

### 第三章 植物的无机营养

#### 主要教学内容:

水分在植物生命活动中的重要性,水势,植物体内水分运输和分配状况,蒸腾作用的生理意义及其影响因素。植物细胞和根系对水分和矿质元素的吸收特点以及水分和矿质元素的吸收的异同点,掌握矿质元素在植物体内的同化,理解合理灌溉的生理学基础和合理施肥的指标。

**重点和难点:** 难点是水势的概念及其组成,重点是植物细胞与根系吸水的方式、气孔运动的机理以及节水农业;根系对水分和矿质元素的吸收特点以及水分和矿质元素的吸收的异同点。

**教学方式:** 课堂讲授 5 学时,实验 3 学时。教师多媒体讲授,动画讲解水分和矿质元素的吸收。

#### 第一节 植物的水分代谢

##### 一、植物根系对水分的吸收

###### (一) 土壤水分存在的形式:

土壤水分按物理状态可分为三种:

- ①毛管水:指由于毛管力所保持在土壤颗粒间毛管内的水分。
- ②束缚水:指土壤中土壤颗粒或土壤胶体的亲水表面所吸附的水分。
- ③重力水:指水分饱和的土壤中,由于重力的作用,能自上而下渗漏出来的水分。

另外按植物对水分利用情况可分为可利用水和不可利用水。

(二)根系吸水的部位:主要在根的先端约 10cm 内,具体的说是在根尖木质部已成熟的伸长区及邻接伸长区的部分成熟期。也可以说是根毛区。

###### (三) 根系吸水的方式:主动吸水和被动吸水

根系代谢活动而引起的根系从环境吸水的过程叫主动吸水

根系代谢活动而引起的离子的吸收与运输,造成了内外水势差,从而使水按照下降的水势梯度,从环境通过表皮、皮层进入中柱导管,并向上运输。主动吸水由于根系的生命活动,产生的把水从根部向上压送的力量。

说明:伤流和吐水与根系代谢旺盛与否有关,代谢旺盛,生长健壮,伤流和吐水明显量大。

###### (四) 根系吸水的机理:上端原动力(被动吸水)——蒸腾拉力;

下端原动力(主动吸水)——根压;

中间原动力——水分子间的内聚力及导管壁附着力。

###### (五) 影响根系吸水的土壤条件

- 1、土壤通气状况:通气状况良好,有利于根吸水;
- 2、土壤温度:适宜的温度范围内土温愈高,根系吸水愈多;
- 3、土壤溶液浓度:根细胞水势小于土壤水势有利于根系吸水。

##### 二、植物的蒸腾作用

1.概念:水分从植物地上部分以水蒸汽状态向外散失的过程叫蒸腾作用。分从植物体内散失到大气中的方式有两种,一种是以液态逸出体外,例如吐水;另一方式是以气态逸出体外,即蒸腾作用,这是植物失水的主要方式。

###### 2.蒸腾作用的生理意义

- (1)蒸腾作用是植物对水分吸收和运输的一个主要动力;
- (2)蒸腾作用促进植物对矿物质的吸收和运输;
- (3)蒸腾作用能降低植物体和叶片的温度;
- (4)蒸腾作用的正常进行,气孔开放,有利于光合作用中 CO<sub>2</sub> 固定。

3.蒸腾的器官:叶片(主要),茎及地上部其它器官。

4.蒸腾的方式：气孔蒸腾（主要），角质蒸腾，皮孔蒸腾。

植物体的各部分都有潜在的对水分的蒸发能力。当植物幼小的时候，暴露在地面上的全部表面都能蒸腾；木本植物长大以后，茎枝上的皮孔可以蒸腾，称之为皮孔蒸腾（lenticular transpiration）。但是皮孔蒸腾的量只占全蒸腾量的 0.1%，所以，植物的蒸腾作用绝大部分是靠叶片的蒸腾。

叶片的蒸腾有两种方式：（1）通过角质层的蒸腾叫角质蒸腾（cuticular transpiration）；（2）通过气孔的蒸腾叫气孔蒸腾（stomatal transpiration）。气孔蒸腾是植物叶片蒸腾的主要形式。

5.气孔运动

气孔（stomata）是植物叶片与外界进行气体交换的主要通道。通过气孔扩散的气体有O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>和水蒸汽。植物在光下进行光合作用，经由气孔吸收CO<sub>2</sub>，所以气孔必须张开，但气孔开张又不可避免地发生蒸腾作用，气孔可以根据环境条件的变化来调节自己开度的大小而使植物在损失水分较少的条件下获取最多的CO<sub>2</sub>。当气孔蒸腾旺盛，叶片发生水分亏缺时，或土壤供水不足时，气孔开度减少以至完全关闭；当供水良好时，气孔张开，以此机制来调节植物的蒸腾失水。

（1）气孔结构特点：

细胞壁不均匀加厚；细胞器与表皮细胞不同；体积小于表皮细胞；与表皮细胞间无胞间连丝。

（2）气孔开闭的机理：

关于气孔运动的机理，目前主要有以下三种学说。

#### ■ 淀粉与糖转化学说

在光下，光合作用消耗了 CO<sub>2</sub>，于是保卫细胞细胞质 pH 增高到 7，淀粉磷酸化酶催化正向反应，使淀粉水解为糖，引起保卫细胞渗透势下降，水势降低，从周围细胞吸取水分，保卫细胞膨大，因而气孔张开。在黑暗中，保卫细胞光合作用停止，而呼吸作用仍进行，CO<sub>2</sub> 积累 pH 下降到 5 左右，淀粉磷酸化酶催化逆向反应，使糖转化成淀粉，溶质颗粒数目减少，细胞渗透势升高，水势亦升高，细胞失水，膨压丧失，气孔关闭。

#### ■ K<sup>+</sup>积累学说

#### ■ 苹果酸代谢学说

6、蒸腾作用的度量

常用的蒸腾作用的定量指标有：

蒸腾速率（transpiration rate） 植物在一定时间内，单位叶面积上散失的水量称为蒸腾速率，又称蒸腾强度。

蒸腾比率（transpiration ratio） 植物每消耗 1kg 水所生产干物质的克数，或者说，植物在一定时间内干物质的累积量与同期所消耗的水量之比称为蒸腾比率或蒸腾效率。

蒸腾系数（transpiration coefficient） 植物制造 1g 干物质所消耗的水量（g）称为蒸腾系数（或需水量，water requirement），它是蒸腾比率的倒数。

7、影响蒸腾作用的外界因素

（1）光：光促进气孔的开启，蒸腾增加。

（2）水分状况：足够的水分有利于气孔开放，过多的水分反而使气孔关闭。

（3）温度：气孔开度一般随温度的升高而增大，但温度过高失水增大也可使气孔关闭。

（4）风：微风有利于蒸腾，强风蒸腾降低。

（5）CO<sub>2</sub> 浓度：CO<sub>2</sub> 浓度低促使气孔张开，蒸腾增强。

7.蒸腾的指标：蒸腾强度（蒸腾速率），蒸腾效率，蒸腾系数

8.降低蒸腾的途径：

（1）减少蒸腾面积；

(2)改善植物生态环境;

(3)应用抗蒸腾剂。

### 三、植物体内的水分运输

#### 1.运输的途径

(1)水分从被吸收到蒸腾到体外经过的途径:

土壤溶液——根部——皮层薄壁细胞——木质部导管和管胞——茎或叶的木质部——叶片木质部膜端细胞——气孔下腔附近的叶肉细胞细胞壁——蒸腾

(2)根据原生质的有无植物组织分类:

质外体 (apoplast, 非原生质体): 没有原生质体的部分;

共质体 (symplast): 原生质体

(3)水分在茎、叶细胞内运输的两种途径:

经过死细胞: 长距离运输

经过活细胞: 适于短距离运输

#### 2、水分沿导管或管胞上升的动力

(1)水分沿导管、管胞上升的动力: 根压、蒸腾拉力 (主要动力)。

(2)内聚力学说 (cohesion theory) 保证导管内的水柱不断。

在导管或管胞中,水分向上转运的动力依然是由导管两端的水势差决定的。由于叶片因蒸腾作用不断失水,水势下降,叶片与根系之间形成一水势梯度。在这一水势梯度的推动下,水分源源不断地沿导管上升。蒸腾作用越强,此水势梯度越大,则水分运转也越快。导管中的水流,一方面受到这一水势梯度的驱动,向上运动;另一方面水流本身具有重力作用。这两种力的方向相反,故使水柱受到一种张力。当蒸腾旺盛时,水势梯度增大,导管中的水柱能否被拉断? 试验证明,水分子的内聚力可达 30MPa 以上,水柱的张力比水分子的内聚力小,约 0.5~3.0MPa,同时水分子与导管内纤维素分子之间还有附着力,所以,导管或管胞中的水流可成为连续的水柱。这是水分向上运输的内聚力学说的主要内容,也称为蒸腾—内聚力—张力学说。这一学说强调水在导管中的连续性。内聚力学说 (cohesion theory) 由爱尔兰人 H.H.Dixon 提出后,得到广泛的支持。

### 四、合理灌溉的生理学基础

#### 1.植物需水规律:

植物幼苗期需水较少,随着植物生长,营养体增大,需水量增加,到营养生长向生殖生长过渡时期,需水量最大,以后将逐渐降低。

2.灌溉的原则: 适时、适量、高质、高效

3.灌溉的最适时期: 水分临界期,最大需水期。

4.灌溉的指标

(1)土壤指标: 田间持水量低于 60%-80%时需灌溉。

(2)形态指标: 幼嫩茎叶凋萎; 茎叶转深或变红; 植株生长速度下降。

(3)生理指标: 细胞汁液浓度,叶片渗透压,叶片水势,气孔开度,气孔阻力。

5.灌溉的需水量: 可通过蒸腾系数和田间蒸发量估算。

6.灌溉的方式: 漫灌、沟灌、喷灌、滴灌

7.灌溉增产的原因: 生理效应,生态效应。

## 第二节 植物的矿质营养

### 一、植物必需矿质元素及其作用

植物对矿质元素的吸收、运输和同化过程叫矿质营养。

目前公认的植物必需元素有 17 种,它们是: C、H、O、N、P、S、K、Ca、Mg、Cu、

Zn、Mn、Fe、Mo、B、Cl、Ni。其中前9种元素的含量分别占植物体干重的0.1%以上，称大量元素，后8种元素的含量分别占植物体干重的0.01%以下，称微量元素。这些营养元素都具备国际植物营养学会确定的植物必需元素的三条标准。必需元素在植物体内的生理作用有3个方面：①作为植物体结构物质的组成成分；②作为植物生命活动的调节剂，参与酶的活动，影响植物的代谢；③起电化学作用，参与渗透调节、胶体的稳定和电荷中和等。

必需元素的缺乏都会引起植物生长发育受阻，影响农业生产。为确保农业生产，准确诊断，对症下药是很必要的。缺素诊断法主要有三种，即化学分析诊断法、病症诊断法和加入诊断法。有些营养元素进入植物体内后可以移动、可以再利用，因此缺乏症首先出现在老的叶片上，这些元素有：N、P、K、Mg、Zn；而有些营养元素进入植物体内后不能移动、不能再利用，因此缺乏症首先出现在嫩叶片上，这些元素有：Ca、B、Cu、Mn、Fe、S。有些元素直接或间接参与叶绿素的生物合成代谢，缺乏这些元素叶绿素生物合成就会受阻，引起缺绿症，这些元素有：N、Mg、Mn、Fe、S等。

## 二、植物体对矿质元素的吸收

植物必需的矿质元素在土壤中以土壤溶液、吸附在土壤胶体表面、土壤难溶盐三种形式存在。植物根系都可以利用土壤这三种形式的盐。其中土壤溶液是植物根系利用的主要方式。

### (一)植物细胞对矿质元素的吸收

植物细胞吸收矿质元素的方式为：主动吸收、被动吸收和胞饮作用。其中主动吸收是植物细胞吸收矿质元素的主要方式。

1、被动吸收是指细胞不消耗代谢能量，而通过扩散作用或其它物理过程而进行的吸收过程。O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>等气体分子可以穿过膜的脂质双分子层，以简单扩散方式进入细胞，扩散动力是膜两侧的这些物质的化学势差。而带电荷的离子被动吸收是顺着电化学势梯度进行的，不消耗代谢能量，而通过扩散作用或其它子不能穿过膜的脂质双分子层，其扩散需要转运蛋白质的协助，所以叫协助扩散或易化扩散，扩散动力是这些离子在膜两侧的电化学势差。

2、主动吸收是指细胞利用代谢能量逆着浓度梯度吸收矿质元素的过程。主动吸收需要转运蛋白的参与。转运蛋白有通道蛋白和载体蛋白之分。载体蛋白又分为单向运输载体、同向运输载体和反向运输载体离子也可以通过离子泵(质子泵和钙泵)跨膜运输。

3、胞饮作用是细胞将吸附在质膜上的矿物质通过膜的内折而转移到细胞内的过程。胞饮作用是非选择性吸收，大分子物质甚至病毒通过胞饮作用进入细胞内。胞饮作用在植物细胞中不很普遍。

### (二)根系对矿质元素的吸收

#### 1、根系对矿质元素的吸收特点：

(1) 对矿质元素和水分的相对吸收：由于根系对盐分和水分的吸收机制不同，吸收量不成比例。

(2) 离子的选择吸收性：即对某些离子吸收的多些，而对有些离子吸收少些或根本不吸收。

(3) 单盐毒害和离子对抗：一般阳离子的毒害作用明显，阴离子的毒害作用不明显。在单盐溶液中若加入少量含其它价数不同的金属离子的盐类，单盐毒害现象就会减轻或消失。离子间的这种作用叫离子对抗。一般在元素周期表中不同族的金属元素的离子间才会有对抗作用。植物只要处于一定浓度、一定比例的多种盐的混合液中才能正常生长，这种溶液叫平衡溶液。在施肥中应十分注意。

#### 2、根系吸收矿质元素要经过以下几个步骤：

(1) 把离子吸附在根部细胞表面。阳离子同根部细胞质膜表面的 $-H^+$ 交换，阴离子同根部细胞质膜表面的 $HCO_3^-$ 交换。

(2)离子进入根细胞内部。吸附在根细胞表面的离子即可被根细胞吸收后通过共质体途径进入木质部,也可以通过质外体途径扩散进入根的内皮层以外的质外体部分。但由于根内皮层上有凯氏带,必须转入共质体才能继续向内运送至木质部;

(3)离子进入导管。离子经共质体途径最终进入木质部后,通过主动的或被动的方式由木质薄壁细胞进入导管。

### 三、矿质元素在植物体内的同化

高等植物不能固定空气中的  $N_2$  , 土壤  $NO_3^-$  和  $NH_4^+$  是其重要的氮来源。在土壤无机氮中主要是  $NO_3^-$  , 因为  $NH_4^+$  通常易于被硝酸细菌和亚硝酸细菌氧化成  $NO_3^-$  , 因此  $NO_3^-$  是根系吸收的主要形式。植物细胞从土壤吸收铵盐后,即在其中合成为氨基酸或酰胺。若植物吸收  $NO_3^-$  , 要经过硝酸还原酶催化,把硝酸还原为氨,才能被利用。则必须先同化。根系吸收的  $NO_3^-$  的还原即可以在根部发生,也可以在地上部分发生。

### 四、矿质元素在植物体内的运输

由根系吸收的矿质元素,有些在根部被同化成有机物后再运往地上部分,有些仍以离子形式运往地上部分。根部吸收的矿物质是伴随蒸腾流,通过木质部向地上部分运输的。而叶片吸收的矿物质可以通过韧皮部或木质部向地上部分运输,也可以通过韧皮部向地下运输。