

## 液體肥料選用與調配

從植物的生長看，其生長要素包括光照、溫度、空氣、水分和養分；在自然下，光照、溫度、空氣條件是人為難以調控的，而水分和養分則可藉助設備予以外加控制。肥料是糧食的「糧食」，肥料使用在糧食產量增加扮演重要角色，在特定條件範圍內，植物生產量和肥料施用量間存在正相關。要發揮植物的最大生產潛力，合理調控水、肥的供應非常重要。

實行水、肥同步供給，達肥與水相溶、肥隨水施用，發揮肥料效果的技術稱為灌溉施肥(Fertigation)。狹義上是指，結合灌溉和施肥，將原以固體方式供給作物生長所需的肥料，轉以溶於灌溉水成液態營養液，依據土壤肥力和植物的需肥規律和特點，通過可控管道系統供水、供肥，將營養液定時定量施於植株有效根圈附近。在此系統下，營養液是植物根系吸取養分的主要來源。因此，營養液中應包括植物生長發育所必需的所有營養元素(表1)，即同時符合植物必要養分3條件，(1)缺少這種元素，植物無法完成其生命週期，對高等植物來說，即由種子萌發到再結出種子的過程。(2)此元素具專一性，無法被其他元素所取代，缺乏這種元素，植物會表現出特有的徵狀，而且其它任何一種化學元素都不能代替其作用，只有補

充這種元素後，徵狀才能減輕或消失。(3)這種元素必須是直接參與植物的新陳代謝，對植物起直接的營養作用，而不是改善環境的間接作用。

灌溉施肥對肥料的要求高，其除為植物必要養分外，另符合(1)水溶性，雜質少且溶解度高；(2)植株易吸收之型態；(3)調配溶液pH落於5.5-6.5範圍內。在操作上要留心的是，一般肥料無法完全溶於水，需要選擇水溶肥料。水溶肥料顧名思義，即是可以快速、完全的溶解於水中，利用調整原料與製程，降低雜質和使肥料的溶解度和純度較一般肥料高，其不一定是複合肥料，如尿素與硫酸銨，即是水溶之單質肥料。

肥料種類多元，且具可替換性，選用的原則優先以所含陰陽離子都是植物生長所需，如此土壤才不會累積鹽類，導致栽培困難。另選擇肥料鹽度較低而成分較高者。在微量元素選擇上，首選鉍合物，或利用維持溶液pH值恆定，維持養分有效性。為符合估算的肥料量，可依據磷酸鹽、鈣鹽、鎂鹽、鉀鹽、微量元素的順序和溶解度(表2)計算出所需肥料量。實務上，具有磷肥成分的肥料種類少，且其需求為肥料三要素中最低，所以操作上優先符合磷酸鹽需求。若配方含有 $\text{NH}_4^+$ ，則 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (磷酸一銨)是

首選，若配方不含 $\text{NH}_4^+$ ，則選用 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ (磷酸一鉀)，亦可選用 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。鈣鹽選擇上，通常以硝酸鈣為優先，硫酸鈣次之，高鈣配方才可選用氯化鈣。通常以硫酸鎂作為鎂鹽。磷酸一鉀中不足的鉀，硝酸鈣中不足的硝酸鹽，可由硝酸鉀提供，但需考慮鉀與硝酸鹽之量，由需求較少者決定，若鉀仍不足，可由硫酸鉀或氯化鉀補足，其中硫酸鉀優先於氯化鉀。微量元素肥料的種類較少，通常鐵以EDTA-Fe，錳、銅、鋅以硫酸鹽，硼以硼酸或硼砂，鋁以鋁酸銨或鋁酸鈉提供。

不論是傳統土壤施肥或是利用灌溉施肥系統補充植物生長所需養分皆是依據土壤肥力和植物的需肥規律和特點，估算不足的成分和比例。只是在肥料混合上，後者較前者更須注意調配順序，應注意避免難溶性物質的產生，而無法被植物吸收，調配完成後，應為澄清狀，有沉澱物質為非正常現象。任何一種配方因含有鈣、鎂、鐵、錳等陽離子和磷酸根、硫酸根等陰離子，都存在著產生難溶性物質沉澱的可能性。一般據配方，算出所需肥料重量；先將肥料個別完全溶解於桶中，若肥料難溶，可使用熱水。然後逐一倒入混合桶，倒入時需一邊攪拌，一邊加水，直到所有鹽類完全溶解。通常先溶解大量元素，再加入微量元素；大量元素中，先溶硫酸鹽，磷酸鹽次之，硝酸鹽和氯化物最後溶，將水量加到所配營養液量的8成，

調整溶液pH值在5.5-6.5範圍；最後加入微量元素，注滿水到所需液量，再次確認pH值。微量元素依硫酸鹽，接續為硼肥、鋁肥，最後鉍合態順序加入營養液中。切記，螯合鐵類肥料不可曝氣過久，鐵易氧化而沉澱，有效性就降低了。溶液pH值與肥料效果有密切關係，水當加入鹼逐漸提高pH值時，金屬離子會和氫氧離子反應生成氫氧化物，這是因為隨著pH值上升，氫氧離子的濃度會變高，金屬離子的溶解度會變小的緣故。配製濃縮母液時，把鈣離子和硫酸根離子、磷酸根離子分開，以免產生硫酸鈣或磷酸鈣沉澱。根據溶解度積法則，1公升溶液中 $\text{Ca}^{2+}$ 與 $\text{SO}_4^{2-}$ 分別含1g(0.1%)以上，就會有石膏( $\text{CaSO}_4$ )沉澱。 $\text{Ca}^{2+}$  6 g， $\text{PO}_4^{3-}$  12 g以上時，就會有磷酸一鈣 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 沉澱產生。若母液貯存期較長，應將其酸化，以防沉澱產生，且避光保存。灌溉施肥時，磷酸鹽肥料不可與鈣鹽同時混合；鈣鹽不可與高濃度硫酸鹽肥料同時混合；須分別將母液稀釋後才加入，且加入的速度要慢。

如今的灌溉施肥已不是傳統意義上的灌溉或施肥，而是透過設備將溶於水的肥料精準送到植物可吸收的部位。目前，灌溉施肥系統不僅投資大且固定，因此，對肥料的要求比以往提高。如果所用的肥料或調配不符合要求，滴頭或噴頭堵塞後，維修比較難，因此對使用的肥料加以控制，能更得心應手。

表1.植物所需的必要養分和吸收態

元素	吸收態	元素	吸收態
碳C	CO <sub>2</sub>	硫S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
氫H	H <sub>2</sub> O	鐵Fe	Fe <sup>2+</sup>
氧O	O <sub>2</sub>	錳Mn	Mn <sup>2+</sup>
氮N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ,NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	銅Cu	Cu <sup>2+</sup>
磷P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ,HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	鋅Zn	Zn <sup>2+</sup>
鉀K	K <sup>+</sup>	硼B	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>
鈣Ca	Ca <sup>2+</sup>	鉬Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
鎂Mg	Mg <sup>2+</sup>	氯Cl	Cl <sup>-</sup>

表2.肥料鹽分子量和溶解度

	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg
NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> MW=80.04 214g/100g 25°C	KNO <sub>3</sub> MW=101.11 31.6g/100g 20°C	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O MW=236.15 42.9g/100g 25°C	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O MW=256.41 42.9g/100g 25°C
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> MW=115.03 22.7g/100g 0°C	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> MW=136.09 14.8g/100g 0°C	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O MW=252.08 1.80g/100g 30°C	Mg(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O MW=272.33
SO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> MW=132.15 70.6g/100g °C	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> MW=174.27 7.35g/100g 0°C	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O MW=172.17 0.257g/100g 50°C	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O MW=246.48 26.9g/100g 0°C
Cl	NH <sub>4</sub> Cl MW=53.50 29.4g/100g 0°C	KCl MW=74.56 27.6g/100g 0°C	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O MW=147.02 59.5g/100g 0°C	MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O MW=203.30 281.0g/100g 0°C
HPO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> )HPO <sub>4</sub> MW=149.10 31g/100g 15°C	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> MW=174.18 159.0g/100g 20°C	CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O MW=172.09 0.02g/100g 25°C	MgHPO <sub>4</sub> MW=120.30 0.025g/100g 20°C