

## File No. 35

## 植物根的养分和水分吸收机理

植物为了生存，需要不断地吸收养分和水分来维持自身的新陈代谢和生长的需要。除了某些特殊的场合外，植物基本上是通过根来吸收养分和水分的。但是，根对养分和水分的吸收机理完全不同。

根对水分的吸收是基于根细胞内外的溶液浓度差而产生的渗透压来进行的。所谓渗透压是指“在半透膜两边存在的溶液会因溶质的浓度差而产生的能够使溶剂通过半透膜移动的压力”。即在只能通过溶剂的半透膜的两边存在有同样的溶质和溶剂但溶质浓度不同的两种溶液的话，溶剂分子会通过半透膜从溶质浓度低的溶液移动到溶质浓度高的溶液中去，直到两边的溶质浓度达到平衡状态。换句话说，就是溶液中的溶质微粒对溶剂产生的吸引力形成了渗透压，而渗透压的大小则取决于单位体积溶液里的溶质微粒的数目。溶质微粒越多，即溶液浓度越高，对溶剂的吸引力越大，溶液渗透压就越高。反过来，溶质微粒越少，即溶液浓度越低，对溶剂的吸引力越弱，溶液渗透压就越低。溶质浓度与溶解在溶剂中的无机盐，氨基酸和蛋白质的含量有关。

渗透压可用范特霍夫方程式（van't Hoff equation）来表示：

$$\pi = MRT$$

$\pi$ ：渗透压 [atm]， $M$ ：摩尔浓度 [mol / dm<sup>3</sup>]， $R$ ：气体定数[atm·dm<sup>3</sup> / K·mol]， $T$ ：绝对温度 [K]

植物根的细胞膜是一种只能通过水的半透膜，在正常的情况下，根细胞内的离子和有机酸等溶质的浓度要比根外土壤溶液中的溶质浓度高，保持着较低的水势（Water potensharu），因而产生了渗透压。土壤溶液中的水分因该渗透压的存在而透过根的细胞膜进入到根细胞内（图 1a）。同样，根细胞内的水分也是因渗透压的存在而流入根的导管，通过根和茎的导管流入水势最低的叶片里。叶细胞的水势最低，渗透压最高的原因是水分通过叶面的蒸发以及光合作用生成的同化产物和无机离子在叶细胞内的积储，使得叶细胞溶液的浓度达到植物各器官中最高点。水分动向是从水势高处流向水势低处，根吸收了的水分顺着植物体内形成的水势梯度源源不断地从根输送到地上部的茎叶里（图 1b）。这就是植物的水分吸收机理。

若土壤溶液中的离子浓度高于根细胞溶液的离子浓度，渗透压就会反转，使得根细胞内的渗透压会低于根外的土壤溶液。在这种情况下，根不但不能吸收水分，反而根细胞里的水分还会被吸出到根外，导致植物缺水枯死。在干旱地区和盐分浓度高的土壤上经常可以观察到这种因缺水而导致植物死亡的现象。一次性施用多量的水溶性化肥时，容易出现烧苗现象也是因为大量的肥料使得土壤溶液中的养分离子浓度急速升高，导致土壤溶液的渗透压超过了根细胞的渗透压，不仅根吸收不了水分，反而根里的水分还会被吸出到根外而引起烧苗。

通常，植物会通过提高自身细胞内溶液的溶质浓度和调节叶面的水分蒸发速度来适应土壤溶液的浓度变化，尽量减轻来自土壤的渗透压压力。沙漠地区的耐旱植物和海岸生长的耐盐植物能够抵抗干旱和高盐分的机理就是除了缩小叶面积以减少水分蒸发外，在体内存在高浓度的氯化钠（NaCl）下也能保持正常的细胞生理机能，具有能够以更高的渗透压从土壤溶液

中吸收必要的水分的能力。

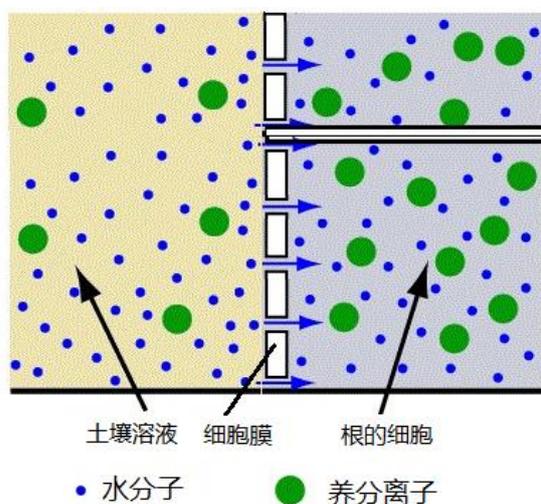


图 1a. 根细胞通过渗透压吸收水分的示意图

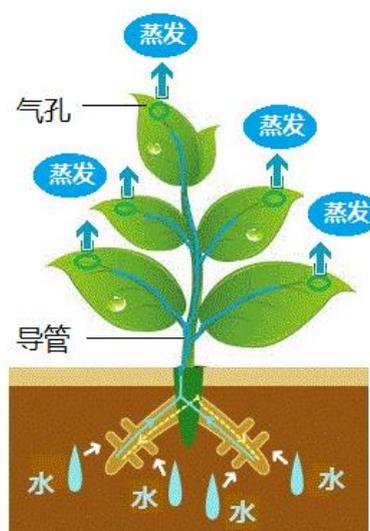


图 1b. 根的水分吸收和输送到地上部的示意图

另一方面，也有人设想出利用植物细胞渗透压与水分吸收的关系来获得高糖度西红柿果实等的栽培方式。其原理是特意增加土壤溶液的盐分浓度，提高土壤溶液的渗透压，西红柿等果菜类作物为了能够从土壤中吸收到水分，不得不提高自身细胞内溶液的溶质浓度来对抗土壤溶液的渗透压。这样，果实中就会积储更多的光合作用合成的糖分和有机酸以及各种无机成分，使得果实味道更加浓厚。

植物对养分的吸收是完全独立于水分吸收机理之外的别的吸收机理。根能够吸收的仅限于离子态的养分。因为离子的扩散是从高浓度移动到低浓度方面去的物理现象，而土壤溶液中的养分元素的离子浓度远远低于植物根细胞内的养分元素浓度，不可能以离子扩散的方式移动到根细胞内。另外，根细胞膜之类的半透膜只能通过水分，不能通过养离子。因为具有电荷的离子不能够自由通过由双层脂质构成的细胞膜，所以植物要从外部低浓度的土壤溶液中将养离子吸收到养分浓度高的细胞里需要在细胞膜上有特殊的离子吸收装置。

这种能够选择性地将外部离子吸收到细胞内的特殊装置是由存在于根的细胞膜上的特殊蛋白质构成的，可分为离子通道 (ion channel) 和离子转运蛋白 (ion transporter) 两大类，可以载运外部离子透过细胞膜进入到细胞内。

离子通道是可以被动地让离子通过细胞膜的一类特殊蛋白质的统称。离子通道处于细胞膜上，贯穿了细胞膜。其结构是在蛋白质分子内存在有称作“门 (gate)”的部位，当门被启开后，外部的特定离子就可以进入门内，再经过蛋白质中的细孔 (pore) 流入到细胞内。通过离子通道进入细胞内的离子的移动属于被动性的扩散，不需要代谢能量 (图 2a)。各种离子都有各自对应的离子通道蛋白质。离子通道是单向同胞，只能将离子从外部输送到细胞内，细胞内的离子则不能通过通道流出细胞外。另外，除了离子之外，其他物质都不能通过离子通道。

离子转运蛋白也是处于细胞膜上的一类特殊蛋白质，每种离子也有其相对应的离子转运蛋白。离子转运蛋白运载离子的方式是，先将离子吸附到离子转运蛋白的特定基质结合部位上后，离子转运蛋白在细胞膜上进行 180 度旋转，将基质结合部位转到细胞内，释放出离子后再度回转到细胞外，接受下一个离子（图 2b）。因此，离子转运蛋白的输送速度约为 100~1 万个/秒，大大低于离子通道的输送速度（100 万~1 亿个/秒）。另外，离子转运蛋白除了离子外，还能够输送氨基酸之类的大分子。这种多项选择性也是离子转运蛋白的特征。与离子通道不同，离子转运蛋白在细胞膜上的旋转需要消耗代谢能量，因此离子通过离子转运蛋白进入细胞内是属于能动性输送。

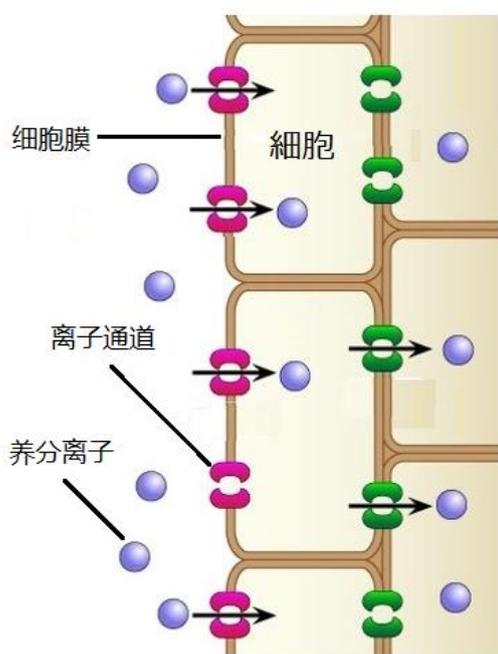


图 2a. 养分离子通过离子通道进入细胞内的示意图

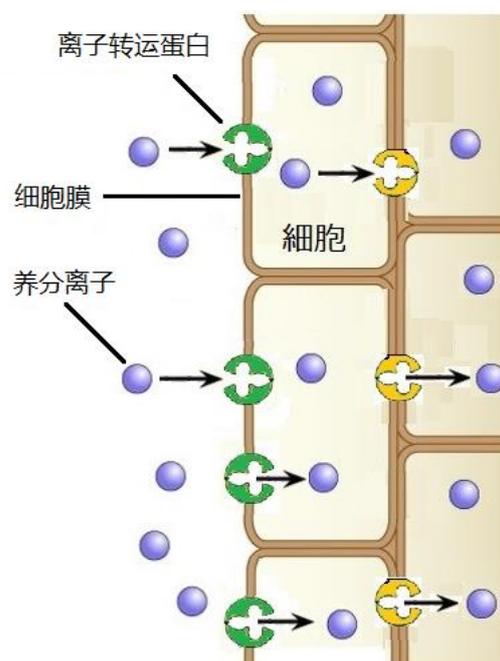


图 2b. 养分离子被离子转运蛋白送入细胞内的示意图

在根的细胞膜上除了离子通道和离子转运蛋白之外，还有提供离子移动所需能量的 ATP 转换装置，调节离子进入细胞膜速度的装置和调节离子通道的门开闭的装置等附属装置。

被吸收到根细胞内的养分离子会与水分一起进入根的导管，通过导管被输送到地上部分，进入到茎叶等组织的细胞内以供应植物生长。

因为土壤中的养分只能以离子状态被植物的根吸收利用，分散在土壤中的养分移动到根圈范围，能够被植物吸收有 2 条途径。1 条途径是植物根从土壤吸收水分时，溶解在土壤溶液中的养分离子也随水分的吸收而被移动到根圈内的质量流方式。另 1 条是植物根的吸收导致根圈的养分离子浓度降低，产生了浓度差，根圈以外的养分离子因浓度差而扩散移动到根圈内的扩散方式。养分离子的移动采用哪种方式则依据土壤溶液中的离子浓度和根的水分吸收速度之间的平衡关系而变动。

土壤胶体在土壤溶液中的养分离子浓度的调节上起着很重要的作用。肥料施用到土壤后，

会被水溶解成离子状态进入土壤溶液。若土壤溶液中的离子浓度过高的话，过剩的离子会被吸附到土壤胶体上，可以避免养分流失。而当土壤溶液中的养分离子被植物吸收，导致浓度降低的话，土壤胶体吸附的养分离子就会被水分中的氢离子置换出来，再次进入到土壤溶液里供植物吸收。

植物根对养分和水分的吸收主要是通过长在根部先端的根毛（root hair）进行的。根毛是根尖生长点直下的表皮细胞的一部分向外突起形成的毛状部分。形成了根毛的表皮细胞的细胞核位于根毛的先端（图 3a）。根毛直径约  $10\ \mu\text{m}$ ，长度则有长有短，各自不同。因为根毛的存在，可以增大根与土壤的接触面积，有效地吸收养分和水分。根毛的寿命不长，通常只有数日到数星期，随着根的伸长而逐渐枯死，失去对养分和水分的吸收能力。图 3b 是萝卜种子发芽后长出的新根上的根毛相片。

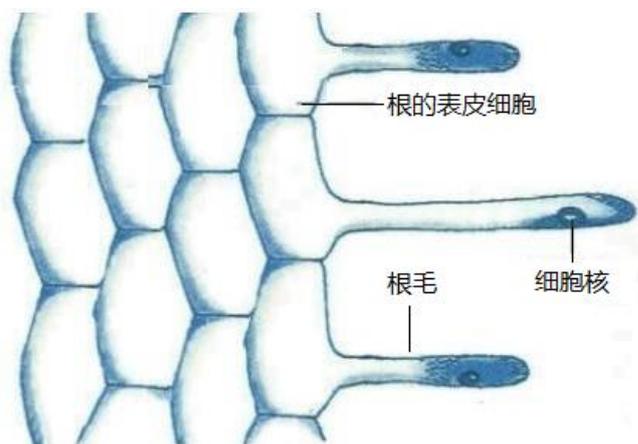


图 3a. 根毛的构造示意图



图 3b. 萝卜发芽后长出的新根上的根毛