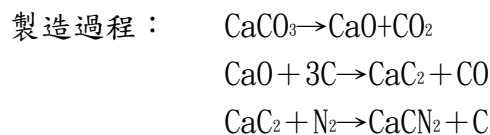
大多數硝酸態氮肥受熱分解放出氧氣，因此，結塊後不可以錘敲擊。

(6)副成分

硝酸鈉與硝酸鈣同為硝酸態氮肥，其副成分鈣具絮聚作用，鈉則具絮散作用，施用後影響土壤排水及構造性質甚巨，不可不慎。

3. 鹽銨態氮肥

(1)氰氨基化鈣(又名氰氮化鈣或石灰氮，俗稱烏肥或黑肥， $\text{CaCN}_2$ )



a. 為生理鹼性肥料

b. 具強吸濕性：貯藏期間因吸濕，會有氮素損失及變質為雙氰氣，保存時需加以密封，放置乾燥場地。

c. 土壤吸附弱：氰氮化鈣易溶於水，不為土壤膠體所吸附，其由銨態變為硝酸態的時間較其他氮肥為久，故肥效較長。

d. 具有發芽障礙及殺草效果：氰氮化鈣遇水生成氰氣( $\text{H}_2\text{CN}_2$ )，氰氣對植物有害，具有發芽障礙及殺草效果，故施用後通常相隔1~2週後才播種或施肥位置需遠離種子3~5公分，方能避免毒害。

表2 氰氨基化鈣當農藥之適用病、蟲及雜草防治

作物	病、蟲或草害	使用量 (kg/ha)	使用時間	使用方法
水稻	福壽螺	200~300	種植前	撒布。翻犁後保持水深3~5cm，3~4天後全面撒布，再經3~4天插秧
水稻	一年生雜草	500~700	種植前	撒布
水稻	野稗	400~500	收穫後一週內	撒布
水稻	紋枯病	500		
水稻、十字花科	菌核病	600		
瓜類、十字花科蔬菜、萵苣、菠菜、甜椒、茄子	根瘤線蟲	500~1000	種植前	撒布後與土壤混勻
紅蘿蔔、牛蒡、豆類、馬鈴薯、甘藷、芋頭、山薯	一年生雜草	500~700	種植前	撒布
麥類	雜草	500~700	播種前	撒布
桑	介殼蟲	400~800g /溫水10L	7月上旬至10月上旬	把上澄液撒布植株或枝條基部
馬鈴薯	莖葉枯凋	10~15kg/ 100L	莖葉黃變期	莖葉撒布
麥	立枯病、株腐病	200~400		
麥	萎縮病	400~500		
蘋果、胡瓜	菌核病	500		
胡瓜	蔓割病	1000		
胡瓜、牛蒡、茄子	立枯病	800		
番茄、茄子	青枯病	1000		
旱田	切根蟲	600		全面撒布
旱田	蝸蟪	200		全面撒布
旱田	南方薊馬	400~600		作追肥撒布不要觸及作物
雞、畜舍、堆肥舍	蛆	糞量之2%		

- e. 具防治病蟲害效果：氰氮化鈣之殺菌效果較溴化甲烷為弱，要把土壤或稿穉中生存繁殖之菌完全殺死並不容易，但也因而使得施用後，微生物一時雖減少，之後繁殖變旺盛，反而比使用前增強。
- f. 可打破休眠：水田每公頃施用400~500公斤氰氮化鈣，可以打破野稗休眠，再利用冬天的低溫使其死亡。馬鈴薯以15%氰氮化鈣液浸5分鐘，於夏秋可提早1~2週發芽，萌芽數亦增加。葡萄枝條塗抹20%氰氮化鈣液，可提早3週發芽，收穫提早15天。蘆筍每株以2%氰氮化鈣液2公升，於12月上旬至下旬土壤灌注，可促進萌芽且整齊。唐菖蒲木子浸以5%氰氮化鈣液1小時，可以促進發芽。
- g. 製造成本高：製造過程大量消耗電力能源，成本高。
- h. 施用要領：施用時需戴口罩、手套，避免直接接觸及吸入。否則接觸之手腳會有浮腫現象。又施用當日，不可飲酒，否則易醉。

## (2) 尿素

- a. 易溶於水及流失：一次用量過多來不及水解的尿素呈中性，由於土壤並不吸附，對根易引起肥害或流失。
- b. 水解後方可吸收：經尿素酶水解變為銨態氮後，才可被作物吸收。
- c. 肥效：比銨態氮、硝酸態氮肥遲幾天，通常夏天需1~3天，秋天需6~7天。
- d. 溫度影響水解最大：影響水解的因素有土壤水分、土壤反應、土壤有機物、土壤微生物及土壤溫度。其中溫度愈高水解愈快，土壤中性時，10°C左右，2~4日水解半量，7日左右幾全部水解；20°C左右，1~2日內已水解一半，全部水解只需3~4日，30°C時，僅一日即已大部水解。
- e. 生理反應：尿素經作物吸收後，無鹽基及強酸根遺留於土壤，對土壤反應無大影響，而且尿素所含之碳酸，在土壤中可溶解眾多之可溶性養分，如磷、鉀、鈣等之化合物，有促進養分效率提高的作用，若以二氧化碳，發散至地面，尚可促進光合作用。
- f. 具吸濕性：常製成顆粒狀或裹以硫黃而成為緩效性肥料。

針對尿素的上述特性，下列措施可以提高尿素效率。

- a. 深施覆土：尿素若施在地表面上，常溫下4~5天後，大部分氮素便氮化揮發掉，利用率只有30%左右，尤其是在石灰性和鹼性土壤的表面，其氮的揮發損失更為嚴重。因此，尿素用於旱作追肥時，最好是開溝深施10cm以下，這樣才能使尿素處於濕潤土壤之中，有利於尿素的轉化，也有利於銨態肥被土壤所吸附，減少揮發損失。
- b. 製成大顆粒或裹以硫黃。

- c. 配合硝化抑制劑施用。
- d. 與氯化鉀併用：等量尿素與氯化鉀製成水溶液施用，可減少氮的揮失5~20%，同時伴隨玉米增產。以氯化鉀包裹尿素製成粒劑施用，更可大大降低氮的揮失，進而增加氮素的利用率。若尿素與氯化鉀分別製成粒劑後混合施用，則尿素氮的利用效率並沒有提高。
- e. 與作物要保持一定距離：尿素含氮量高，具有很大的吸濕性。在追肥時，要防止尿素施在作物根系附近，更不能把尿素掉進作物的心葉裏，以免燒傷幼苗，影響生長，一定要與作物保持一定距離。
- f. 比其他氮肥提前施用：尿素是一種低分子的有機化合物，施入土壤後，在分解細菌所分泌的尿素酶作用下，轉化為碳酸銨後，才能被作物吸收。因此，用尿素追肥時應比其他氮肥提前7天左右施用。
- g. 切忌與鹼性肥料混施：尿素追肥時切忌與鹼性化肥混合同時施用，以防降低肥效。如果與鹼性肥料非混合施用不可時，也要錯開施肥日期，一般隔3~5天即可。但尿素與氯化鉀、磷礦粉和過磷酸鈣等肥料混合施用時，其增產效果很顯著。
- h. 追肥後不宜馬上灌水：尿素施入土壤後，在未被水解轉化前，是不能被土壤所吸附的。如果在追肥後馬上灌水，會造成尿素的流失。土壤缺水嚴重，非灌水不可時，也要做到小水勤灌，切忌大水漫灌。
- i. 做葉面追肥：尿素對作物葉片損傷較小，又易溶於水，擴散性強，易被葉片吸收，進入葉片後不易引起質壁分離現象，因此，很適於葉面追肥。用尿素做葉面追肥的濃度因作物種類不同而有差異，禾本科1.5~2%；葉菜類1.0~1.5%；果菜類0.5~1.0%；果樹類0.5%，在開花期濃度應更小些，溫室內作物亦需調降至0.2~0.3%。噴施的時間在下午4時後進行為宜。

#### 4. 緩效性氮肥(控制性氮肥)

氮素化學肥料的溶解度大，有效性高且快，有效期通常很短，一次大量施用易造成肥傷，並且受最低溫度的限制(土壤溫度需達10°C以上才能有施肥效果)。施用硝酸態氮易因淋洗而損失，施用銨態氮有效期雖可較長，但高濃度易導致氮的為害。因此，不管銨態或硝酸態都必需分多次施用，方可達到預期效果。為了延長肥料效果，減少施肥的損失、適時提供作物需求、避免濃度障礙、奢侈吸收及改善肥料物理性狀等，控制性氮肥乃應運而生。

控制性氮肥包括非水溶性氮素(Water Insoluble Nitrogen)、裹覆緩效性氮素(Coated Slow Release Nitrogen)、緩效水溶性氮素(Slowed Available Water Soluble Nitrogen)及控制性氮素(Controlled Release Nitrogen)等四類。

控制性氮肥的型態可分成化學合成、硫素裹覆、聚合物-樹脂裹覆、吸藏(將氣或液體吸留於固態晶體中)、硝化抑制劑(或尿素酶抑制劑)及天然的有機物等六大類。其中較常用的控制性氮肥如表3。

(1)大顆粒尿素

利用顆粒成型法，使尿素粒徑達2~4mm，最大的可達15mm，因粒狀作用慢，可使肥效較長，減少氮素損失。

表3 幾種不同控制性氮肥之氮含量、氮素型態、有效期及釋放機制

肥料種類	水溶性 緩效水溶性 裹覆緩效性 非水溶性				釋放機制	有效期
	%					
大顆粒尿素	46(100)				水分	
裹硫尿素	12.8(32)		27.2(68)		微生物、溫度、水分	
樹脂裹覆尿素			43(100)		溫度	3~36個月
聚合物裹覆尿素			42(100)		溫度	3~36個月
尿素甲醛	11(29)			27(71)	微生物、溫度	3~9個月
石膏尿素	11.5(50)	11.5(50)			水分	
亞異丁基雙尿素	4(13)			27(87)	水分	12~16週
亞甲基尿素	5(13)	20.5(51)		14.5(36)	微生物	

\*不同廠牌因製造處理和貯存過程不同，在含氮量及有效型態上有些許變異。上表僅係其中一例而已。括弧內為不同型態的百分比。

(2)包裹尿素

在尿素外層包上一層半透明或難溶性的膜，控制了養分的釋放，以使肥效長久。主要種類為裹硫尿素(Sulfur-Coated Urea, SCU)，粒狀尿素被覆硫黃即是。若被覆16~24%的硫黃，施入土壤後第一週可釋放20~25%的氮，以後每日約釋放1%。其價格較尿素貴3到4成，然施用後效果較長並減少流失、揮失及淋洗損失，應可彌補價格較昂的缺失。

(3)尿素甲醛(Urea-form aldehyde)

由尿素與甲醛聚合之化合物，含氮35~44%，其中30%為常溫下水溶性，其餘70%為熱水溶性，為白色粒狀，溶解慢，吸濕性低之化學氮肥。

(4)石膏尿素

含氮23%，為尿素取代石膏中的結晶水之化合物，長條狀，易溶與難溶物各半，中性反應，吸濕性低。

(5)IBDU(Isobutyldiene diurea)

含氮20~30%，其分解速度由肥料顆粒大小所決定，利用這一特點，



選擇適當大小的顆粒並與其他肥料配合來調節供氮速率和時間，可滿足不同作物、土壤的需求。

#### (6)長效尿素

含氮46%，易溶於水，中性。它是在普通尿素生產流程中添加一定比例的尿素酶抑制劑而製成的，能使尿素在土壤中的轉化速度減慢，肥效期延長，流失量減少，氮素的利用率提高。試驗證明，長效尿素肥效期長達90至120天，氮素利用率可提高到55%。

### (二)過量氮肥所引起的問題

1. 銨太多易使植物氮中毒。
2. 發生氮的揮失。在高pH值之下，銨之濃度又大時氮的揮失多。
3. 植株軟弱，易倒伏、抗病性差。氮素吸收過多時，因氮素同化作用需消耗糖及能量，導致構成細胞壁之碳水化合物及澱粉之聚積降低，形成纖維素等原料減少，使作物組織軟弱，易罹病蟲害，對機械性之傷害抵抗力弱。
4. 結果性作物花數減少，花期延後，果實品質降低。氮素過多時，莖葉繁茂，延遲開花或減少開花，果實亦延遲成熟。
5. 拮抗作用。銨較多時，養分吸收產生競爭作用，使鉀、鈣及鎂的吸收受到抑制，產生生長障礙。尤其是夏季蕃茄及甜椒的臍腐果增加，可能是銨過多造成鈣吸收不足的結果。
6. 植體累積多量硝酸鹽，對人體健康有害。近年來，農民普遍施用氮肥以加速蔬菜生長；一旦氮肥過量，又日照不足，則蔬菜所吸收氮肥來不及同化，將以硝酸鹽型態累積於植體內，人們若長期食用恐有危害健康之虞。因為硝酸根離子一遇到口水中的消化酵素，即轉變為亞硝酸，這種化學成分已被醫界證實是致癌物。歐美曾發現有些嬰兒出現「藍嬰症」，問題就出在嬰兒食品來源中的菠菜含有過量的硝酸鹽。硝酸鹽除可能經消化酵素轉化為亞硝酸之外，它還會阻礙紅血球攜氧功能，所以人體吸收過量就會感到疲累、體力下降。目前歐盟已注意到因氮肥施用過量而導致蔬果含硝酸鹽偏高的問題，並訂定蔬果檢測硝酸鹽濃度不得高於2500至4500 mg-NO<sub>3</sub>/kg，但國內則尚未訂定規範。

### (三)氮肥施用注意事項

1. 銨態氮肥不宜與鹼性肥料混用  
混施後會產生氨氣揮發，降低肥料效果。常用的銨態氮肥有碳酸銨、硫酸銨、氯化銨、磷酸銨、硝酸銨等；鹼性肥料有鈣鎂磷肥、草木灰、石灰。
2. 硝酸態氮肥不宜和未腐熟有機肥混用

未腐熟有機肥碳氮比較高，微生物大量繁殖導致厭氣，遇硝酸態氮會在脫氮細菌作用下發生脫氮作用，損失氮素。常用的硝酸態氮肥如硝酸銨、硝酸鈉、硝酸銨鈣等。

3. 硝酸態氮肥禁止在雨天施用或施用後大量澆水

4. 尿素不宜緊貼種子

尿素含有縮二尿，影響種子發芽，濃度過高會使種子中毒。用尿素做種肥時不要將肥料直接接觸種子或控制施用量，每公頃不超過 22.5 公斤。

5. 尿素、碳酸氫銨不宜淺施

尿素施入土壤後，經過土壤微生物的作用，水解形成碳酸氫銨，然後分解出氨而揮發，所以尿素與碳酸氫銨應適當深施並立即覆土。

6. 尿素作葉面追肥濃度不宜過高

用作葉面肥，尿素效果確實好，但盲目加大用量提高濃度會適得其反。適宜的施用濃度是：糧棉作物 0.8~1.0%，果菜、茶等高經濟作物 0.4~0.6%。

7. 硫酸銨不宜長期施用

硫酸銨屬生理酸性肥料，長期施用增加土壤酸性、破壞土壤結構。施用在石灰性土壤硫酸根離子會與鈣反應使土壤板結。因此，要間隔或交替施用。

8. 硫酸銨不宜在水田大量施用

硫酸銨施入土壤後會落入缺氧的還原層，硫酸根離子被還原成硫化氫，在稻根周圍形成黑色的硫化亞鐵(FeS)，而形成黑根，影響養分吸收。

9. 氯化銨不宜施用在馬鈴薯、甘薯等忌氯作物上

常見的根菜澱粉及糖含量降低、煙草味道變壞燃性不良等，多半都是由於施用含氯肥料過量，導致氯離子中毒而造成的。

## 二、磷肥的特性與施用要領

### (一) 磷肥的分類及其性質

#### 1. 水溶性磷肥

磷礦石粉以強酸處理後的產品。磷酸一鈣、磷酸銨、過磷酸鈣、重過磷酸鈣及含水溶性磷的一些複合肥料等均是，此類肥料易溶於水，能為作物直接吸收利用，是速效性磷肥，然易被土壤固定，施肥後僅約10%為當期作物所吸收。製造不當的水溶性磷肥，含游離酸太多，酸性強、多濕氣，容易結塊，並腐蝕容器。施用時以粒狀條施、穴施為宜，盡量避免與土壤接觸，減少固定。

#### 2. 檸檬酸溶性磷肥

藉由高溫分解磷礦石而製成的磷肥。燒磷、熔磷、爐渣、鹼性熔渣....

等，可溶於2%檸檬酸而不溶於水，其肥效在酸性土壤中與水溶性磷肥相當，但於鹼性土壤則肥效急遽下降，因其不溶於水，雖效果較慢，但較持久。

### 3. 難溶性磷肥

將磷礦石直接磨粉用作肥料。磷酸三鈣、磷礦石粉、骨粉等，幾乎不溶於水及弱酸，只有在強酸條件下才能被溶解，肥效低且慢，僅適用於強酸性土壤。磨的愈細肥效愈高。施用時宜與土壤充分混合，才能增進肥效。

## (二) 主要磷肥的種類及其特性

### 1. 磷礦石粉(Ground mineral phosphate or apatite)

#### (1) 來源

磷礦石是主要的磷肥來源，通常存在於火成岩中，為自然存在的磷肥，與石油一樣，將有耗盡之日。磷礦石粉普通均為低級磷礦所磨成的細粉。優良的磷礦多作為製造水溶性磷肥的原料。

#### (2) 成分

磷礦石的通式為 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{X})_2$ ，式中X可能為 $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{OH}^-$ 或 $\text{CO}_3^{2-}$ ，通常為 $\text{F}^-$ ，一般含磷酐29~33%及氟3~4%。

#### (3) 特性

a. 呈灰褐色，中性，不吸濕結塊。

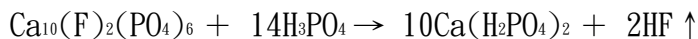
b. 愈細肥效愈高。磨細後表面積廣與土壤溶液容易接觸，可溶出多量磷酸於土壤溶液中。

c. 所含之磷大部分為非水溶性，適用於強酸性土壤( $\text{pH}<5.6$ )，鹼性土壤施用沒有效果。由於本省酸性土壤分佈甚廣，尤其紅土酸性高，直接施用磷礦石粉，可節省生產過磷酸鈣之加工費用。

### 2. 過磷酸鈣(Superphosphate)與重過磷酸鈣(Triple Superphosphate)

#### (1) 製造

磷礦石中所含水溶性磷極低，經由加入酸後，磷肥的溶解度增加，如過磷酸鈣為磷礦石加硫酸後的產品，重過磷酸鈣為磷礦石加磷酸的產品。



#### (2) 成分

主要成分均為水溶性的磷酸一鈣，過磷酸鈣含有效磷酐14.0~20.0%，台肥出品者為18%；重過磷酸鈣含有效磷酐43.0~49.0%。另外過磷酸鈣含有11~12%的硫，而重過磷酸鈣含硫量極微。

表4 磷肥的種類與性質

肥料種類	磷酐含量%	生理反應	產酸趨勢	鹽度危害	性質說明
<b>水溶性磷肥</b>					
過磷酸鈣	16~20	中		低	具輕微腐蝕性和吸濕性，通常製成粒狀施用，亦可以1~2%浸出液行葉面施肥，久置肥效會衰退
重過磷酸鈣	44~48	中		低	具輕微腐蝕性和吸濕性，適用於各種土壤
磷酸一鉀	52~54	中		低	含氧化鉀34%，吸濕性小，多配成0.1~0.2%溶液行葉面施肥
磷酸一銨	48~53	微酸	-65	低34	含氮11%，不吸濕結塊，長期施用無礙土壤性質
磷酸二銨	46~53	微酸	-70	中29	含氮18%，餘同磷酸一銨
<b>檸檬酸溶性磷肥</b>					
鈣鎂磷肥	18~21	鹼	+70	極低	含CaO 25~30%，MgO 10~15%，SiO <sub>2</sub> 40%，可提供多種肥分，不吸濕結塊，無腐蝕性，物理性佳
熔磷	16~23	鹼	—	極低	含有磷、鈣、鎂、矽
偏磷酸鈣	60~70	中		極低	物理性狀佳，需在土壤中水解轉化成正磷酸鹽始可吸收，肥效緩而長
<b>難溶性磷肥</b>					
磷礦粉	18~41	中	+10	極低	有效性低，適於以粉狀施用於強酸性土壤，含鎘與氟，需注意

### (3)特性

- 生理反應為酸性。磷礦石在酸化處理過程中，多少含有游離硫酸或磷酸，長期大量施用仍有土壤酸化問題。
- 製造不當的過磷酸鈣，含游離酸太多，酸性強、多濕氣，容易結塊，並腐蝕容器。
- 為水溶性磷肥，粉狀施入土中，極易被固定，一般以粒狀代替粉狀。
- 重過磷酸鈣不含石膏，在缺硫的土壤上，對一些喜歡硫的作物，如豆科、十字花科、百合科的蔥、蒜等作物的效果不及過磷酸鈣。但其不含硫，不會產生硫化氫而使水稻發生黑根毒害，所以在排水不良，還

原性強的水田效果比過磷酸鈣好。

- e. 磷礦石以硝酸處理，可製成含氮磷的複合肥料。
- f. 過磷酸鈣不可長期存放：過磷酸鈣含有一定量的游離酸，極易燒傷種子。因此，從生產到出廠一般都要經過13~17天的堆置熟化過程，使其轉化成對種苗無害的有效磷。但是堆放時間過久，則會降低肥效。這是因為過磷酸鈣中含有2~4%硫酸鐵、硫酸鋁和4%的游離酸，存放時間長了，能使水溶性磷轉化成難溶解的磷酸鐵和磷酸鋁。

### 3. 熔磷

#### (1) 製造

以磷礦石、蛇紋石或橄欖石等含磷、鎂礦物為原料，在電爐內冶熔(1350~1500℃)，經急速冷卻，再經乾燥、磨碎而成。

#### (2) 成分

含有磷、鈣、鎂、矽等物質，其磷酐含量在16.0~23.0%之間，98%以上屬檸檬酸溶性。

#### (3) 特性

- a. 為鹼性肥料，有中和土壤酸度之效，不吸溼。
- b. 肥效比過磷酸鈣遲緩，宜做基肥或施於作物根部充分發達之範圍，因其含鎂與矽，故缺乏此等元素之土壤可增進其肥效。

## (三) 磷肥與植物之關係

### 1. 磷在土壤中的有效性

- (1) 磷的移動或流失不容易發生。
- (2) 磷肥施入土壤後，易被固定形成不易溶解型，導致不易被植物吸收，土壤有效性磷的量僅為總磷量的1%以下。

### 2. 磷對於植物的利益

磷在植物營養中扮演相當重要的角色，許多的代謝中需依賴磷酸作用，加上磷是生物遺傳物質—核酸的組成分，對細胞分裂及分生組織的發育有非常重要的關係。其對植物的主要作用包括：

- (1) 促進根部發達，使生長發育旺盛；
- (2) 促進成熟，縮短生長期。如在氣候寒冷之處，可利用此種作用，避免霜害；
- (3) 提高品質；
- (4) 增加病蟲害抵抗力及耐旱力。

### 3. 缺乏之主要徵狀及影響

- (1) 植株、根及葉短小，呈暗綠色，老葉帶紫紅色，分蘖減少，延遲開花；

- (2) 所結之種子或果實較少；
- (3) 鬚根變粗，吸收水分之能力降低。

一年生短期作物當發現缺磷時，再去矯正已稍嫌遲。果樹缺磷將嚴重影響開花著果，果實的發育及品質。因此，瞭解磷在土壤中的行為，有助於正確的施用磷肥，使磷肥發揮最高的效果。

#### (四) 磷肥的特性

##### 1. 有效性深受pH值所影響

圖1與2顯示磷肥存在型態深受pH值所影響，而磷被植物吸收的主要型態為 $H_2PO_4^-$ 與 $HPO_4^{2-}$ 。

##### 2. 磷肥極易為土壤所固定

磷肥施入土壤後，可溶性磷有小部分進入土壤溶液，大部分被固定成為不穩定或穩定及不易交換的磷。土壤粘土礦物表面，鐵、鋁、鈣及鎂離子、氧化物與氫氧化物及非結晶化合物等，都有固定磷的能力。這些固定現象不外乎吸附及沈澱作用，使施用的磷肥效果降低甚多。土壤固定磷的大小能力受土壤礦物種類、粘粒多寡、酸鹼度、鈣、鎂、鐵、鋁的活性、土壤含水量及有機質含量等有密切關係。尤其是土壤酸鹼度影響最大。圖2顯示土壤反應與磷固定型態的關係。

##### 3. 磷肥為當作作物吸收之回收率不超過20%，通常約10%。

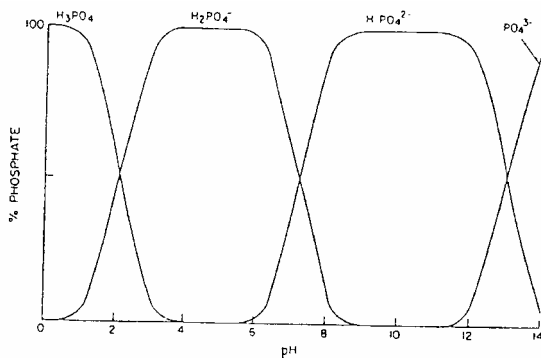


圖1 pH值對磷肥型態的影響

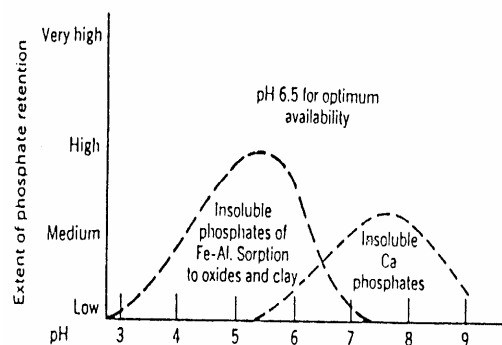


圖2 土壤反應與磷固定型態的關係

#### (五) 如何增進磷肥的肥效

##### 1. 調整土壤酸鹼度

太酸的土壤鐵鋁活性高，使磷形成磷酸鐵、磷酸鋁的沈澱；太鹼的土壤鈣鎂活性高，使磷形成磷酸鈣、磷酸鎂的沈澱；均使磷形成不溶態，而降低磷的有效性，調整土壤的pH值為6.5，可使磷有最高的有效性。

## 2. 接種菌根菌與溶磷菌

菌根菌可以與作物共生，增加吸收表面積；溶磷菌的分泌物可溶解磷的化合物而增加磷的有效性。

## 3. 施用有機質肥料

(1) 有機質肥料分解可以直接提供磷。

(2) 產生的有機酸可與鐵鋁結合，產生的二氧化碳溶於水產酸，間接造成磷的固定減少或溶解釋出。

(3) 有機質促成土壤微生物族群的繁衍，促進含磷物質的分解。

## 4. 水旱輪作

水田中的磷有效性較旱田高，其原因是浸水狀況下，不溶性磷的溶解度因浸水還原而增加。

## 5. 正確施肥方法

磷肥易被土壤固定，當季利用率只有10~25%，特別是在各種黏質土壤上，如果撒施水溶性磷肥，則不能充分發揮肥效。而必需採取溝施、穴施、拌種和蘸秧根等集中施肥方法，將磷肥施於根系密集土層中，則可以縮小磷肥與土壤的接觸面，減少土壤對磷的固定，提高利用率。作物吸收磷主要是靠擴散作用到根圈而吸收，對玉米試驗顯示，經由擴散作用(Diffusion)、整體流動(Mass flow)、根截取(Root interception)而被吸收的百分比分別為92.5、5.0及2.5%。因此，施用水溶性磷肥若能接近根系條施或深施，使擴散距離縮短，可提高磷肥之效率。但如果施用磷礦粉，則必需撒施，並與土壤充分混合，使能發揮肥效。

## 6. 氮磷鉀配合施用

小麥試驗顯示，氮磷鉀配合施用比單施磷增產16.5%，比單施氮增產10.5%，比氮磷配合施用增產6.4%。

## 7. 適期施用

作物磷營養的臨界期一般都在生育前期，此期施用能發揮最大效率。所以磷肥應盡量作基肥、種肥、秧田和苗床施肥、蘸秧根及早期追肥。

磷肥(尤其是鈣鎂磷肥)施入土壤後，在較長時間內(半年以上)，其有效性呈上升趨勢。因此，磷肥一般宜用作基肥，盡量避免作追肥施用。

## 8. 葉面施肥

用過磷酸鈣浸出液進行葉面噴施，可使葉片代替根吸收養分，合成有機質，減少吸收、運轉的過程，具有用肥少、肥效快、利用率高的特點。噴施時間以孕穗、灌漿期各噴一次效果較好。葉面噴磷每公頃用量30~45公斤即可，噴施濃度以2~6%為宜。

## 9. 避免低溫施磷

磷肥利用率的高低，除取決於土壤及作物本身條件外，還受氣溫條件的影響，當氣溫低於12°C以下，作物對各種營養元素的吸收利用率均呈下降趨勢，其中降幅量最大的是磷(達50%以上)。因此，施用磷肥應盡量避免在低溫期進行。

### 三、鉀肥的特性與施用要領

#### (一)鉀肥的種類及其性質

鉀肥有礦石及加工精製兩大類，鉀礦石如鉀鹽鎂礬(Kainit,  $\text{KCl}\cdot\text{MgSO}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )、鉀鈉石(Sylvinit,  $\text{KCl}\cdot\text{NaCl}$ )及光鹵石(Carnallite,  $\text{KCl}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )，其含水溶性氧化鉀在12.0~22.0%之間。在台灣因不生產鉀礦石，故使用不普遍。加工鉀肥係將鉀礦石加熱溶解，製成粗製鹽，再精鍊而成，有硫酸鉀、氯化鉀、硝酸鉀、磷酸一鉀、硫酸鉀鎂、碳酸鉀及腐植酸鉀，其中氯化鉀用量最多，也最普遍，硫酸鉀次之。

##### 1. 硫酸鉀

###### (1)成分與性質

含水溶性氧化鉀在48.0~52.0%之間，台肥產製含氧化鉀50%，為白色粉末，物理性佳，不具吸濕性，與其他肥料混合也不發生複分解。

###### (2)在土壤中的轉化

a. 硫酸鉀為化學中性生理酸性肥料，在酸性土壤上長期施用可能引起土壤酸化，所以在酸性土壤中施用硫酸鉀必需配合石灰施用。

b. 硫酸鉀施入土壤中，硫酸根和鈣形成石膏，能使土壤中鈣不致流失，對任何土壤及作物均很適宜。

##### 2. 氯化鉀

###### (1)成分與性質

純品為白色結晶，商品化的氯化鉀因含有鐵，常呈紅棕色的外觀，然顏色並不影響肥效。含水溶性氧化鉀48.0~62.0%，台肥產製含氧化鉀60%。屬生理酸性肥料，施用時最好與石灰併用。溶解度大，稍具吸濕性，儲藏儘量避免與空氣接觸。

###### (2)在土壤中的轉化

土壤膠體可以吸附鉀肥，但其吸附力較鉍弱，易淋溶，砂質土壤宜分多次施用。

##### 3. 碳酸鉀( $\text{K}_2\text{CO}_3$ )

為化學鹼性，黃褐色結晶，有吸濕性，含水溶性氧化鉀46%，為生理中性肥料，除鉀可提供作物所需外，其副成分碳酸在土壤中可溶解鈣、磷等化合物，以提供植物養分，若揮散到地面，可促進植物的光合作用。



表5 鉀肥的種類與性質

肥料種類	氧化鉀含量%	生理反應	產酸趨勢	鹽度危害	性質說明
水溶性鉀肥					
氯化鉀	60	極酸	0	高116	稍具吸濕性，長期貯存會結塊。土壤膠體可以吸附鉀肥，但其吸附力較鉅弱，易淋溶，砂質土壤宜分多次施用。適宜在棉麻等纖維作物上施用，喜鉀忌氯作物要慎用
硫酸鉀	50	酸	0	中46	物理性佳，不具吸濕性，與其他肥料混合時也不發生複分解。在土壤中硫酸根和鈣形成石膏，能使土壤中鈣不致流失。適宜在蔥薑蒜根菜類及煙草等作物上施用
碳酸鉀	46	中	—	低	副成分碳酸在土壤中可溶解鈣、磷等化合物，以提供植物養分，若揮散到地面，可促進光合作用
草木灰	5~25	鹼	—	低	植物體經低溫燃燒，所餘的灰分呈黑色，含鉀豐富，其中90%為碳酸鉀，可為速效性肥料。不宜與鉅態氮肥及水溶性磷肥混合施用
檸檬酸溶性鉀肥					
矽酸鉀	21	中	—	極低	為緩效性鉀肥，含有可溶性氧化鎂3.5%，可溶性氧化矽37%

#### 4. 草木灰

##### (1) 來源分類

植物體經低溫燃燒後，所餘的灰分呈黑色(若高溫燃燒，碳酸鉀與矽酸結合成不溶性矽酸鉀，肥效大為降低，其灰燼呈灰色)，含鉀豐富，其中90%為水溶性碳酸鉀，為速效性鉀肥。

##### (2) 性質

屬生理鹼性，適用於酸性土壤、腐植質土及黏重土壤，不宜與鉅態氮肥及水溶性磷肥混合施用，因為鉅態氮與鹼性肥料混合易造成氮的揮失；水溶性磷肥與草木灰混合，由於草木灰含鈣較多，易形成磷酸鈣而降低有效性。

##### (3) 成分

一般木灰比草灰，闊葉樹比針葉樹，硬木較軟木含鉀多，其含氧化鉀

在5~25%之間，如表6。將草木灰與魚肥、骨粉及油粕等含脂肪的肥料混合使用，有促進魚肥、骨粉及油粕分解的效果，可使肥效大增。

#### (4)功效

農田施用草木灰，能促進作物碳水化合物的合成與運轉(單糖轉化為蔗糖、澱粉，增加澱粉和糖分的積累)，促進光合作用的進行，提高光合效率。因此，草木灰適宜施肥於各種農作物，特別適用於喜鉀的薯類、蔬菜、豆類、麻類、煙草等農作物，用到氮磷較多的高產地上，效果更顯著。

#### (5)施用量

草木灰適用於各種土壤，可做基肥和追肥。施用量750~1500 kg/ha為宜。

表6 一些草木灰的成分

種 類	氧化鉀	磷酐	氧化鈣
	%		
針葉樹灰	6.00	2.90	35.0
闊葉樹灰	10.0	3.50	30.0
小麥桿灰	13.8	6.40	5.90
稻草灰	1.79	0.44	10.9
稻殼灰	0.67	0.62	0.89
花生殼灰	6.45	1.23	
向日葵桿灰	3.54	2.55	18.5
垃圾灰	3.00	1.00	
煙草灰	25.00	2.00	

#### (6)施用方法

草木灰易被風吹走，使用時可加水濕潤或加2~3倍土拌和後均勻撒施。如果穴施，在離作物根部10~15cm處，挖10~15cm深的穴，將灰肥施入，然後掩埋。條播作物，開溝條施。草木灰質地輕、鬆、顏色深，具有吸收太陽熱能和疏鬆表土的能力，最適合水稻和蔬菜育苗。

#### (7)草木灰可驅蟲抑病

- a. 防治大蒜、韭菜的根蛆：發現韭菜、大蒜有根蛆危害時，用草木灰撒在葉上可防治其成蟲，撒在根部可防治幼蟲根蛆。且對韭菜、大蒜有增產作用。

- b. 抑制病蟲害的發生：草木灰為鹼性，有很細的微粒，如接觸蟲體，可使其氣孔阻塞、生理失常。施撒草木灰還能抑制小麥赤霉病及白粉病的發生。
- c. 防治根腐病：草木灰防治果樹(梨、桃、山渣等)根腐病效果好。挖開根部土壤，清淨腐根周圍的泥土，刮去發病根皮，24小時後，每株覆蓋新鮮草木灰2.5~5公斤，灰上面再覆蓋泥土，治癒率達90%。

## 5. 矽酸鉀

### (1) 製程

長效矽鉀肥是由含鉀礦石配以石灰或白雲石，經加熱鍛燒，磨粉所產出的一種富含矽、鉀，並含有鈣、鎂和鐵、錳等微量元素的礦質化學肥料，含有效二氧化矽30%以上，有效氧化鉀8%以上，有效鎂8%以上，產品呈灰色粉末狀，具有無毒、無臭、無腐蝕性、肥效持久、不易流失的特性。

### (2) 施用矽鉀肥的必要性

當前的農業生產中，由於長期施用速效化肥，尤其是大量使用氮肥，加之施肥比例失調，土壤缺鉀嚴重，導致農產品的品質下降，農業生產效益降低。隨著農作物的持續高產，土壤中的有效矽含量迅速降低，缺矽土壤也很普遍，要使作物高產優質，必須在土壤中補充鉀和矽。

### (3) 矽鉀肥含多重植物所需養分

一般作物體內的含鉀量約占乾物重的0.3~5%，比磷含量高(有些作物體內含鉀量甚至比氮還高)。單子葉作物的含矽量多在2~4%，水稻體內含矽量占乾物質量的5~20%。由此可見，矽、鉀在植物體內含量很高，是植物體內最重要的組成部分。長效矽鉀肥，可以補充土壤中的矽、鉀、鈣、鎂、鐵等多種營養元素，能夠促進農業優質高產。

## (二) 鉀肥與植物之關係

1. 土壤中含鉀豐富，但大部份為無效態。鉀肥在土壤中含量極豐，美國耕地表土平均達0.83%(或18,600 kg/ha)，然而其中僅有1~3%成為有效態。在作物生長期中，作物所吸收的鉀，約有一半來自可交換態，其他一半來自較不溶解性礦物分解而釋放之鉀。
2. 調節細胞膨壓。鉀是植物生長及抗病的重要營養元素，與作物光合作用、蛋白質合成、輸導作用及蒸散作用的調節等功能有關。
3. 鉀缺乏徵狀。鉀在植物體內移動性高，缺乏時的症狀是老葉尖端及葉緣黃化、枯焦、根發育不良、莖枝軟弱、易倒伏、結果不良及抗病性弱等症狀。

### (三)鉀肥施用需注意事項

鉀是肥料三要素之一，與氮、磷相比，鉀肥的肥效不明顯，但是隨著農業生產的發展，作物單位面積產量和複種指數的提高，以及氮、磷化肥用量的增加，為了獲得作物高產量，必然對鉀營養提出更高的要求。同時，由於鉀肥資源有限，因此，合理分配和正確使用鉀肥顯得十分重要。

#### 1. 施肥方法

鉀肥在土壤中移動性較小，易為土壤組成分所固定，宜做基肥施於根系密集的土層。因此，條施、點施或深施至根圈附近效果較撒施為佳，但條施等應注意不可與種子或根系太近，以防肥傷。

鉀是可再利用的元素，作物後期吸鉀數量不多，主要靠器官中養分的重新分配，作物生育後期不如前期追施鉀肥的效果好，所以，一般鉀肥應作基肥或早期追肥。

#### 2. 因作物選用適當肥料

硫酸鉀適用於各種作物，尤其是馬鈴薯等忌氯作物，效果比氯化鉀好。氯離子使細胞膠質起膨脹作用，塊莖顯著的增加水分，因而減少乾物質，尤其是澱粉的含量；而硫酸鉀使細胞膠質起收縮作用，塊莖含水量減少，因而澱粉量提高。

氯化鉀對忌氯作物不宜施用。如菸草以硫酸鉀為肥料而不使用氯化鉀，因硫酸鉀可使菸草之耐燃時間延長。然而氯對纖維作物甚好，其可使纖維變粗，韌度提高。

#### 3. 因土壤選用適當肥料

硫酸鉀在中性和石灰性土壤上生成硫酸鈣，而在酸性土壤上生成硫酸，所以在中性和石灰性土壤上長期大量施用硫酸鉀，要注意防止土壤板結與酸化。氯化鉀在酸性土壤中生成的鹽酸能增強土壤酸性，有可能加強活性鐵、鋁的毒害作用，因此，在酸性土壤上施用氯化鉀或硫酸鉀應配合施用有機質肥料和石灰，以便中和酸性，減輕毒害。

窯灰鉀肥由於肥粒細，吸濕性強，強鹼性，故只適宜於酸性土壤，不可與銨態氮肥混合施用，以免引起氮素的揮發損失。撒施時應與濕細土拌勻後進行。窯灰鉀肥也不宜作種肥和沾秧根。

草木灰溶於水後呈鹼性反應，因此，也不能與銨態氮肥混用，以免引起氮素的揮發損失。

#### 3. 勿過量施用

鉀肥的溶解度一般均高，因此極易過量施用而造成鈣、鎂的缺乏。

#### 4. 施於喜鉀作物

豆科作物對鉀肥最敏感，施用後增產顯著。含碳水化合物多的薯類作物和含糖多的甜菜、甘蔗、西瓜以及果樹等需鉀肥也較多。經濟作物中的棉花、麻類和煙草等也是需鉀較多的。禾本科作物中以玉米對鉀肥最敏感。而對水稻、小麥施鉀肥的增產較少。因此，鉀肥應優先施於喜鉀作物，不僅能夠明顯地提高產量，而且還可以改善產品的質量，如煙草施用硫酸鉀，可以提高其燃燒性；果樹、蔬菜施用硫酸鉀，有利於果實和蔬菜產品的貯存；蔥、蒜、韭菜含硫量較高的作物，施用硫酸鉀，不僅能提高產量，而且還能增加產品的香味。

#### 5. 施於缺鉀的土壤

供鉀水平低的砂質土壤，施用鉀肥的效果較高。因此，鉀肥應優先施用容易缺鉀的砂質土壤上，以爭取較高的經濟效益。

#### 6. 施用於高產田塊

隨著作物產量的不斷提高，作物每次收穫必然要從土壤中帶走大量鉀，若得不到及時補充，土壤供鉀不足就會明顯影響產量，成為作物高產的限制因素。所以鉀肥應重點施用在高產田，以充分發揮鉀肥的增產作用。對常年大量施用有機肥或稿稈還田數量較多的田塊，鉀肥的施用可以酌量減少。

### 四、次量要素肥料的特性與施用要領

#### (一) 鈣肥

##### 1. 鈣肥的種類及特性

鈣肥主要來自石灰物質，例如石灰石、白雲石、石膏、磷灰石等，大多需經磨碎鍛燒後才能施用，因其製作方式及母質不同，內含鈣的有效性也不同，部分鈣肥及其成分、鹼度、酸中和能力，如表7。此外煉鋼副產物之各種矽酸鹽溶渣，包括矽酸爐渣、石灰爐渣及脫硫爐渣等；火力發電後的煤灰及天然的蚶殼均含有大量鈣，可供應作物生長所需的鈣營養及中和酸性土壤的pH值。蚶殼因含有鈉，最好不要大量及連年施用。

石灰資材愈細可發揮中和酸度的效果愈好，生石灰和消石灰顆粒甚細，比石灰石粉溶解度大，因此，提升土壤pH值之效果較快，然而生石灰因會吸濕及產生高溫，以致施用上並不方便，所以在農用上不如石灰石粉、苦土石灰和爐渣來得多。爐渣為煉鋼過程中的廢棄物，本身即為含鈣、鎂的石灰資材，但爐渣另含有磷、硫、鐵、錳等作物生長所需的養分，為其優點，不過，其亦含有鎳、鉻、鈦等重金屬，施用量必需注意，以免造成毒害。石膏除可提供鈣肥外，亦可改良底土的酸度，因為石膏中的鈣移動較一般石灰中的鈣快，因此，可藉鈣置換底土膠體上的毒性鋁，且石膏中的硫酸根與底土的鋁形成毒性較低的 $AlSO_4^+$ ，亦可減輕底土的鋁毒害。

表7 常用石灰資材之品質

資材名稱	主要化學成分	鹼度 <sup>1</sup>	酸性中和能力 <sup>2</sup>
石灰石粉	CaCO <sub>3</sub>	56	100
消石灰	Ca(OH) <sub>2</sub>	76	136
生石灰	CaO	100	179
苦土石灰	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	53~59	90~105
石灰爐渣	CaSiO <sub>3</sub>	36~48	65~85
矽酸爐渣	CaSiO <sub>3</sub>	34~45	60~80
蚶殼粉	CaCO <sub>3</sub>	51	92
蟹殼粉	CaCO <sub>3</sub>	21~26	38~45

1. 鹼度 = %CaO + %MgO × 1.39

2. 以石灰石粉之鹼度為100時，各種資材之鹼度相對值。

## 2. 鈣肥與植物之關係

- (1) 構成細胞壁的成分，為植物的骨架。能增進細胞組織的強度，液泡中草酸與鈣結合成草酸鈣，防止毒害。
- (2) 鈣能中和新陳代謝所產生的有機酸。
- (3) 含蛋白質多的成分，鈣含量亦高，顯示鈣與蛋白質合成有關。
- (4) 缺乏徵狀：鈣在植體中不易移動，缺乏時，根末端分裂組織之原形質崩壞，莖生長點之膜構造起變化，一般作物植株變矮，生長點或頂上葉片呈淡綠色，下面葉片綠色而厚，根先端不再生長而變粗變短，呈褐色。

## 3. 鈣肥的品質

### (1) 以中和土壤酸度的能力評價之

通常以鹼度及粒度等加以規範。此外，顆粒本身的硬度或脆度及成分的化學型態等亦甚為重要。因此，實際的栽植試驗，或傳統的孵育方法仍為鑑定石灰品質及推薦石灰需要量的準確依據。

石灰資材在中和土壤酸度的潛力，以石灰石粉的相對鹼度來表示，其中相對鹼度大者，中和酸度的潛力也大，所需施用量愈少。

### (2) 水解時產生強鹼及弱酸者，中和酸度的效果最佳

石灰資材行水解時，若產生強鹼及弱酸者，其中和酸度的效果最佳，而產生強鹼及強酸者，其中和效果則差。按中和土壤酸度的效果高低將石灰資材分類三類，如表8。以經濟及對土壤保育的觀點來衡量，我們應該選擇使用優良的石灰資材來進行酸性土壤改良工作。

表8 石灰資材之等級

優 等	次 等	劣 等
石灰石粉(碳酸鈣)、生石灰、消石灰、苦土石灰、氧化鎂、氫氧化鎂、爐渣	氯化鈣、氯化鎂、硫酸鈣、硫酸鎂、碳酸鈉、氫氧化鈉	硫酸鈉、氯化鈉

#### 4. 石灰的效用

- (1)中和酸性土壤，提高pH值，使適宜作物生長；
- (2)促進土壤之團粒構造，使通氣與排水均良好；
- (3)可抑制鐵、鋁、錳之活性，減少毒害；
- (4)促進有機物分解，加速其肥效；
- (5)促進有益菌之增殖，如氮素固定與硝化細菌之活動；
- (6)增進土壤養分之有效性；
- (7)鈣與磷酸化合成磷酸鈣，有效性增加。

#### 5. 石灰施用量

##### (1)依作物需要決定施用量

決定施用量之前應先瞭解欲種植之作物的生長適宜pH 範圍，再以提昇土壤至該範圍的中間值附近為目標。

##### (2)依土壤性質決定施用量

同樣是pH4.4的兩塊農地，如果要施用石灰使土壤提高到5.5，兩塊地所需要的石灰量未必相同。此乃因一般所測出之pH值，只代表存在於土壤溶液中氫離子的濃度(稱為活性酸)，而施石灰所需中和的酸，除了活性酸之外，尚包括存在於土壤膠體上的氫離子或鋁離子(稱為潛性酸)，這些潛性酸主要是吸附在粘粒和有機質上，所以有機質及黏粒含量愈高的土壤，其陽離子交換能量愈大，石灰需要量亦愈高。

##### (3)決定石灰需要量的方法

直接培育法及緩衝pH測定法。直接培育法較為準確，但較耗時，其他方法所需的時間雖然較短，但其適用性常因土壤性質不同而異。一般而言，可藉助表9的簡則來決定土壤的石灰需要量。

##### (4)提昇土壤pH的目標值

一般而言，除了栽種鈣需求量大作物(如花生)外，施石灰提昇土壤pH 的目標，礦質土壤以pH5.5，有機質土壤以pH5.2即可。在此pH 值下，鋁與錳毒害已減輕至甚低，同時石灰用量可減少甚多。同時，改良的目標應為全層改良，除非是栽種淺根性的作物，否則不可只改良表面20公分。

表9 不同質地土壤的石灰需要估量量(ton/ha，改良20公分土層厚度)

pH	砂土及壤 質砂土	砂質壤土	壤土	粉質壤土	粘土	有機土
4.5增至5.5	0.7	1.2	1.8	2.8	3.7	8.2
5.5增至6.5	1.0	1.7	2.4	3.5	4.7	8.5

## 6. 石灰的施用法

### (1) 與土壤均勻的混合

由於石灰質材的溶解度不大，在土壤中的移動速度不快，所以應藉助耕犁之農具將石灰與土壤均勻的混合，以發揮其最大的效果。

### (2) 儘早施用

石灰質材可在作物收穫後與下作栽種前的任何時間施用，但需注意的是，土壤具有緩衝能力，石灰施用後，土壤pH值並不會立即調昇至我們所盼望的目標，而是逐漸上升。若栽種多年生作物，石灰與土壤的混合必需在播種前完成，同時盡可能遠離播種期，以讓石灰有充分時間發揮效應。栽種對酸度敏感的作物(如高粱、苜蓿、甜菜、萵苣、茼蒿、芹菜、菠菜、花椰菜、洋蔥、蘆筍、絲瓜、洋香瓜、青椒等)需在栽種前一年施用石灰，使土壤pH有足夠時間調昇，否則難見改良效果。

### (3) 改良底土酸度的方法

- 直接將石灰深施或將石灰懸浮液灌入底土，但此種方法往往需較高費用及需靠施肥機的協助。
- 表面施用石膏：石膏中的 $\text{Ca}^{2+}$ 移動較一般石灰中的 $\text{Ca}^{2+}$ 快，因此可藉 $\text{Ca}^{2+}$ 置換底土膠體上的毒性鋁，且石膏中的 $\text{SO}_4^{2-}$ 與底土中 $\text{Al}^{3+}$ 形成毒性較低的 $\text{AlSO}_4^{2-}$ ，而減輕底土之鋁毒害。
- 大量施用硝酸鈣或硝酸鈉，其中 $\text{Ca}^{2+}$ 將隨 $\text{NO}_3^-$ 下移至底土，屆時作物吸收 $\text{NO}_3^-$ 的量將比 $\text{Ca}^{2+}$ 多，因而植物根系會釋出 $\text{OH}^-$ 或 $\text{HCO}_3^-$ ，致使根圈附近土壤pH值提昇。

## 7. 過量施用石灰的缺點

- pH太高，鐵、錳、銅、鋅變為不溶性，致發生缺乏徵狀。
- 表土可能結成硬核(殼)，不利作物生長。

## (二) 鎂肥

### 1. 鎂肥的種類及特性

鎂肥主要來自礦石或加工製造，礦石含鎂肥料有白雲石、菱鎂礦、滑石、



蛇紋石及部分石灰石的含鎂礦石粉；加工製造的鎂肥有硫酸鎂、硫酸鉀鎂、矽酸鎂、氧化鎂、氫氧化鎂、氯化鎂等。加工製造者溶解度大，成分濃度高，速效性；礦石粉效果緩慢，溶解度低，成分亦低。

- (1) 硫酸鎂：硫酸鎂為製鹽副產的苦汁，冷卻後即得，含氧化鎂11~15%，為生理酸性肥料。
- (2) 碳酸鎂：碳酸鎂為苦汁中加入氫氧化鎂或碳酸鈉，使二氧化碳作用即得，含氧化鎂30~40%，呈鹼性。
- (3) 苦土石灰：大多數石灰肥料均含鎂，其含量在10%以上者稱鎂質石灰、白雲石灰或苦土石灰。

## 2. 鎂肥與植物之關係

鎂為葉綠素的主要成分，亦為許多酵素的構成分子。鎂在幼小的細胞或代謝旺盛的組織中含量多，至植物成熟時鎂與磷同移至種子中貯藏起來，因此，鎂之缺乏症狀為老葉先黃化，而後才蔓及至新葉，然葉脈仍為綠色。

## 五、微量要素肥料的特性與施用要領

微量要素肥料包括植物必需的鐵、錳、銅、鋅、硼、鉬、氯、鎳、鈷；對植物生長有益的矽、鈇、鈉；及動物必需元素硒、鉻、錫、碘、氟。

鐵、錳、銅、鋅、鉬及硼，其中鐵、錳、銅、鋅之吸收是以陽離子型態，而鉬以陰離子型態吸收，對硼是以不帶電荷的 $H_3BO_3$ 或帶負電荷之 $B_4O_7^{2-}$ 型態吸收。常用微量要素化合物、分量、土壤施用量與葉片散佈濃度如表12。

微量要素在農業上之貢獻：

1. 防治病害；
2. 增加產量；
3. 提高品質。

微量要素缺乏係因下列條件不適所導致：

1. 土壤pH值；
2. 土壤水分；
3. 土壤有機質；
4. 土壤微生物；
5. 氣象條件；
6. 要素間之拮抗作用，如Cu與Mo。

### (一) 鐵肥

#### 1. 硫酸亞鐵

硫酸亞鐵( $FeSO_4 \cdot xH_2O$ )，有一水、二水及七水化合物，含鐵量因結晶水而異，呈淡青綠色，施入旱田中，極易氧化而成黃褐色硫酸鐵，有效性因氧化作用而降低。

- (1) 土壤施用：與優質有機肥混合條施、穴施效果較好。
- (2) 浸種：用0.05%溶液浸12小時。
- (3) 葉面施肥：以濃度0.1~0.2%均勻噴施。

表 10 微量元素在植體內的角色

功能	參與元素	功能	參與元素
光合作用與代謝過程中電子載體、氧化還原反應	銅、鐵、鉬	光合作用、呼吸作用、鐵的利用、細胞壁木質化	銅
酶與受質之間的橋樑	鋅、錳	細胞分裂、水分吸收、糖類運送	硼
氮素轉變合成	鉬、錳	葉綠素形成、蛋白質、核酸合成	鐵
固氮酶	鉬、鐵	光合作用、呼吸作用、氮素代謝	錳
硝酸還原酶	鉬	光合作用、根的生長	氯
尿素酶	鎳	固氮作用	鈷
蛋白質、植物生長素合成	鋅		

表 11 微量元素的來源、土壤含量及作物移走的量

元素	主要來源	表土含量 (kg/ha)	移走量 (kg/ha)	比值
鐵	氧化物 硫化物 矽酸鹽	56000	2.0	28000
錳	氧化物 硫化物 碳酸鹽	2200	0.5	4400
鋅	硫化物 碳酸鹽 矽酸鹽	110	0.3	366
銅	硫化物 矽酸鹽 氧化物	45	0.1	450
鎳	矽酸鹽(蛇紋石)	45	0.02	2250
硼	硼矽酸鹽 硼酸鹽	22	0.2	110
鉬	硫酸鹽 氧化物 鉬酸鹽	5	0.02	250
氯	氯化物	22	2.5	0.9
鈷	矽酸鹽	18	0.02	900

## 2. 鐵鉗合物

EDTA-Fe、DTPA-Fe、HEEDTA-Fe、EDDHA-Fe、EDDHMA-Fe等，這類鐵肥可適用的pH、土壤類型範圍廣，肥效高，可混性強。但其成本昂貴、售價極高，多用作葉面噴施。

## 3. 檸檬酸鐵

檸檬酸鐵土壤施用，除直接提供鐵以外，亦可提高土壤鐵的溶解，並促進土壤鈣、磷、鐵、錳、鋅的釋放，提高鐵的有效性。檸檬酸鐵成本低於EDTA鐵類，可與許多農藥混用，對作物安全。

## (二) 錳肥

錳與許多酵素系統有關，是磷酯化酵素之成分。與光合作用及葉綠素作用有關，在植物體中不易再移動，缺乏症狀出現在新生葉中，葉脈間黃化，時有黑褐斑點出現。

常用錳肥有硫酸錳( $\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ，含錳18~26%)和氯化錳( $\text{MnCl}_2$ )，兩者均為水溶性，氯化錳溶解度稍大於硫酸錳。

1. 土壤施用：酸性土壤每公頃可以施用30~40公斤硫酸錳。鹼性土壤缺錳以葉面施肥效果較佳，土壤施用效果有限。
2. 葉面施肥：以0.1~0.2%硫酸錳溶液葉面均勻噴施。
3. 浸種：用0.05~0.1%硫酸錳。

## (三) 銅肥

銅是氨基酸合成酵素及氧化還原酵素之重要成分，與蛋白質、維生素A之合成有關。由於含銅化合物硫酸銅( $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，含銅35%)或氯化銅( $\text{CuCl}_2$ ，含銅17%)為很多殺菌劑之成分，且銅易為土壤膠體所吸附，淋失量甚微，因此，銅之缺乏甚少發生。然一旦缺銅每公頃可施用12~24公斤硫酸銅矯正之。

## (四) 鋅肥

鋅為許多種酵素之基本組成分，控制著IAA的合成。缺乏時頂梢生長受影響而形成簇葉，葉黃化而較小。鹼性土壤，鋅化合物不易溶解；磷酸與鉀含量較多時；砂質土壤淋洗強，均有引起缺鋅的可能。

主要鋅肥為硫酸鋅與氧化鋅。

1. 土壤施用：每公頃施用硫酸鋅( $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，含鋅36%)40~80公斤或氧化鋅( $\text{ZnO}$ ，含鋅78~80%)30~50公斤。
2. 葉面噴施：以0.1~0.2%硫酸鋅溶液均勻噴施葉部。

表12 微量要素肥料的種類與性質

肥料種類	主成分含量%	土壤施用 kg/ha	施葉面施用濃度%	性質說明
硫酸亞鐵	19	50~60	0.1~0.2	硫酸亞鐵在土壤中易被固定，在植物體中移動性差，且在中鹼性土壤中很快轉化成難溶性，故鐵肥多採葉面施肥。鉗形鐵無上述缺點，但價昂
鉗形鐵	9~12	20~30	0.1~0.2	鐵肥殘效不明顯，需年年施用。土壤施用硫酸亞鐵後，若能酌量施用有機肥，則鐵的有效可大為提高
硼砂	11	4~15	0.1~0.2	硼需要量隨作物不同，變異極大，十字花科、豆科及根莖類作物為水稻的十數倍
硼酸	17.5	2.5~10	0.05~0.1	硼肥殘效可維持 3~4 年，不可施用過量以防毒害
硫酸錳	26~28	30~40	0.1~0.2	施入中或石灰性土壤容易成為不溶態，因此，基肥多推薦條施。鹼性土壤缺錳以葉面施肥效果較佳
氯化錳	17~19	40~50	-	錳肥殘效不明顯，需年年施用
硫酸銅	24~25	12~24	0.02~0.05	為很多殺菌劑之成分，且易為土壤膠體吸附，淋失量甚微，銅之缺乏甚少發生。施用量要控制好，避免造成土壤及作物的污染
				銅肥殘效明顯，每隔 3~5 年施用一次
硫酸鋅	24	40~80	0.1~0.2	鋅在土壤中的殘效為 3-5 年，可根據土壤及植體分析決定是否施用
氧化鋅	78	30~50	-	
鉬酸銨	54	0.5~0.8	0.01~0.02	酸性土壤較有缺鉬之可能，施用石灰多數已足夠矯正缺鉬現象
鉬酸鈉	39	0.5~0.8	0.01~0.02	鉬肥每施一次可發揮數年的殘效

3. 浸種：用0.03~0.05%硫酸鋅溶液浸12小時。
4. 拌種：每公斤種子用4~6克硫酸鋅。

### (五) 鉬肥

鉬是硝酸態氮轉變為胺基酸時，一連串參與反應的酵素的主要成分。豆科根瘤菌也要有它才能固氮。鉬之需要量少，施用時要小心，勿使過量。酸性土壤較有缺鉬之可能，施用石灰，已足夠矯正缺鉬現象。常用鉬肥為鉬酸銨 $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ，含鉬54%)或鉬酸鈉 $(\text{NaMoO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ，含鉬39%)。每公頃施用0.5~0.8公斤鉬酸鈉或鉬酸銨可矯正缺鉬現象。

### (六) 硼肥

硼的功能在於分生組織的分化，缺硼則細胞繼續分裂，但結構上不分化，而有木栓化之組織出現。硼在碳水化合物代謝作用調節中扮演重要角色。硼在植體中不移動，缺硼出現於生長點。硼之需要量隨作物之不同，變異極大，十字花科為水稻的十數倍。

硼肥主要品種為硼砂與硼酸。

1. 土壤施用：通常每公頃蔬菜田施用硼酸 $(\text{H}_3\text{BO}_3)$ ，含硼17.5%)2.5~10公斤或硼砂 $(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O})$ ，含硼11%)4~15公斤。
2. 葉面施肥：以0.05~0.1%硼砂均勻噴施。常溫下硼酸與硼砂均不太容易溶於水，但易溶於熱水。
3. 浸種：用0.01~0.02%的硼砂溶液浸種6~12小時。
4. 拌種：每公斤種子用0.5~1.0克硼砂。

## 六、複合肥料的特性與施用要領

肥料含三要素中之二成分以上者，且合計量在15%(固態)或10%(液態)以上者稱複合肥料。由於複合肥料成分均勻，同時具有作物所需的不同養分，施肥省工容易，肥效顯著，其施用，在我國種類和數量均日益增加中，根據89年農業統計年報的資料顯示，佔全部肥料用量的46%，與先進國家相較，仍有開發的空間。複合肥料可依作物或土壤的需要，變更製造方式，控制各種成分含量的配方；更可依實際需要，使肥料成分具有速效性或緩效性。

目前我國複合肥料生產，係針對適合各種作物而製造，生產複合肥料最多之廠家為台灣肥料公司，有複合肥料50多種。

### (一) 複合肥料的分類

### 1. 一般複合肥料

- (1) 磷酸一銨( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ )與磷酸二銨( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ )：磷酸通氣而成。磷酸一銨與磷酸二銨之主要含量分別為11-48-0與18-46-0。它們養分濃度高，含雜質及其他副成分少，不吸溼結塊，長期施用亦不會造成土壤物理性的劣化和有毒物質的污染。
- (2) 硝酸鉀( $\text{KNO}_3$ )：硝石的主要成分，亦可作炸藥用。工業上以硝酸與氯化鉀反應生成。易溶於水，為速效性肥料。成分含量13-0-39。
- (3) 磷酸一鉀( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )：白色粉末，吸溼性小，物理性狀好，易溶於水，價格高，目前多配製成0.1~0.2%溶液，用於葉面施肥與配成0.2%溶液，用於浸種。成分含量0-52-34。

### 2. 配(混)合肥料

純粹以機械的方法將肥料混合而成，各種配合肥料之性質，與原來肥料性質沒有分別。由原料來源可分成下列五大項：

#### (1) 普通配合肥料(粉狀酸性複合肥料)

以硫酸銨、過磷酸鈣及硫酸鉀配合而成，有時亦加少量魚肥或油菜粕配合，為生理酸性肥料，連用時宜併用石灰以防止土壤酸化，大部分配合肥料屬於此類。

#### (2) 尿素配合肥料(粉狀中性複合肥料)

尿素、過磷酸鈣及硫酸鉀配合而成，有以熔磷代替過磷酸鈣者，此肥料具較弱的生理酸性，然具吸濕性為其缺點。

#### (3) 鹼性配合肥料(粉狀或粒狀鹼性複合肥料)

氰氨基化鈣、熔磷及硫酸鉀或氯化鉀配合而成，屬生理鹼性肥料，具吸濕性，吸水後氰氨基化鈣發熱變質，無水溶性磷酸釋出，故作物生育初期宜加少量過磷酸鈣。

#### (4) 有機質配合肥料

由魚肥、油菜粕、米糠等有機質肥料配合而成，價格高適用於重品質的果樹。

#### (5) 固形配合肥料

以硫酸銨、過磷酸鈣與硫酸鉀為原料，加泥炭做成粒狀的配合肥料，砂質地、水田肥效佳，其原因為流失及脫氮作用少。

### 3. 化成肥料

以單質無機肥料為原料，相混後起化學變化製造而成的肥料。化成肥料多為粒狀，不易固結，使用便利，不溶於水，流失少，硝化作用慢。

化成肥料有硫酸銨系化成肥料，硝酸銨系化成肥料，磷酸銨系化成肥料，尿素系化成肥料及氰氨基化鈣系化成肥料。

#### (1) 硫銨系化成肥料

磷礦石粉經酸化為過磷酸鈣後，再加入硫酸銨及鉀肥而成。為化學及生理酸性肥料，其成分約為8-8-5。

#### (2) 硝銨系化成肥料

磷礦石以硝酸酸化後，加氨中和，再加硫酸銨成泥狀，造粒、乾燥而成。有時亦加入鉀肥，為生理酸性肥料，吸濕性大。因含硝酸態氮，不適用於水田，在旱作，其效果優於硫酸銨。其成分有20-8-0及17-7-5兩種。

#### (3) 磷銨系化成肥料

磷酸與硫酸的混合液加入鉀鹽後，銨化、造粒而成。為生理弱酸性肥料，所含銨易為土壤吸收，其成分有16-20-0及14-12-4兩種。

#### (4) 尿素系化成肥料

過磷酸鈣、尿素與鉀肥混合銨化而成，有時亦加入硫酸銨混合之。煙草用者其成分為9-10-6。

#### (5) 氰氨基化鈣系化成肥料

過磷酸鈣、氰氨基化鈣與鉀肥混勻，並加入氰氨基化鈣所含石灰等量之硫酸或磷酸後，銨化造粒而成。

### 4. 其他型態複合肥料

#### (1) 緩效性複合肥料

緩效性複合肥料最大優點在於具有緩效性，能依作物生長需求，適時、適量供給作物養分，使肥料達到最大利用目的。同時也因有緩效性，肥料一次多量施用，可以節省勞力，不會產生肥害或有流失、固定、分解之虞，也不會傷到土壤的理化性。

- a. 用物理方法使其具有緩效性，如硫黃包裹複合肥料，用肥料與紅土或泥炭混合製成的大粒複合肥料，硬粒狀磷酸鎂銨等。
- b. 用化學方法將肥料要素變成難溶於水，使具有緩效性的，如熔製磷鉀肥。
- c. 用微生物方法抑制硝化作用，使氮素避免脫氮和淋溶，增加肥效的持續性，如硝化抑制劑複合肥料。

#### (2) 農藥複合肥料

複合肥料中添加農藥，能一次同時施用，獲得省工和多項效果。化學肥料施用法除施入土壤外，尚可採用葉面噴施法，故多種殺蟲劑、殺菌劑、殺線蟲劑、殺草劑等均可混入肥料中，直接噴灑葉面或施於土壤。

#### (3) 土壤改良劑複合肥料

土壤改良劑是改良土壤的物理、化學和微生物性質，以增加肥力和提高作物產量為目的，而施於土壤的物料。

- a. 含無機質土壤改良劑的，如含矽酸鈣鎂、爐渣、蛭石、真珠石、皂白石、沸石等。
- b. 含合成高分子土壤改良劑的，如含聚甲基丙基酸鈉、聚乙烯醇、聚烯酸鹽、羧基甲基纖維素、三聚氰胺樹脂等。
- c. 含腐植酸土壤改良劑的，如含硝化腐植酸或硝化腐植酸鹽。

#### (4) 次量要素與微量要素複合肥料

基於某些作物在特定地區，常有次量或微量要素缺乏的現象。例如麥類、番茄、柑桔等常有缺少次量要素鎂，玉米、水稻等常有缺少微量元素鋅的現象，因此，在肥料中添加該缺乏要素，以應作物各種特殊狀況的需要。

#### (5) 液體複合肥料

包括澄清和懸浮液體肥料。由於成分極為均勻，製造程序較簡單，運輸和施用便利，且可任意填加作物欠缺的次量或微量元素，又利於葉面施肥等優點，使用極為普遍。

## (二) 配(混)合肥料

### 1. 配(混)合肥料的特點

#### (1) 養分齊全，遲速搭配

目前常用的化學肥料以含單一營養元素為主，為了較全面地將養分供給作物，往往採取幾種化學肥料混合施用的辦法。

#### (2) 可以提高肥效

有些肥料合理地混合，可以互相提高肥效。例如，硫酸銨與過磷酸鈣、尿素與過磷酸鈣混合後，均可相互促進養分的保存與提高；尿素與氯化鉀混合可以明顯地降低氮的揮失。

#### (3) 可以改善肥料的物理性質

有的肥料混合後，可以使得物理性質得到改善，例如，硝酸銨與氯化鉀混合後，減少了吸濕性，便於利用。

#### (4) 可以減少勞力和經費支出

多種肥料混合一次施用可以節省施肥費用。

#### (5) 機動性強

可以根據當地土壤、作物、氣候特點進行配方調配。

### 2. 配合肥料生產中遇到的問題

#### (1) 吸濕與結塊

肥料混合過程中，吸濕性大多增加。表13及14為幾種肥料純品和混合物的臨界相對溼度。表14中，不同肥料混和後臨界相對濕度變低，如尿素



在30℃時，臨界相對濕度為72.5%，硝酸鈣為46.7%，但它們等量混和後為37.7%，臨界相對溼度降低了，因而增加它們的吸濕性。表15為臨界相對濕度的分級。

尿素的吸濕性是當作肥料用途最重要必需克服的問題，在低溫時(<15℃)問題還不大，超過20℃時，尿素的吸濕性就增加，比硫酸銨還容易吸濕，達30℃就變成與硝酸鈉相同的程度；又2種肥料混合，理論上它的吸濕性會增強，所以硫酸鎂與尿素混合會變濕是一常態現象。

表13 幾種肥料純化合物在不同溫度的臨界相對溼度(%)\*

肥料	溫度(℃)						
	10	15	20	25	30	35	40
硝酸鈣	-	55.9	55.4	50.5	46.7	35.5	-
硝酸銨	75.3	69.8	66.9	62.7	59.4	52.5	48.4
硝酸鈉	78.0	76.8	77.1	74.4	72.4	70.1	67.3
氯化銨	79.5	79.2	79.3	76.0	77.2	79.7	71.3
硫酸銨	79.8	79.3	81.0	81.8	79.2	78.2	77.8
尿素	81.8	79.9	80.0	75.8	72.5	68.0	62.5
氯化鉀	88.3	86.2	85.7	83.4	84.0	81.2	80.0
硝酸鉀	97.0	95.6	92.3	92.0	90.5	87.9	85.0
磷酸一銨	97.8	97.0	91.7	91.9	91.6	90.3	88.2
磷酸一鈣	97.9	98.8	94.1	96.0	93.7	94.5	94.6
磷酸一鉀	98.0	98.4	96.2	95.4	92.9	92.9	92.6
硫酸鉀	99.1	99.7	98.5	98.8	96.3	95.7	95.8

\*臨界溼度(h):  $h(\%) = (P_a/P) \times 100$ ,  $P_a$ : 在某一溫度時，其飽和溶液的水蒸氣壓力， $P$ : 同一溫度時，純水的飽和蒸氣壓力。當空氣相對溼度( $h_a$ )等於臨界相對溼度(h)時，肥料既不吸濕也不失水，當 $h_a > h$ ，肥料可以從空氣中吸收水分，當 $h_a < h$ ，肥料將變乾。

防止尿素吸濕應可減低硫酸鎂與尿素混合後變濕的可能性：

- 尿素粒狀化：使表面積變小，由於確保粒內空間，防止吸濕。
- 尿素表面處理：用不吸水分的物質被覆表面。如塗上白雲石粉末。
- 與不吸水物質混合：硫酸鎂與尿素混合過程中加入磷礦粉、白雲石粉、爐渣或有機的可可皮粉、米糠等。
- 選用尿素替代物：石膏尿素、尿素甲醛、裹硫尿素取代尿素進行混合。

表14 幾種肥料純品及各半相互混合物於30°C的臨界相對溼度(%) (張，2000)

硝酸鈣 46.7											
23.5	硝酸銨 59.4										
37.7	46.3	硝酸鈉 72.4									
-	18.1	45.6	尿素 72.5								
-	51.4	51.9	57.9	氯化銨 77.2							
-	62.3	-	56.4	71.3	硫酸銨 79.2						
-	59.0	-	62.0	-	72.0	磷酸二銨 82.8					
22.0	67.9	66.9	60.3	79.5	71.3	70.0	氯化鉀 84.0				
31.4	59.9	64.5	65.2	67.9	69.2	-	78.6	硝酸鉀 90.5			
52.8	58.0	63.8	65.2	-	75.8	78.0	72.8	59.8	磷酸一銨 91.6		
46.2	52.8	68.1	65.1	73.9	87.8	78.0	-	87.8	88.3	磷酸一鈣 93.7	
76.1	69.2	73.3	71.5	71.3	81.4	77.0	81.0	87.8	79.0	-	硫酸鉀 96.3

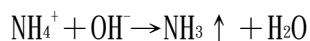
表15 肥料臨界相對溼度分級

臨界相對溼度(%)	吸濕性分級	臨界相對溼度(%)	吸濕性分級
50以下	極強	75-80	弱
50~60	強	80-85	很弱
60~70	中	85以上	不吸濕
70~75	中弱		

(2)發生不利於產品品質的化學反應

a. 混合後引起養分損失(不可混合)

例：(a)銨態氮肥與鹼性肥料混合後，會引起氮的揮失。

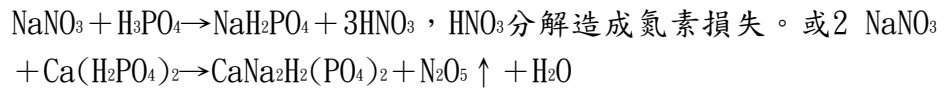


(b)過磷酸鈣與鹼性肥料混合後，會使磷肥的有效性降低。



(c)含硝酸態氮肥料與未腐熟的堆肥、廐肥或新鮮稿稈混合堆積，由於脫氮作用，易引起氮素損失。

(d)硝酸鈉和含游離酸高的過磷酸鈣混合，不但會引起肥料的潮解，亦引起氮素損失



(e)新鮮稿稈與化學氮肥混合施用，會因微生物的大量繁殖，引起生物固定化作用(Immobilization)，將氮素吸收而延遲氮素的供應。

(f)已腐熟的堆肥，其中氮大多已轉換成銨態氮，不宜與鹼性肥料混合，否則會使氮揮失。

(g)含尿素肥料與未腐熟植物殘體混合，將因植物殘體所含尿素水解酵素的參與，致使尿素發生水解，繼而產生氨氣揮失。

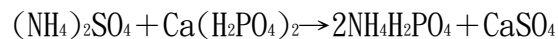
#### b. 混合後有利於提高肥料的肥效(可以混合)

例：(a)尿素與氯化鉀混合，由於氯離子可以抑制尿素水解作用的進行，因而減少氮素的揮失。

(b)尿素與酸性磷肥混合，可以減少尿素水解而產生氨的損失。

(c)有機質與磷肥的混合，由於有機肥醱酵產生有機酸，可以促進磷肥的溶解度，因而提高磷肥的效果。同時磷肥與土壤的接觸減少，磷的固定亦可減少，間接亦增加了磷的有效性。

(d)硫酸銨與過磷酸鈣的混合，產生高效的磷酸一銨，及低致酸的石膏，因而增加肥料的有效性及減低土壤的致酸危害。



(e)有機質肥料與石灰混合，石灰可促進有機肥的分解而釋出植物所需的養分。

(f)骨粉或磷礦粉與有機肥混合，有機肥分解釋出氫離子，可促進骨粉或磷礦粉的溶解度，因而增進肥效。

#### c. 混合後能改善物理性質(可以混合)

如果反應後會產生溶解度懸殊或潮解的產物時則應避免。例： $2\text{KCl} + \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$ ，在此反應中溶解度小的硫酸鉀析出，且 $\text{MgCl}_2$ 的潮解性高，所以不宜混合，其他如硫酸銨與過磷酸鈣、硫酸銨與氯化鉀、鉀言語鹼性剛渣等，都因混合結塊而不宜混合。根據上述將常用肥料混合的適宜性列如表16。

### 3. 顆粒分離問題

以顆粒肥料為原料生產的混合肥料，在運輸、貯藏、施用過程中會有顆粒分離問題，即由於顆粒大小不一致，以及可能的不同肥料密度不同，而使在整個混合肥料中分布不均勻。

為了克服顆粒肥料混合的分離問題，通常在選擇肥料的粒徑時應盡量一致，相差不應大於10%，同時，盡量縮短運輸距離、貯藏期限。

不容許混合  
○可預先混合  
▲只能在施用前混合

表16 常用肥料混合的適宜性

	堆廩肥	尿素	硝酸鈉	硝酸鈣	硝硫酸銨	硝硫酸鉀	硫酸銨	氯化銨	氰氯化鈣	過磷酸鈣	骨粉	鹼性銅渣	硫酸鉀	氯化鉀	鉀鹽鎂礬	石灰物質
堆廩肥		▲	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	○	○	○	×
尿素			×	×	×	×	▲	▲	▲	×	○	○	○	×	×	▲
硝酸鈉				▲	○	○	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	○
硝酸鈣					×	×	×	×	▲	×	▲	▲	▲	▲	▲	▲
硝硫酸銨						○	○	○	×	▲	×	×	○	○	○	×
硝硫酸鉀							○	○	×	▲	×	×	○	○	○	×
硫酸銨								○	×	○	×	×	○	○	○	×
氯化銨									×	○	×	×	○	○	○	×
氰氯化鈣										×	○	○	▲	▲	▲	○
過磷酸鈣											×	×	○	○	○	×
骨粉												○	▲	▲	▲	○
鹼性銅渣													▲	▲	▲	○
硫酸鉀														○	○	▲
氯化鉀															○	▲
鉀鹽鎂礬																▲
石灰物質																

表17 某些顆粒肥料的表觀密度

肥料	表觀密度	肥料	表觀密度
粒狀硝酸銨	1.50	磷酸二銨	1.63
粒狀硝硫酸銨	1.51	粒狀重過磷酸鈣	2.12
尿素	1.31	氯化鉀	1.97
硫酸銨	1.75	石灰石	2.53
粒狀硝磷酸銨	1.56		

### (三) 怎樣選購複合肥料

複合肥料比單質化肥增產增收，早已為廣大農民所認識。但如何選購優質的複合肥料達到節資增產的目的，尚未被廣大農民所掌握，加之市場上複合肥料種類繁多，名稱新穎，難以為農民所認識。因此，根據土壤特性及農業生產現狀，就如何選購優質複合肥料問題提出如下建議。

#### 1. 依作物品種選用複合肥料

不同作物對養分的需要比例不同，同一作物在不同地區、不同生長期可能也有變化，所以，最好根據當地多年累積的資料，得出作物養分的需要量和比例。表18列出一些作物養分吸收的比例。

不同作物吸收養分各不相同，如果按每一種作物制定配方，配方數量就太多了，在工廠生產也不方便。所以根據不同類型作物進行分類，如穀類作物、豆科作物、果菜類、根菜類、葉菜類、果樹等類，因為這些作物每一類都有它們共通的特點。

各種作物生育過程中所需要營養元素各有不同，而且不能互相替代，比如甘薯、馬鈴薯需要較多的鉀素肥料，豆科作物需要較多的鈣素肥料，作物在不同的生育期，所需養分也不同。

#### 2. 依土壤性狀及養分狀況選用複合肥料

若土壤pH值呈鹼性，有機質含量偏低，有效氮、磷缺乏，應選用化學酸性氮磷複合肥料，如磷酸一銨或腐殖酸類氮磷鉀複合肥、氮磷複合肥料為宜。但對紅土、粘土或強酸性棕壤應選用化學鹼性複合肥料，如磷酸二銨等。

#### 3. 依複合肥料性質選用複合肥料

有效養分含量，高濃度氮磷鉀總量□40%，低濃度氮磷鉀含量□25%，二元氮磷鉀含量□20%，不包括微量元素和次量元素，水溶性磷含量□40%，水分含量低於5%；粒徑為1~4.75mm含量不低於80%；抗壓力即粒徑2.0~

表18 不同作物吸收的養分比例

作物	N	P	K	Ca	作物	N	P	K	Ca
大麥	1	0.22	0.87	0.19	番茄	1	0.14	1.5	0.85
蕎麥	1	0.20	1.1	0.28	煙草	1	0.20	1.6	0.60
燕麥	1	0.18	1.0	0.19	菠菜	1	0.35	3.3	0.70
水稻	1	0.22	1.2	0.24	棉花	1	0.28	0.9	-
小麥	1	0.18	0.56	0.13	甘蔗	1	0.27	1.5	0.75
玉米	1	0.18	0.71	0.17	香蕉	1	0.12	2.7	0.2
甜菜	1	0.16	1.0	0.44	蘋果	1	0.14	1.2	-
馬鈴薯	1	0.12	1.3	0.32	梨	1	0.17	1.3	1.0
苜蓿	1	0.10	0.61	0.74	桃	1	0.09	0.8	1.0
紅三葉草	1	0.10	0.67	0.70	可可	1	0.21	0.65	1.8
花生	1	0.08	0.45	0.44	柑桔	1	0.10	0.68	0.98
大豆	1	0.16	0.43	0.24	茶	1	0.11	0.44	-

2.8mm，硬度不低於6牛頓。當前市場上除少數廠家生產的複混肥外，大多數中小型複混肥廠生產複合肥都達不到上述標準。所以選購複合肥時除了看商標和養分含量外，還需注意廠家和產地。

複合肥料中的鉀有兩種，一種為氯化鉀，另一種為硫酸鉀。而氯化鉀含有氯，對忌氯作物不宜施用。凡複合肥料袋上沒有標“S”符號者其鉀皆為氯化鉀型，忌氯作物如葡萄、馬鈴薯、煙草、甜菜等千萬不能施用，一定選用肥料袋上標有“S”符號的複合肥料，即由硫酸鉀組成的複合肥。

#### 4. 依施肥方法選用複合肥料

為提高複合肥的肥效，不同施用方法應選不同劑型複合肥料。作基肥施用時必須選用顆粒狀複合肥，而且顆粒的硬度愈高愈好。而且選用複合肥中氮素由銨態配成的複合肥，有利提高氮素的利用率。如作追肥施用則應用粉狀複合肥，而且要注意水溶性磷含量應大於40%，氮素則由NH<sub>4</sub>-N和NO<sub>3</sub>-N兩種類型氮組成的複合肥為宜。一般基肥施腐殖酸類複合肥的效果優於追施。

### (四)如何施用複合肥料

#### 1. 複合肥料的施用

複合肥料一般做基肥施用。基肥施用方法有播種前整地時施用的，有種肥旁施用的，有種肥側深施用的。目前看複合肥料特別是長效複合肥料側深施效果最佳。側深施位置一般為肥料距種子側深5-7cm。

## 2. 複合肥料應與單質肥料配合施用

複合肥料中各種養分的含量是固定的，為更好地發揮其增產效果，應配合施用單質肥料，以調節不同生長期中作物對養分的不同需要。一般將複合肥用於作物生長的初期做基肥，單質肥做追肥，施於作物生長的關鍵時期，以爭取高產。