

(一) 解释名词

原核细胞(prokaryotic cell) 无典型细胞核的细胞，其核质外面无核膜，细胞质中缺少复杂的内膜系统和细胞器。由原核细胞构成的生物称原核生物 (prokaryote)。细菌、蓝藻等低等生物属原核生物。

真核细胞(eukaryotic cell) 具有真正细胞核的细胞，其核质被两层核膜包裹，细胞内有结构与功能不同的细胞器，多种细胞器之间有内膜系统联络。由真核细胞构成的生物称为真核生物 (eukaryote)。高等动物与植物属真核生物。
原生质体(protoplast) 除细胞壁以外的细胞部分。包括细胞核、细胞器、细胞质基质以及其外围的细胞质膜。原生质体失去了细胞的固有形态，通常呈球状。

细胞壁(cell wall) 细胞外围的一层壁，是植物细胞所特有的，具有一定弹性和硬度，界定细胞的形状和大小。典型的细胞壁由胞间层、初生壁以及次生壁组成。

生物膜(biomembrane) 构成细胞的所有膜的总称。它由脂类和蛋白质等组成，具有特定的结构和生理功能。按其所在的位置可分为质膜和内膜。

共质体(symplast) 由胞间连丝把原生质 (包含质膜，不含液泡) 连成一体的体系。

质外体(apoplast) 由细胞壁及细胞间隙等空间 (包含导管与管胞) 组成的体系。

内膜系统(endomembrane system) 是那些处在细胞质中，在结构上连续、功能上相关，由膜组成的细胞器的总称。主要指核膜、内质网、高尔基体以及高尔基体小泡和液泡等。

细胞骨架(cytoskeleton) 指真核细胞中的蛋白质纤维网架体系，包括微管、微丝和中间纤维等，它们都由蛋白质组成，没有膜的结构，互相联结成立体的网络，也称为细胞内的微梁系统(microtrabecular system)。

细胞器(cell organelle) 细胞质中具有特定形态结构和特定生理功能的细微结构。依被膜的多少可把细胞器分为：①双层膜细胞器，如细胞核、线粒体、质体等；②单层膜细胞器，如内质网、液泡、高尔基体、蛋白体等；③无膜细胞器，如核糖体、微管、微丝等。

质体(plastid) 植物细胞所特有的细胞器，具有双层被膜，由前质体分化发育而成，包括淀粉体、叶绿体和杂色体等。

线粒体(mitochondria) 真核细胞质内进行三羧酸循环和氧化磷酸化作用的细胞器。呈球状、棒状或细丝状等，具有双层膜。线粒体能自行分裂，并含有 DNA、RNA 和核糖体，能进行遗传信息的复制、转录与翻译，但由于遗传信息量不足，大部分蛋白质仍需由细胞核遗传系统提供，故

微管(microtubule) 存在于动植物细胞质内的由微管蛋白组成的中空管状结构。其主要功能除起细胞的支架作用和参与细胞器与细胞运动外，还与细胞壁、纺锤丝、中心粒的形成有关。

微丝(microfilament) 由丝状收缩蛋白所组成的纤维状结构，类似于肌肉中的肌动蛋白，可以聚集成束状，参与胞质运动、物质运输，并与细胞感应有关。

高尔基体(Golgi body) 由若干个由膜包围的扁平盘状的液囊垛叠而成的细胞器。它能向细胞质中分泌囊泡 (高尔基体小泡)，与物质集运和分泌、细胞壁形成、大分子装配等有关。

核小体(nucleosome) 构成染色质的基本单位。每个核小体包括 200bp 的 DNA 片断和 8 个组蛋白分子。

液泡(vacuole) 植物细胞特有的，由单层膜包裹的囊泡。它起源于内质网或高尔基体小泡。在分生组织细胞中液泡较小且分散，而在成熟植物细胞中小液泡被融合成大液泡。在转运物质、调节细胞水势、吸收与积累物质方面有重要作用。

溶酶体(lysosome) 是由单层膜包围，内含多种酸性水解酶类的囊泡状细胞器，具有消化生物大分子，溶解细胞器等作用。若溶酶体破裂，酸性水解酶进入细胞质，会引起细胞的自溶。

核糖体(ribosome) 细胞内参与合成蛋白质的颗粒状结构，亦称核糖核蛋白体。无膜包裹，大致由等量的 RNA 和蛋白质组成，大多分布于胞基质中，呈游离状态或附于粗糙型内质网上，少数存在于叶绿体、线粒体及细胞核中。核糖体是蛋白质合成的场所，游离于胞基质的核糖体往往成串排列在 mRNA 上，组成多聚核糖体(polysome)，这样一条 mRNA 链上的信息可以同时用来合成多条同样的多肽链。

胞间连丝(plasmodesma) 穿越细胞壁，连接相邻细胞原生质 (体) 的管状通道。它可由质膜或内质网膜或连丝微管所构成。

流动镶嵌模型(fluid mosaic model) 由辛格尔(S.L.singer) 和尼柯尔森(G.L.Nicolson) 在 1972 年提出的解释生物膜结构的模型，认为液态的脂质双分子层中镶嵌着可移动的蛋白质，使膜具有不对称性和流动性。

细胞全能性(totipotency) 每一个细胞中都包含着产生一个完整机体的全套基因，在适宜条件下能形成一个新的个体。细胞的全能性是组织培养的理论基础。

细胞周期(cell cycle) 从一次细胞分裂结束形成子细胞到下一次分裂结束形成新的子细胞所经历的时期。可以分为

G1 期、S 期、G2 期、M 期四个时期。

周期时间(time of cycle) 完成一个细胞周期所需的时间。

(二) 写出下列符号的中文名称，并简述其主要功能或作用

ER 内质网(endoplasmic reticulum)，交织分布于细胞质中的膜层系统，内与细胞核外被膜相连，外与质膜相连，并通过胞间连丝与邻近细胞的内质网相连。内质网是蛋白质、脂类、糖类物质合成的场所，参与细胞器和细胞间物质和信息的传递。

RER 粗糙型内质网(rough endoplasmic reticulum)，富含核糖体的内质网，参与蛋白质的合成。

RNA 核糖核酸(ribose nucleic acid)，即含核糖的核酸。它由多个核苷酸通过磷酸二酯键连接而成，大部分存在于细胞质中，少量存在于细胞核中。细胞内的核糖核酸因其功能和性质的不同分为三种：①转移核糖核酸(tRNA)，分子量较小，在蛋白质生物合成过程中，起着携带和转移活化氨基酸的作用；②信使核糖核酸(mRNA)，以 DNA 为模板转录的一种单链核糖核酸分子，是合成蛋白质的模板；③核糖体核糖核酸(rRNA)，分子量较大，同蛋白质一起构成核糖体，核糖体是蛋白质合成的场所。

mtDNA 线粒体 DNA(mitochondrial DNA)，线粒体内遗传信息的载体。

cpDNA 叶绿体 DNA(chloroplast DNA)，叶绿体内遗传信息的载体。

TAG 甘油三酯(triacylglycerols)，圆球体中主要含有的一种脂类。

HRGP 富含羟脯氨酸的糖蛋白(hydroxyproline glycoprotein)，细胞壁结构成分，在细胞防御和抗病性中起作用。

PCD 细胞程序化死亡(programmed cell death)，受细胞自身基因调控的衰老死亡过程。它有利于生物自身的发育，或有利于抵抗不良环境。

G1 期 第 1 间隙期(gap1)，又称 DNA 合成前期(pre-synthetic phase)，从有丝分裂完成到 DNA 复制之前的时期，进行 RNA 与蛋白质的合成，为 DNA 复制作准备。

S 期 DNA 复制期(synthetic phase)，主要进行 DNA 及有关组蛋白的合成。

G2 期 第 2 间隙期(gap2)，又称 DNA 合成后期(post-synthetic phase)，指 DNA 复制完到有丝分裂开始的一段间隙，主要进行染色体的精确复制，为有丝分裂作准备。

M 期 有丝分裂期(mitosis)，按前期(prophase)、中期(metaphase)、后期(anaphase)和末期(telophase)的次序进行

细胞分裂。

(三) 问答题

1. 为什么说真核细胞比原核细胞进化？

答：原核细胞没有明显的由核膜包裹的细胞核，只有由若干条线型 DNA 构成的拟核体，细胞体积一般很小，质膜与细胞质的分化简单，除核糖体外，没有其它亚细胞结构，主要以无丝分裂方式繁殖。而真核细胞有明显的由两层核膜包裹的细胞核，细胞体积较大，细胞质高度分化形成了各种大小不一和功能各异的细胞器，各种细胞器之间通过膜的联络形成了一个复杂的内膜系统，细胞分裂以有丝分裂为主。由于真核细胞出现复杂的内膜系统和高度分化的细胞器，使细胞结构区域化，代谢效率提高，遗传物质稳定，使它能组成高等的真核生物体。

2. 典型的植物细胞与动物细胞的在结构上的差异是什么？这些差异对植物生理活动有什么影响？

答：典型的植物细胞中存在大液泡、质体和细胞壁，这是与动物细胞在结构上的最主要差异。植物特有的细胞结构对植物的生理活动以及适应外界环境具有重要的作用。例如大液泡的存在使植物细胞与外界环境构成一个渗透系统，调节细胞的吸水机能，维持细胞的坚挺，此外液泡也是吸收和积累各种物质的场所。质体中的叶绿体使植物能进行光合作用；而淀粉体能合成并贮藏淀粉。细胞壁不仅使植物细胞维持了固有的形态，而且在物质运输、信息传递、抗逆防病等方面都起着重要作用。

3. 原生质的胶体状态与其生理代谢有什么联系？

答：原生质胶体有溶胶与凝胶两种状态，当原生质处于溶胶状态时，粘性较小，细胞代谢活跃，分裂与生长旺盛，但抗逆性较弱。当原生质呈凝胶状态时，细胞生理活性降低，但对低温、干旱等不良环境的抵抗能力提高，有利于植物度过逆境。当植物进入休眠时，原生质胶体从溶胶状态转变为凝胶状态。

4. 高等植物细胞有哪些主要细胞器？这些细胞器的结构特点与生理功能有何联系？

答：高等植物细胞内含有叶绿体、线粒体、微管、微丝、内质网、高尔基体和液泡等细胞器。这些细胞器在结构与功能上有密切的联系。

(1)叶绿体 具有双层被膜，其中内膜为选择透性膜，这对控制光合作用的底物与产物输出叶绿体以及维持光合作用的环境起重要作用。类囊体是由封闭的扁平小泡组成，膜上含有叶绿体色素和光合电子传递体，这与其具有的光能吸收、电子传递与光合磷酸化等功能相适应。而 CO₂ 同化的全部酶类存在于叶绿体间质，从而使间质成为 CO₂ 固定与同化物生成的场所。由于叶绿体具有上述特性，使

它能成为植物进行光合作用的细胞器。

(2)线粒体 是进行呼吸作用的细胞器，也含有双层膜，外膜蛋白质含量低，透性较大，内膜蛋白质含量高，且含有电子传递体和 ATP 酶复合体，保证了在其上能进行电子传递和氧化磷酸化。

(3)微管 是由微管蛋白组装成的中空管状结构，在细胞中能聚集与分散，组成早前期带、纺锤体等多种结构，因而它能在保持细胞形状、细胞内的物质运输、细胞分裂和细胞壁的合成中起重要作用。

(4)微丝 主要由两种球形收缩蛋白聚合成的细丝彼此缠绕而成，呈丝状，由于收缩蛋白可利用 ATP 所提供的能量推动原生质运动，因而微丝在胞质运动、胞内物质运输等方面能起重要作用。

(5)内质网 大部分呈膜片状，由两层平行排列的单位膜组成。内质网相互联通成网状结构，穿插于整个细胞质中，既提供了细胞空间的支持骨架，又起到了细胞内的分室作用；粗糙内质网上有核糖体，它是合成蛋白质(酶)合成的场所，光滑内质网是合成脂类和糖类的场所；另外内质网能分泌囊泡，是细胞内的物质的运输系统，也是细胞间物质与信息的传递系统。

(6)高尔基体 它由膜包围的液囊垛叠而成，并能分泌囊泡。它主要是对由内质网运来的蛋白质和多糖进行加工、浓缩、储存和集运，通过分泌泡和质膜或其它细胞器膜融合的方式，把参与加工或合成的物质的集运到壁和其它细胞器中，因而它能参与蛋白体、溶酶体和液泡等细胞器的形成。

(7)液泡 由多种囊泡融合而成，小液泡随着细胞的生长，常融合成一个中央大液泡。液泡内含有糖、酸等溶质，具有渗透势，在细胞中构成一个渗透系统，这对调节水平衡、维持细胞的膨压具有重要作用。另外液泡膜上有 ATP 酶、离子通道和多种载体，使它能选择性地吸收和积累多种物质。

5. 生物膜在结构上的特点与其功能有什么联系？

答：生物膜主要由蛋白质和脂类组成，膜中脂类大多为极性分子，其疏水尾部向内，亲水头部向外，组成双层膜，蛋白质镶嵌在膜中或分布在膜的表面。膜不仅把细胞与外界隔开，而且把细胞内的空间区域化，从而使细胞的代谢活动有条不紊地“按室分工”。膜上的蛋白质有的是酶，有的是载体或通道，还有的是能感应刺激的受体，因而生物膜具有进行代谢反应、控制物质进出以及传导信息等功能。膜中蛋白质和脂类的比值因膜的种类不同而有差异，一般来说，功能多而复杂的生物膜，其蛋白质的种类多，蛋白质与脂类的比值大，反之，功能简单的膜，其所含蛋

白质的种类与数量就少。如线粒体内膜以及类囊体膜的功能复杂，要进行电子传递和磷酸化作用，因而其蛋白质种类和数量较多，而且其中许多蛋白质与其它物质组成了超分子复合体。

关于膜的结构有流动镶嵌、板块镶嵌等模型。

(1)流动镶嵌模型的要点：①不对称性，即脂类和蛋白质在膜中的分布不对称；②流动性，即组成膜的脂类双分子层或蛋白质都是可以流动或运动的。膜不对称性和流动性保证了生物膜能经受一定程度的形变而不致破裂，这也可使膜中各种成分按需要重新组合，使之合理分布，有利于表现膜的多种功能。更重要的是它允许膜互相融合而不失去对通透性的控制，确保膜分子在细胞分裂、膜动运输、原生质体融合等生命活动中起重要的作用。

(2)板块镶嵌模型的要点：①整个生物膜是由不同组织结构、不同大小、不同性质、不同流动性的可移动的膜块所组成；②不同流动性的区域可同时存在，各膜块能随生理状态和环境条件的改变而改变。板块镶嵌模型有利于说明膜功能的多样性及调节机制的复杂性。

6. 细胞内部的区域化对其生命活动有何重要意义？

答：细胞内的区域化是指由生物膜把细胞内的空间分隔，形成各种细胞器，这样不仅使各区域内具有的 pH 值、电位、离子强度、酶系和反应物不同，而且能使细胞的代谢活动“按室进行”，各自执行不同的功能。同时由于内膜系统的存在又将多种细胞器联系起来，使得各细胞器之间能协调地进行物质、能量交换与信息传递，有序地进行各种生命活动。

7. 你怎样看待细胞质基质与其功能的关系？

答：细胞质基质也称为细胞浆，是富含蛋白质(酶)、具有一定粘度、能流动的、半透明的胶状物质。它是细胞重要的组分，具有以下功能：

(1)代谢场所 很多代谢反应如糖酵解、磷酸戊糖途径、脂肪酸合成、蔗糖的合成等都在细胞质基质中进行，而且这些反应所需的底物与能量都由基质提供。

(2)维持细胞器的结构与功能 细胞质基质不仅为细胞器的实体完整性提供所需要的离子环境，供给细胞器行使功能所必需的底物与能量，而且流动的细胞基质十分有利于各细胞器与基质间进行物质与能量的交换。

8. 从细胞壁中的蛋白质和酶的发现，谈谈对细胞壁功能的认识。

答：长期以来细胞壁被认为是界定原生质体的僵死的“木头盒子”，只起被动的防御作用。但随着研究的深入，大量蛋白质尤其是几十种酶蛋白在细胞壁中被发现，人们改变了传统观念，认识到细胞壁是植物进行生命活动不可缺

少的部分。它至少具有以下生理功能：

(1)维持细胞形状，控制细胞生长 细胞壁增加了细胞的机械强度，这不仅有保护原生质体的作用，而且维持了器官与植株的固有形态。

(2)运输物质与传递信息 细胞壁涉及了物质运输，参与植物水势调节，另外细胞壁也是化学信号（激素等）、物理信号（电波、压力等）传递的介质与通路。

(3)代谢功能 细胞壁中的酶类广泛参与细胞壁高分子的合成、转移与水解等生化反应。

(4)防御与抗性 细胞壁中的寡糖素能诱导植物抗毒素的形成；壁中的伸展蛋白除了作为结构成分外，还有防御和抗病抗逆的功能。

9. 植物细胞的胞间连丝有哪些功能？

答：植物细胞胞间连丝的主要生理功能有两方面：

(1)进行物质交换 相邻细胞的原生质可通过胞间连丝进行交换，使可溶性物质（如电解质和小分子有机物）、生物大分子物质（如蛋白质、核酸、蛋白核酸复合物）甚至细胞核发生胞间运输。

(2)进行信号传递 物理信号（电、压力等）和化学信号（植物激素、生长调节剂等）都可通过胞间连丝进行共质体传递。

10. 细胞周期的各期有何特点？

答：细胞周期可分 G1 期、S 期、G2 期和 M 期四个时期，各期特点如下：

(1)G1 期 是从有丝分裂完成到 DNA 复制之前的时期，主要进行 mRNA、tRNA、rRNA 和蛋白质的合成，为 DNA 复制作准备。

(2)S 期 是 DNA 复制时期，主要进行 DNA 及有关组蛋白的合成。此期中 DNA 的含量增加一倍。

(3)G2 期 为 DNA 复制完毕到有丝分裂开始的一段间隙，主要进行染色体的精确复制，为有丝分裂作准备。

(4)M 期 是细胞进行有丝分裂的时期，此期染色体发生凝缩、分离并平均分配到两个子细胞中。细胞分裂按前期、中期、后期和末期的次序进行，分裂后子细胞中的 DNA 含量减半。

11. 植物细胞的基因表达有何特点？

答：（1）植物是真核生物，其细胞的 DNA 含量和基因数目远远多于原核细胞，蛋白质或 RNA 的编码基因序列往往是不连续的，大多数基因都含有内含子。DNA 与组蛋白结合，以核小体为基本单位，形成染色体或染色质，遗传物质分散到多个 DNA 分子上。

（2）植物细胞的基因为单顺反子，无操纵子结构，有各自的调控序列，而且基因表达有明显的“时”与“空”的特

性。另外，植物基因表达比动物更容易受环境因子（如光、温、水分）的影响，环境因子会引起植物基因表达的改变。

（3）植物细胞中有三种 RNA 聚合酶参与基因的表达，RNA 聚合酶 I 负责 rRNA 的合成，RNA 聚合酶 II 负责形成 mRNA，RNA 聚合酶 III 负责 tRNA 和小分子 RNA 的合成。植物细胞中的 DNA 通过组蛋白阻遏等机制，使大部分基因不能表达，又加上在转录等水平上的各级复杂调节机制，使得在特定组织和特定发育阶段中有相应基因进行适度表达，产生与组织结构和代谢功能相适应的蛋白质或酶。

12. 你怎样理解植物细胞的程序化死亡？

答：细胞程序化死亡(programmed cell death,PCD) 是一种主动的受细胞自身基因调控的衰老死亡过程，与通常意义上的细胞衰老死亡不同，在 PCD 发生过程中，通常伴随有特定的形态变化和生化反应，如细胞核和细胞质浓缩、DNA 降解等。它是多细胞生物中某些细胞所采取的主动死亡方式，在细胞分化、过敏性反应和抗病抗逆中有特殊作用，如维管束中导管的形成、性别分化过程中单性花的形成、感染区域及其周围病斑的形成等，这些都是细胞程序化死亡的表现。

第二章 植物的水分生理复习思考题与答案

(一)名词解释

束缚水(bound water) 与细胞组分紧密结合不能自由移动、不易蒸发散失的水。

自由水(free water) 与细胞组分之间吸附力较弱,可以自由移动的水。

化学势(chemical potential) 偏摩尔自由能被称为化学势，以希腊字母 μ 表示,组分 j 的化学势(μ_j)为： $\mu_j = (G/n_j)_{T,p,n_i,n_j \neq n_j}$ ，其含义是：在等温等压保持其它组分不变时，体系自由能随组分 j 的摩尔变化率。换句话说，在一个庞大的体系中，在等温等压以及保持其他各组分浓度不变时，加入 1 摩尔 j 物质所引起体系自由能的增量。

体系内 j 组分的化学势 μ_j 则用下式各项之和表示：

$$\mu_j = \mu_{0-j} + RT \ln a_j + Z_j F E + V_{j,m} P + m_j g h$$

式中 μ_{0-j} :标准状态下体系内 j 组分的化学势；R:气体常数；T:绝对温度； a_j :物质 j 的相对活度； Z_j :物质 j 所带电荷数；F:法拉第常数；E:物质 j 所处体系的电势； $V_{j,m}$:物质 j 的偏摩尔体积；P:压力（或溶液静水压力）；g:重力加速度；h:体系的高度； m_j :物质 j 的摩尔质量。

(electrochemical potential); 而将不包括电项, 即物质 j 不带电荷或电势 E 为 0, 即 $Z_jFE=0$ 的 μ_j 称为化学势。

水势 (water potential) 每偏摩尔体积的水的化学势差称为水势, 用 ψ_w 表示。 $\Psi_w = (\mu_w - \mu_{w0}) / V_{w,m}$, 即水势为体系中水的化学势与处于等温、等压条件下纯水的化学势之差, 再除以水的偏摩尔体积的商。用两地间的水势差可判别它们间水流的方向和限度, 即水分总是从水势高处流向水势低处, 直到两处水势差为 0 为止。

溶质势 ψ_s (solute potential, ψ_s) 由于溶质颗粒的存在而引起体系水势降低的数值。溶质势表示溶液中水分潜在的渗透能力的大小, 因此, 溶质势又可称为渗透势 (osmotic potential, ψ_π)。溶质势可用 $\psi_s = RT \ln N_w / V_{w,m}$ 公式计算, 也可按范特霍夫公式 $\psi_\pi = -\pi = -iCRT$ 计算。

衬质势 (matrix potential, ψ_m) 由于衬质 (表面能吸附水分的物质, 如纤维素、蛋白质、淀粉等) 的存在而使体系水势降低的数值。

压力势 (pressure potential, ψ_p) 由于压力的存在而使体系水势改变的数值。若加正压力, 使体系水势增加, 加负压力, 使体系水势下降。

重力势 (gravity potential, ψ_g) 由于重力的存在而使体系水势增加的数值。

集流 (mass flow 或 bulk flow) 指液体中成群的原子或分子 (例如组成水溶液的各种物质的分子) 在压力梯度 (水势梯度) 作用下共同移动的现象。

渗透作用 (osmosis) 溶液中的溶剂分子通过半透膜扩散的现象。对于水溶液而言, 是指水分子从水势高处通过半透膜向水势低处扩散的现象。

水通道蛋白 (water channel protein) 存在生物膜上的具有通透水分功能的内在蛋白。水通道蛋白亦称水孔蛋白 (aquaporins, AQPs)。

吸胀吸水 (imbibing absorption of water) 依赖于低的衬质势而引起的吸水。干种子的吸水为典型的吸胀吸水。

吸胀作用 (imbibition) 亲水胶体物质吸水膨胀的现象称为吸胀作用。胶体物质吸引水分子的力量称为吸胀力。蛋白质类物质吸胀力最大, 淀粉次之, 纤维素较小。

根压 (root pressure) 由于植物根系生理活动而促使液流从根部上升的压力。它是根系与外液水势差的表现和量度。根系活力强、土壤供水力高、叶的蒸腾量低时, 根压较大。伤流和吐水现象是根压存在证据。

伤流 (bleeding) 从受伤或折断的植物组织伤口处溢出液体的现象。伤流是由根压引起的, 是从伤口的输导组

吐水 (guttation) 从未受伤的叶片尖端或边缘的水孔向外溢出液滴的现象。吐水也是由根压引起的。作物生长健壮, 根系活动较强, 吐水量也较多, 所以, 吐水现象可以作为根系生理活动的指标, 并能用以判断苗长势的好坏。

暂时萎蔫 (temporary wilting) 植物在水分亏缺严重时, 细胞失去膨压, 茎叶下垂的现象称为萎蔫 (wilting)。萎蔫植株如果当蒸腾速率降低后, 可恢复正常, 则这种萎蔫称为暂时萎蔫。暂时萎蔫是由于蒸腾失水量一时大于根系吸水量而引起的。

永久萎蔫 (permanent wilting) 萎蔫植物若在蒸腾降低以后仍不能使恢复正常, 这样的萎蔫就称为永久萎蔫。永久萎蔫是由于土壤缺乏可利用的水分引起的。只有向土壤供水才能消除植株的萎蔫现象。

蒸腾作用 (transpiration) 植物体内的水分以气态散失到大气中去的过程。蒸腾作用可以促进水分的吸收和运转, 降低植物的温度, 促进盐类的运转和分布。

小孔扩散律 (small opening diffusion law) 指气体通过多孔表面扩散的速率, 不与小孔的面积成正比, 而与小孔的周长或直径成正比的规律。气孔蒸腾速率符合小孔扩散律。

蒸腾速率 (transpiration rate) 又称蒸腾强度或蒸腾率, 指植物在单位时间内、单位叶面积上通过蒸腾作用散失的水量。

蒸腾效率 (transpiration ratio) 植物每蒸腾 1kg 水时所形成的干物质的 g 数。

蒸腾系数 (transpiration coefficient) 植物每制造 1g 干物质所消耗水分的 g 数, 它是蒸腾效率的倒数, 又称需水量 (water requirement)。

内聚力学说 (cohesion theory) 该学说由狄克逊 (H. H. Dixon,) 和伦尼尔 (O. Renner,) 在 20 世纪初提出, 是以水分的内聚力 (相同分子间相互吸引的力量) 来解释水分在木质部中上升的学说。内聚力学说的基本论点是: ①水分子之间有强大的内聚力, 当水分被局限于具有可湿性内壁的细管 (如导管或管胞) 中时, 水柱可经受很大的张力而不致断裂; ②植物体内的水分是在被水饱和的细胞壁和木质部运输的, 水分子从叶的蒸发表面到根的吸水表面形成一个连续的体系; ③叶肉细胞蒸腾失水后细胞壁水势下降, 使木质部的水分向蒸发表面移动, 木质部的水分压力势下降而产生张力; ④蒸发表面水势的降低, 经连续的导水体系传递到根, 使土壤水分通过根部循茎上升, 最后

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net
到达叶的蒸腾表面。内聚力学说也称蒸腾流—内聚力—张力学说(transpiration cohesion tension theory)。

水分临界期(critical period of water) 植物在生命周期中，对缺水最敏感、最易受害的时期。一般而言，植物的水分临界期多处于花粉母细胞四分体形成期，这个时期一旦缺水，就使性器官发育不正常。作物的水分临界期可作为合理灌溉的一种依据。

(二) 写出下列符号的中文名称，并简述其主要功能或作用

μ_w 水的化学势(water chemical potential)，水的化学势的热力学含义是：当温度、压力及物质数量(水分以外)一定时，由水(摩尔)量变化引起的体系自由能的改变量。水的化学势之差，可用来判断水分参加化学反应的本领或两相间移动的方向和限度。

ψ_w 水势(water potential)，每偏摩尔体积的水的化学势差，即体系中水的化学势与处于等温、等压条件下纯水的化学势之差($\mu_w - \mu_{ow}$)，再除以水的偏摩尔体积($V_{w,m}$)。用两地间的水势差可判别它们间水流的方向和限度，可以用来分析土壤-植物-大气水分连续体(SPAC)中的水分移动情况。

MPa 兆帕，表示水势的单位， $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10 \text{ bar} = 9.87 \text{ atm}$ 。

N_w 水的摩尔分数(molar numeric of water)， $N_w = \frac{\text{水的摩尔数}}{\text{水的摩尔数} + \text{溶质的摩尔数}}$ ，它表示水在水溶液中的含量， N_w 大表示水溶液中水分含量高，溶质含量少，水势高。纯水的 $N_w \approx 55.1 \text{ mol/dm}^3$ 。

RH 相对湿度(relative humidity)，为气相中的蒸气压与纯水的饱和蒸气压的百分数，RH 高表示气相中的水分含量高，水势高。

SPAC 土壤-植物-大气连续体(soil-plant-atmosphere continuum)，土壤的水分由根吸收，经过植物，然后蒸发到大气，这样水分在土壤、植物和大气间的运动就构成一个连续体。一般情况下，土壤的水势>根水势≥茎水势>叶水势>大气水势，因此，土壤-植物-大气连续体就成为土壤中水分经植物体散失到大气的途径。

(三) 问答题

1. 简述水分在植物生命活动中的作用。

答：(1)细胞的重要组成成分 一般植物组织含水量占鲜重的75%~90%。

(2)代谢过程的反应物质 如果没有水，许多重要的生化过程如光合作用放氧反应、呼吸作用中有机物质的水解都不能进行。

各种生理生化反应和物质运输的介质 如矿质元

素的吸收、运输、气体交换、光合产物的合成、转化和运输以及信号物质的传导等都需要水作为介质。

(4)使植物保持固有的姿态 植物细胞含有大量水分，产生的静水压可以维持细胞的紧张度，使枝叶挺立，花朵开放，根系得以伸展，从而有利于植物捕获光能、交换气体、传粉受精以及对水肥的吸收。

(5)具有重要的生态意义 通过水所具有的特殊理化性质可以调节湿度和温度。例如：植物通过蒸腾散热，调节体温，以减轻烈日的伤害；水温的变化幅度小，在水稻育秧遇到寒潮时可以灌水护秧；高温干旱时，也可通过灌水来调节植物周围的温度和湿度，改善田间小气候；此外可以水调肥，用灌水来促进肥料的释放和利用。因此水在植物的生态环境中起着特别重要的作用。

2. 植物体内水分存在的形式与植物的代谢、抗逆性有什么关系？

答：植物体内的水分存在两种形式，一种是与细胞组分紧密结合而不能自由移动、不易蒸发散失的水，称为束缚水，另一种是与细胞组分之间吸附力较弱，可以自由移动的水，称为自由水。自由水可参与各种代谢活动，因此，当自由水/束缚水比值高时，细胞原生质呈溶胶状态，植物的代谢旺盛，生长较快，抗逆性弱；反之，自由水少时，细胞原生质呈凝胶状态，植物代谢活性低，生长迟缓，但抗逆性强。

3. 在植物生理学中引入水势概念有何意义？

答：(1)可用热力学知识来分析水分的运动状况 不论在生物界、非生物界，还是在生物界与非生物界之间，水分总是从水势高处流向水势低处，直到两处水势差为0为止。

(2)可用同一单位来判别水分移动 水势的单位为压力(Pa)，与土壤学、气象学中的压力单位相一致，使在土壤-植物-大气的水分连续系统中，可用同一单位来判别水分移动。

(3)与吸水力联系起来 水势概念与传统的吸水力(S)概念有联系，在数值上 $\psi_w = -S$ ，使原先前人测定的吸水力数值在加上负号后就变成水势值。

4. 土壤溶液和植物细胞在水势的组分上有什么异同点？

答：(1)共同点：土壤溶液和植物细胞水势的组分均由溶质势、衬质势和压力势组成。

(2)不同点：①土壤中构成溶质势的成分主要是无机离子，而细胞中构成溶质势的成分除无机离子外，还有有机溶质；②土壤衬质势主要是由土壤胶体对水分的吸附所

引起的，而细胞衬质势则主要是由细胞中蛋白质、淀粉、纤维素等亲水胶体物质对水分的吸附而引起的；③土壤溶液是个开放体系中，土壤的压力势易受外界压力的影响，而细胞是个封闭体系，细胞的压力势主要受细胞壁结构和松弛情况的影响。

5.植物吸水有哪几种方式？

答：植物吸水主要有三种方式：

(1)渗透吸水 指由于 ψ_s 的下降而引起的细胞吸水。

含有液泡的细胞吸水，如根系吸水、气孔开闭时保卫细胞的吸水主要为渗透吸水。

(2)吸胀吸水 依赖于低的 ψ_m 而引起的吸水。无液泡的分生组织和干燥种子中含有较多衬质(亲水物体)，它们可以氢键与水分子结合，吸附水分。

(3)降压吸水 这里是指因 ψ_p 的降低而引发的细胞吸水。如蒸腾旺盛时，木质部导管和叶肉细胞(特别是萎蔫组织)的细胞壁都因失水而收缩，使压力势下降，从而引起细胞水势下降而吸水。失水过多时，还会使细胞壁向内凹陷而产生负压，这时 $\psi_p < 0$ ，细胞水势更低，吸水力更强。

6.温度为什么会影响根系吸水？

答：温度尤其是土壤温度与根系吸水关系很大。过高过低对根系吸水均不利。

(1)低温使根系吸水下降的原因：①水分在低温下粘度增加，扩散速率降低，同时由于细胞原生质粘度增加，水分扩散阻力加大；②根呼吸速率下降，影响根压产生，主动吸水减弱；③根系生长缓慢，不发达，有碍吸水面积扩大。

(2)高温使根系吸水下降的原因：①土温过高会提高根的木质化程度，加速根的老化进程；②使根细胞中的各种酶蛋白变性失活。

土温对根系吸水的影响还与植物原产地和生长发育的状况有关。一般喜温植物和生长旺盛的植物的根系吸水易受低温影响，特别是骤然降温，例如在夏天烈日下用冷水浇灌，对根系吸水很为不利。

7.以下论点是否正确，为什么？

(1)一个细胞的溶质势与所处外界溶液的溶质势相等，则细胞体积不变。

答：该论点不完全正确。因为一个成熟细胞的水势由溶质势和压力势两部分组成，只有在初始质壁分离 $\psi_p = 0$ 时，上述论点才能成立。通常一个细胞的溶质势与所处外界溶液的溶质势相等时，由于压力势(常为正值)的存在，使细胞水势高于外界溶液的水势(也即它的溶质势)，因而细胞失水，体积变小。

(2)若细胞的 $\psi_p = -\psi_s$ ，将其放入某一溶液中时，则体积不变。

答：该论点不正确。因为当细胞的 $\psi_p = -\psi_s$ 时，该细胞的 $\psi_w = 0$ 。把这样的细胞放入任溶液中，细胞都会失水，体积变小。

(3)若细胞的 $\psi_w = \psi_s$ 将其放入纯水中，则体积不变。

答：该论点不正确。因为当细胞的 $\psi_w = \psi_s$ 时，该细胞的 $\psi_p = 0$ ，而 ψ_s 为负值，即其 $\psi_w < 0$ ，把这样的细胞放入纯水中，细胞吸水，体积变大。

8.气孔开闭机理如何？植物气孔蒸腾是如何受光、温度、CO₂ 浓度调节的？

答：关于气孔开闭机理主要有两种学说：

(1)无机离子泵学说 又称 K⁺泵假说。光下 K⁺由表皮细胞和副卫细胞进入保卫细胞，保卫细胞中 K⁺浓度显著增加，溶质势降低，引起水分进入保卫细胞，气孔就张开；暗中，K⁺由保卫细胞进入副卫细胞和表皮细胞，使保卫细胞水势升高而失水，造成气孔关闭。这是因为保卫细胞质膜上存在着 H⁺-ATP 酶，它被光激活后，能水解保卫细胞中由氧化磷酸化或光合磷酸化生成的 ATP，产生的能量将 H⁺从保卫细胞分泌到周围细胞中，使得保卫细胞的 pH 值升高，质膜内侧的电势变低，周围细胞的 pH 值降低，质膜外侧电势升高，膜内外的质子动力势驱动 K⁺从周围细胞经过位于保卫细胞质膜上的内向 K⁺通道进入保卫细胞，引发开孔。

(2)苹果酸代谢学说 在光下，保卫细胞内的部分 CO₂ 被利用时，pH 值上升至 8.0~8.5，从而活化了 PEP 羧化酶，PEP 羧化酶可催化由淀粉降解产生的 PEP 与 HCO₃⁻结合形成草酰乙酸，并进一步被 NADPH 还原为苹果酸。苹果酸解离为 2H⁺和苹果酸根，在 H⁺ / K⁺泵的驱使下，H⁺与 K⁺交换，保卫细胞内 K⁺浓度增加，水势降低；苹果酸根进入液泡和 Cl⁻共同与 K⁺在电学上保持平衡。同时，苹果酸的存在还可降低水势，促使保卫细胞吸水，气孔张开。当叶片由光下转入暗处时，该过程逆转。

气孔蒸腾显著受光、温度和 CO₂ 等因素的调节。

(1)光 光是气孔运动的主要调节因素。光促进气孔开启的效应有两种，一种是通过光合作用发生的间接效应；另一种是通过光受体感受光信号而发生的直接效应。光对蒸腾作用的影响首先是引起气孔的开放，减少内部阻力，从而增强蒸腾作用。其次，光可以提高大气与叶子温度，增加叶内外蒸气压差，加快蒸腾速率。

(2)温度 气孔运动是与酶促反应有关的生理过程，因而温度对蒸腾速率影响很大。当大气温度升高时，叶温比气温高出 2~10℃，因而，气孔下腔蒸气压的增加大于空气

蒸气压的增加,这样叶内外蒸气压差加大,蒸腾加强。当气温过高时,叶片过度失水,气孔就会关闭,从而使蒸腾减弱。

(3)CO₂ CO₂ 对气孔运动影响很大,低浓度 CO₂ 促进气孔张开,高浓度 CO₂ 能使气孔迅速关闭(无论光下或暗中都是如此)。在高浓度 CO₂ 下,气孔关闭可能的原因是:①高浓度 CO₂ 会使质膜透性增加,导致 K⁺泄漏,消除质膜内外的溶质势梯度,②CO₂ 使细胞内酸化,影响跨膜质子浓度差的建立。因此 CO₂ 浓度高时,会抑制气孔蒸腾。

9.高大树木导管中的水柱为何可以连续不中断?假如某部分导管中水柱中断了,树木顶部叶片还能不能得到水分?为什么?

答:蒸腾作用产生的强大拉力把导管中的水往上拉,而导管中的水柱可以克服重力的影响而不中断,这通常可用蒸腾流—内聚力—张力学说,也称"内聚力学说"来解释,即水分子的内聚力大于张力,从而能保证水分在植物体内的向上运输。水分子的内聚力很大,可达几十 MPa。植物叶片蒸腾失水后,便向导管吸水,而水本身有重量,受到向下的重力影响,这样,一个上拉的力量和一个下拖的力量共同作用于导管水柱上就会产生张力,其张力可达-3.0MPa,但由于水分子内聚力远大于水柱张力,同时,水分子与导管或管胞壁的纤维素分子间还有附着力,因而维持了输导组织中水柱的连续性,使得水分不断上升。

导管水溶液中有溶解的气体,当水柱张力增大时,溶解的气体会从水中逸出形成气泡。在张力的作用下,气泡还会不断扩大,产生气穴现象。然而,植物可通过某些方式消除气穴造成的影响。例如气泡在某一些导管中形成后会被导管分子相连处的纹孔阻挡,而被局限在一条管道中。当水分移动遇到了气泡的阻隔时,可以横向进入相邻的导管分子而绕过气泡,形成一条旁路,从而保持水柱的连续性。另外,在导管内大水柱中断的情况下,水流仍可通过微孔以小水柱的形式上升。同时,水分上升也不需要全部木质部参与作用,只需部分木质部的输导组织畅通即可。

10.适当降低蒸腾的途径有哪些?

答:(1)减少蒸腾面积 如移栽植物时,可去掉一些枝叶,减少蒸腾失水。

(2)降低蒸腾速率 如在移栽植物时避开促进蒸腾的高温、强光、低湿、大风等外界条件,增加植株周围的湿度,或复盖塑料薄膜等都能降低蒸腾速率。

(3)使用抗蒸腾剂,降低蒸腾失水量。

辅导班课程 访问:www.kaoyancas.net

11.合理灌溉在节水农业中的意义如何?如何才能做到合理灌溉?

答:我国水资源总量并不算少,但人均水资源量仅是世界平均数的 26%,而灌溉用水量偏多又是存在多年的一个突出问题。节约用水,发展节水农业,是一个带有战略性的问题。合理灌溉是依据作物需水规律和水源情况进行灌溉,调节植物体内的水分状况,满足作物生长发育的需要,用适量的水取得最大的效果。因此合理灌溉在节水农业中具有重要的意义。

要做到合理灌溉,就需要掌握作物的需水规律。反映作物需水规律参数有需水量和水分临界期。作物需水量(蒸腾系数)和水分临界期又因作物种类、生长发育时期不同而有差异。合理灌溉则要以作物需水量和水分临界期为依据,参照生理和形态等指标制定灌溉方案,采用先进的灌溉方法及时地进行灌溉。

12.合理灌溉为何可以增产和改善农产品品质?

答:作物要获得高产优质,就必须生长发育良好,而合理灌溉能在水分供应上满足作物的生理需水和生态需水,促使植物生长发育良好,使光合面积增大,叶片寿命延长,光合效率提高,根系活力增强,促进肥料的吸收和运转,并能促进光合产物向经济器官运送与转化,使产量和品质都得以提高。

13.一个细胞的 ψ_w 为-0.8MPa,在初始质壁分离时的 ψ_s 为-1.6MPa,设该细胞在发生初始质壁分离时比原来体积缩小 4%,计算其原来的 ψ_π 和 ψ_P 各为多少 MPa?

答:根据溶液渗透压的稀释公式,溶质不变时,渗透压与溶液的体积成反比,有下列等式:

$$\pi_1 V_1 = \pi_2 V_2 \text{ 或 } \psi_\pi V_1 = \psi_\pi V_2$$

$$\psi_\pi \text{ 原来} \times 100\% = \psi_\pi \text{ 质壁分离} \times 96\%$$

$$\psi_\pi \text{ 原来} = (-1.65 \text{MPa} \times 96) / 100 = -1.536 \text{MPa}$$

$$\psi_P = \psi_w - \psi_\pi = -0.8 \text{MPa} - (-1.536 \text{MPa}) = 0.736 \text{MPa}$$

$$\text{原来的 } \psi_\pi \text{ 为 } -1.536 \text{MPa}, \psi_P \text{ 为 } 0.736 \text{MPa}.$$

14.将 ψ_m 为-100MPa 的干种子,放置在温度为 27℃、RH 为 60%的空气中,问干种子能否吸水?

答:气相的水势可按下式计算:

$$\psi_w = (RT/V_{w,m}) \cdot \ln RH$$

$$= [8.3 \text{cm}^3 \cdot \text{MPa} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (273+27) \text{K} / 18 \text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}] \cdot \ln 60\%$$

$$= 138.33 \text{MPa} \cdot (-0.5108) = -70.70 \text{MPa}$$

由于 RH 为 60%的气相水势大于-100MPa 干种子的水势,因此干种子能从 RH 为 60%空气中吸水。

15. 一组织细胞的水势 ψ_s 为 -0.8MPa , ψ_p 为 0.1MPa , 在 27°C 时, 将该组织放入 $0.3\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的蔗糖溶液中, 问该组织的重量或体积是增加还是减小?

答: 细胞的水势 $\psi_w = \psi_s + \psi_p = -0.8\text{MPa} + 0.1\text{MPa} = -0.7\text{MPa}$

蔗糖溶液的水势 ψ_w 溶液 $= -RTC = 0.0083\text{dm}^3\cdot\text{MPa}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{k}^{-1}\cdot(273+27)\text{K}\cdot 0.3\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1} = -0.747\text{MPa}$

由于细胞的水势 $>$ 蔗糖溶液的水势, 因此细胞放入溶液后会失水, 使组织的重量减少, 体积缩小。

第三章 植物的矿质与氮素营养复习思考题与答案

(一) 名词解释

矿质营养 (mineral nutrition) 植物对矿质的吸收、转运和同化以及矿质在生命活动中的作用。

灰分元素 (ash element) 干物质充分燃烧后, 剩余下一些不能挥发的灰白色残渣, 称为灰分。构成灰分的元素称为灰分元素。灰分元素直接或间接来自土壤矿质, 所以又称为矿质元素。

必需元素 (essential element) 植物生长发育中必不可少的元素。国际植物营养学会规定的植物必需元素的三条标准是: ①由于缺乏该元素, 植物生长发育受阻, 不能完成其生活史; ②除去该元素, 表现为专一的病症, 这种缺素病症可用加入该元素的方法预防或恢复正常; ③该元素在植物营养生理上表现直接的效果, 不是由于土壤的物理、化学、微生物条件的改善而产生的间接效果。

大量元素 (major element, macroelement) 植物生命活动必需的、且需要量较多的一些元素。它们约占植物体干重的 $0.01\% \sim 10\%$, 有 C、H、O、N、P、K、Ca、Mg、S 等。

微量元素 (minor element, microelement, trace element) 植物生命活动必需的、而需要量很少的一类元素。它们约占植物体干重的 $10^{-5}\% \sim 10^{-3}\%$, 有 Fe、B、Mn、Zn、Cu、Mo、Cl 等。

有益元素 (beneficial element) 并非植物生命活动必需, 但能促进某些植物的生长发育的元素。如 Na、Si、Co、Se、V 等。

水培法 (water culture method) 亦称溶液培养法或无土栽培法, 是在含有全部或部分营养元素的溶液中培养植物的方法。

砂培法 (sand culture method) 全称砂基培养法, 在洗净的石英砂或玻璃球等基质中, 加入营养液培养植物的方法。

气栽法 (aeroponic) 将植物根系置于营养液气雾中栽培

植物的方法。

离子的主动吸收 (ionic active absorption) 细胞利用呼吸释放的能量逆电化学势梯度吸收矿质的过程。

离子的被动吸收 (ionic passive absorption) 细胞不需要由代谢提供能量的顺电化学势梯度吸收矿质的过程。

初级共运转 (primary cotransport) 质膜 H^+ -ATPase 把细胞质的 H^+ 向膜外 "泵" 出的过程。又称为原初主动运转。原初主动运转在能量形式的转化上是把化学能转为渗透能。

次级共运转 (secondary cotransport) 以 $\Delta\mu_{\text{H}^+}$ 作为驱动力的离子运转称为次级共运转。离子的次级运转是使质膜两边的渗透能增减, 而这种渗透能是离子或中性分子跨膜运输的动力。

扩散作用 (diffusion) 分子或离子沿着化学势或电化学势梯度转移的现象。电化学势梯度包括化学势梯度和电势梯度两方面, 细胞内外的离子扩散决定于这两种梯度的大小; 而分子的扩散决定于化学势梯度或浓度梯度。

单盐毒害 (toxicity of single salt) 植物培养在单种盐溶液中所引起的毒害现象。单盐毒害无论是营养元素或非营养元素都可发生, 而且在溶液很稀时植物就会受害。

离子拮抗 (ion antagonism) 离子间相互消除毒害的现象, 也称离子对抗。

生理酸性盐 (physiologically acid salt) 植物根系从溶液中有选择地吸收离子后使溶液酸度增加的盐类。如供给 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 植物对其阳离子 (NH_4^+) 的吸收大于阴离子 (SO_4^{2-}), 根细胞释放的 H^+ 与 NH_4^+ 交换, 使介质 pH 值下降, 这种盐类被称为生理酸性盐, 如多种铵盐。

生理碱性盐 (physiologically alkaline salt) 植物根系从溶液中有选择地吸收离子后使溶液酸度降低的盐类。如供给 NaNO_3 , 植物对其阴离子 (NO_3^-) 的吸收大于阳离子 (Na^+), 根细胞释放 OH^- 或 HCO_3^- 与 NO_3^- 交换, 从而使介质 pH 值升高, 这种盐类被称为生理碱性盐, 如多种硝酸盐。

表观自由空间 (apparent free space, AFS) 根部的自由空间体积占根的总体积的百分数。豌豆、大豆、小麦等植物的 AFS 在 $8\% \sim 14\%$ 之间。

诱导酶 (induced enzyme) 指植物体内本来不含有, 但在特定外来物质的诱导下可以生成的酶。如硝酸还原酶。水稻幼苗若培养在含硝酸盐的溶液中就会诱导幼苗产生硝酸还原酶, 如用不含硝酸盐的溶液培养, 则无此酶出现。

重复利用 (repetitious use) 已参加到生命活动中去的矿质元素, 经过一个时期后再分解并调运到其它部位去重新利用的过程。

还原酶的相继作用下还原成氨(铵)的过程。

生物固氮(biological nitrogen fixation) 微生物自生或与植物(或动物)共生,通过体内固氮酶的作用,将大气中的游离氮固定转化为含氮化合物的过程。

(二) 写出下列符号的中文名称,并简述其主要功能或作用

PC 膜片钳技术(patch clamp),指使用微电极从一小片细胞膜上获取电子信息,测量通过膜的离子电流大小的技术。PC技术可用来分析膜上的离子通道,借此可用来研究细胞器间的离子运输、气孔运动、光受体、激素受体以及信号分子等的作用机理。

NR 硝酸还原酶(nitrate reductase),催化硝酸盐还原为亚硝酸盐的酶。它是一种可溶性的钼黄素蛋白,由黄素腺嘌呤二核苷酸,细胞色素 b557 和钼复合体组成。硝酸还原酶是一种诱导酶。

NiR 亚硝酸还原酶(nitrite reductase),催化亚硝酸盐还原为氨(铵)的酶。亚硝酸还原酶的分子量为 61 000~70 000,它由两个亚基组成,其辅基由西罗血红素和一个 4Fe-4S 簇组成。

GS 谷氨酰胺合成酶(glutamine synthetase),在植物的氨同化过程中,催化 L-谷氨酸和氨(NH₃)生成 L-谷氨酰胺。

GS 普遍存在于各种植物的组织中,对氨有很高的亲和力,因此能防止氨累积而造成的毒害。

GOGAT 谷氨酸合成酶(glutamate synthetase),在植物的氨同化中它催化 L-谷氨酰胺和 α-酮戊二酸生成 L-谷氨酸。

谷氨酸合成酶有两种形式,一是以 NAD(P)H 为电子供体的 NAD(P)H-GOGAT,另一是以还原态 Fd 为电子供体的 Fd-GOGAT。NAD(P)H-GOGAT 在微生物和植物中广泛存在;Fd-GOGAT 几乎存在于所有具有光合作用的生物体中。在被子植物的组织中都有较高的 GOGAT 活性。绿色组织中的 GOGAT 存在于叶绿体内。

GDH 谷氨酸脱氢酶(glutamate dehydrogenase),催化 α-酮戊二酸和氨生成谷氨酸,但在植物同化氨的过程中不太重要,因为 GDH 与 NH₃ 的亲和力很低,而该酶在谷氨酸的降解中起较大的作用,GDH 主要存在于根和叶内的线粒体,而叶绿体中的量很少。

NFT 营养膜技术(nutrient film technique),是一种营养液循环的液体栽培系统,该系统通过让流动的薄层营养液流经栽培槽中的植物根系来栽培植物。流动的薄层营养液除了可均衡供应植物所需的营养元素和水分外,还能充分供应根系呼吸所需的氧气。

1. 植物进行正常生命活动需要哪些矿质元素?用什么方法、根据什么标准来确定的?

答:植物进行正常生命活动需要的必需的矿质(含氮)元素有 13 种,它们是氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、铜、硼、锌、锰、钼、氯(也有文献将钠和镍归为必需元素)。根据国际植物营养学会的规定,植物必需元素有三条标准:第一,由于缺乏该元素,植物生长受阻,不能完成其生活史;第二,除去该元素,表现为专一的病症,这种缺乏素病症可用加入该元素的方法预防或恢复正常;第三,该元素在植物营养生理上能表现直接的效果,而不是由于土壤的物理、化学、微生物条件的改善而产生的间接效果。确定植物必需矿质元素的方法通常采用溶液培养法或砂基培养法,可在配制的营养液中除去或加入某一元素,观察该元素对植物的生长发育和生理生化的影响。如果在培养液中,除去某一元素,植物生长发育不良,并出现特有的病症,或当加入该元素后,病状又消失,则说明该元素为植物的必需元素。反之,若减去某一元素对植物生长发育无不良影响,即表示该元素为非植物必需元素。

2. 试述氮、磷、钾的生理功能及其缺乏病症。

答:(1) 氮

生理功能:①氮是蛋白质、核酸、磷脂的主要成分,而这三者又是原生质、细胞核和生物膜等细胞结构物质的重要组成部分。②氮是酶、ATP、多种辅酶和辅基(如 NAD⁺、NADP⁺、FAD 等)的成分,它们在物质和能量代谢中起重要作用。③氮还是某些植物激素如生长素和细胞分裂素、维生素如 B₁、B₂、B₆、PP 等的成分,它们对生命活动起调节作用。④氮是叶绿素的成分,与光合作用有密切关系。

缺氮病症:①植株瘦小。缺氮时,蛋白质、核酸、磷脂等物质的合成受阻,影响细胞的分裂与生长,植物生长矮小,分枝、分蘖很少,叶片小而薄,花果少且易脱落。②黄化失绿。缺氮时影响叶绿素的合成,使枝叶变黄,叶片早衰,甚至干枯,从而导致产量降低。③老叶先表现病症。因为植物体内氮的移动性大,老叶中的氮化物分解后可运到幼嫩的组织中去重复利用,所以缺氮时叶片发黄,并由下部叶片开始逐渐向上。

(2) 磷

生理功能:①磷是核酸、核蛋白和磷脂的主要成分,并与蛋白质合成、细胞分裂、细胞生长有密切关系。②磷是许多辅酶如 NAD⁺、NADP⁺等的成分,也是 ATP 和 ADP 的成分。③磷参与碳水化合物的代谢和运输,如在光合作用和呼吸作用过程中,糖的合成、转化、降解大多是在磷酸化后才起反应的。④磷对氮代谢有重要作用,如硝酸还

原有 NAD 和 FAD 的参与，而磷酸吡哆醛和磷酸吡哆胺则参与氨基酸的转化。⑤磷与脂肪转化有关，脂肪代谢需要 NADPH、ATP、CoA 和 NAD⁺的参与。

缺磷病症：①植株瘦小。缺磷影响细胞分裂，使分蘖分枝减少，幼芽、幼叶生长停滞，茎、根纤细，植株矮小，花果脱落，成熟延迟。②叶呈暗绿色或紫红色。缺磷时，蛋白质合成下降，糖的运输受阻，从而使营养器官中糖的含量相对提高，这有利于花青素的形成，故缺磷时叶子呈现不正常的暗绿色或紫红色。③老叶先表现病症。磷在体内易移动，能重复利用，缺磷时老叶中的磷能大部分转移到正在生长的幼嫩组织中去。因此，缺磷的症状首先在下部老叶出现，并逐渐向上发展。

(3)钾

生理功能：①酶的活化剂。钾在细胞内可作为 60 多种酶的活化剂，如丙酮酸激酶、果糖激酶、苹果酸脱氢酶、淀粉合成酶、琥珀酰 CoA 合成酶、谷胱甘肽合成酶等。因此钾在碳水化合物代谢、呼吸作用以及蛋白质代谢中起重要作用。②钾能促进蛋白质的合成，与糖的合成也有关，并能促进糖类向贮藏器官运输。③钾是构成细胞渗透势的重要成分，如对气孔的开放有着直接的作用。

缺钾病症：①抗性下降。缺钾时植株茎秆柔弱，易倒伏，抗旱、抗寒性降低。②叶色变黄叶缘焦枯。缺钾叶片失水，蛋白质、叶绿素被破坏，叶色变黄而逐渐坏死；缺钾有时也会出现叶缘焦枯，生长缓慢的现象，但由于叶中部生长仍较快，所以整个叶子会形成杯状弯曲，或发生皱缩。③老叶先表现病症。钾也是易移动而可被重复利用的元素，故缺素病症首先出现在下部老叶。

3.下列化合物中含有哪些必需的矿质元素(含氮素)。

叶绿素 碳酸酐酶 细胞色素 硝酸还原酶 多酚氧化酶
ATP 辅酶 A 蛋氨酸 NAD NADP

答：叶绿素中含 N、Mg；碳酸酐酶中含 N、Zn；细胞色素中含 N、Fe；硝酸还原酶中含 N、Mo；多酚氧化酶中含 N、Cu；ATP 中含 N、P；辅酶 A 中含 N、P、S；蛋氨酸中含 N、S；NAD 中含 N、P；NADP 中含 N、P。

4. 植物缺素病症有的出现在顶端幼嫩枝叶上，有的出现在下部老叶上，为什么？举例加以说明。

答：植物体内的矿质元素，根据它在植株内能否移动和再利用可分为二类。一类是非重复利用元素，如钙、硫、铁、铜等；一类是可重复利用的元素，如氮、磷、钾、镁等。在植株旺盛生长时，如果缺少非重复利用元素，缺素病症就首先出现在顶端幼嫩叶上，例如，大白菜缺钙时心叶呈褐色。如果缺少重复利用元素，缺素病症就会出现在下部老叶上，例如，缺氮时叶片由下而上褪绿发黄。

5. 植物根系吸收矿质有哪些特点？

答：(1) 根系吸收矿质与吸收水分是既相互关联又相互独立的两个过程 相互关联表现在：①盐分一定要溶于水，才能被根系吸收，并随水流进入根部的质外体，随水流分布到植株各部分；②矿质的吸收，降低了根系细胞的渗透势，促进了植物的吸水。相互独立表现在：①矿质的吸收不与水分的吸收成比例；②二者的吸收机理不同，水分吸收主要是以蒸腾作用引起的被动吸水为主，而矿质吸收则是以消耗代谢能的主动吸收为主；③二者的分配方向不同，水分主要分配到叶片用于蒸腾作用，而矿质主要分配到当时的生长中心。

(2) 根对离子吸收具有选择性 植物对同一溶液中不同离子或同一盐的阳离子和阴离子吸收的比例不同，从而引起外界溶液 pH 发生变化。

(3) 根系吸收单盐会受毒害 任何植物，假若培养在某一单盐溶液中，不久即呈现不正常状态，最后死亡。这种现象称为单盐毒害。单盐毒害无论是营养元素或非营养元素都可发生，而且在溶液很稀时植物就会受害。若在单盐溶液中加入少量其它盐类，这种毒害现象就会清除，这被称为离子间的颀颀作用。

6. 试述矿质元素如何从膜外转运到膜内的。

答：物质通过生物膜有三种方式，一是被动运转，是顺浓度梯度的运转，包括简单扩散与协助扩散；二是主动运转，是逆浓度梯度的运转；三是膜动运转，包括内吞和外排。

矿质元素从膜外转运到膜内主要通过前二种方式：被动吸收和主动吸收。前者不需要代谢提供能量，后者需要代谢提供能量。二者都可通过载体运转，由载体进行的转运若是顺电化学势梯度，则属于被动吸收过程，若是逆电化学势梯度，则属于主动吸收。

(1) 被动吸收 被动吸收有扩散作用和协助扩散两种方式。①扩散作用指分子或离子沿着化学势或电化学势梯度转移的现象。②协助扩散是小分子物质经膜转运蛋白顺浓度梯度或电化学势梯度的跨膜转运。膜转运蛋白有通道蛋白和载体蛋白两类，它们都是细胞膜中一类内在蛋白。通道蛋白构成了离子通道。载体蛋白通过构象变化转运物质。

(2) 主动吸收 矿质元素的主动吸收需要 ATP 提供能量，而 ATP 的能量释放依赖于 ATP 酶。ATP 酶是质膜上的插入蛋白，它既可以在水解 ATP 释放能量的同时直接转运离子，也可以水解 ATP 时释放 H⁺建立 $\Delta\mu\text{H}^+$ 后启动载体(传递体)转运离子。通常将质膜 ATP 酶把细胞质内的 H⁺向膜外泵出的过程称为原初主动运转。而把以 $\Delta\mu\text{H}^+$ 为驱动

力的离子运转称为次级共运转。进行次级共运转的传递体有共向传递体、反向传递体和单向传递体等，它们都是具有运转功能的蛋白质。矿质元素可在 $\Delta\mu\text{H}^+$ 的驱动下通过传递体以及离子通道从膜外转运到膜内。

7. 用实验证明植物根系吸收矿质元素存在着主动吸收和被动吸收。

答：将植物的根系放入含有矿质元素的溶液中，首先有一个矿质迅速进入根的阶段，称为第一阶段，然后矿质吸收速度变慢且较平稳，称为第二阶段。在第一阶段，矿质通过扩散作用进入质外体，而在第二阶段矿质又进入原生质和液泡。如果将植物根系从溶液中取出转入水中，进入组织的矿质会有很少一部分很快地泄漏出来，这就是原来进入质外体的部分。如果将植物的根系处于无 O_2 、低温中，或用抑制剂来抑制根系呼吸作用时，会发现：矿质进入质外体的第一阶段基本不受影响，而矿质进入原生质和液泡的第二阶段会被抑制。这一实验表明，矿质进入质外体与其跨膜进入细胞质和液泡的机制是不同的。前者是由于扩散作用而进行的吸收，这是不需要代谢来提供能量的顺电势梯度被动吸收矿质的过程；后者是利用呼吸释放的能量逆电势梯度主动吸收矿质的过程。

8. 白天和夜晚硝酸还原速度是否相同？为什么？

答：通常白天硝酸还原速度显著较夜间为快，这是因为：

(1) 光合作用可直接为硝酸、亚硝酸还原和氨的同化提供还原力 NAD(P)H 、Fdred 和 ATP 。

(2) 光合作用制造同化物，促进呼吸作用，间接为硝酸盐的还原提供能量，也为氮代谢提供碳骨架。

(3) 硝酸还原酶与亚硝酸还原酶是诱导酶，其活性不但被硝酸诱导，而且光能促进 NO_3^- 对 NR 、 NiR 活性的激活作用。

9. 试述硝态氮进入植物体被还原，以及合成氨基酸的过程。

答：硝酸还原以及合成氨基酸的过程大致可用下图示意：

硝酸盐被植物吸收后，可在根或叶中被还原。在绿叶中硝酸还原在细胞质中进行，细胞质中的硝酸还原酶利用 NADH 将 NO_3^- 还原成 NO_2^- ， NO_2^- 被运送到叶绿体，由亚硝酸还原酶利用光反应中生成的还原型Fd将 NO_2^- 还原成 NH_4^+ 。在根中硝酸还原也在细胞质中进行，但是 NADH 来自于糖酵解，形成的 NO_2^- 再在前质体中被亚硝酸还原酶还原成 NH_4^+ 。

由硝酸盐还原形成的 NH_4^+ 须立即被同化为氨基酸。氨(铵)的同化在根、根瘤和叶部进行，是通过谷氨酸合成酶循环进行的。此循环中GS和GOGAT参与催化作用。GS普

遍存在于各种植物的所有组织中。它对氨有很高的亲和力，能有效防止氨累积而造成的毒害。GOGAT有两种形式，一是以 NAD(P)H 为电子供体的 NAD(P)H-GOGAT ，另一是以还原态Fd为电子供体的Fd-GOGAT(图示中所列出的形式)。两种形式的GOGAT均可催化上述反应。此外，还有谷氨酸脱氢酶(GDH)也能参与氨的同化过程，但其在植物同化氨的过程中并不很重要，因为GDH与 NH_3 的亲和力很低。

10. 试述矿质元素在光合作用中的生理作用(可在学习第四章后思考)。

答：矿质营养在光合作用中的功能极为广泛，归纳起来有以下方面：

(1) 叶绿体结构的组成成分 如N、P、S、Mg是叶绿体结构中构成叶绿素、蛋白质以及片层膜不可缺少的元素。

(2) 电子传递体的重要成分 如PC中含Cu、Fe-S中心、Cytb、Cytf和Fd中都含有Fe，因而缺Fe会影响光合电子传递速率。

(3) 磷酸基团在光、暗反应中具有突出地位 如构成同化力的 ATP 和 NADPH ，光合碳还原循环中所有的中间产物，合成淀粉的前体ADPG，合成蔗糖的前体UDPG等，这些化合物中都含有磷酸基团。

(4) 光合作用所必需的辅酶或调节因子 如Rubisco，FBPase的活化需要 Mg^{2+} ；放氧复合体不可缺少 Mn^{2+} 和 Cl^- ；而 K^+ 和 Ca^{2+} 调节气孔开闭；另外， Fe^{3+} 影响叶绿素的合成； K^+ 促进光合产物的转化与运输等。

11. 试分析植物失绿的可能原因。

答：植物呈现绿色是因其细胞内含有叶绿体，而叶绿体中含有绿色的叶绿素的缘故。因而凡是影响叶绿素代谢的因素都会引起植物失绿。可能的原因有：

(1) 光 光是影响叶绿素形成的主要条件。从原叶绿素酯转变为叶绿素需要光，而光过强，叶绿素反而会受光氧化而破坏。

(2) 温度 叶绿素的生物合成是一系列酶促反应，受温度影响。叶绿素形成的最低温度约为 2°C ，最适温度约 30°C ，最高温度约 40°C 。高温和低温都会使叶片失绿。高温下叶绿素分解加速，褪色更快。

(3) 营养元素 氮和镁都是叶绿素的组成成分，铁、锰、铜、锌等则在叶绿素的生物合成过程中有催化功能或其它间接作用。因此，缺少这些元素时都会引起缺绿症，其中尤以氮的影响最大，因此叶色的深浅可作为衡量植株体内氮素水平高低的标志。

(4) 氧 缺氧能引起Mg-原卟啉IX或Mg-原卟啉甲酯的积累，影响叶绿素的合成。

(5) 水 缺水不但影响叶绿素的生物合成，而且还促使原有叶绿素加速分解。

此外，叶绿素的形成还受遗传因素控制，如水稻、玉米的白化苗以及花卉中的花叶不能合成叶绿素。有些病毒也能引起花叶病。

12. 为什么在叶菜类植物的栽培中常多施用氮肥，而栽培马铃薯和甘薯则较多地施用钾肥？

答：叶菜类植物的经济产量主要是叶片部分，受氮素的影响较大。氮不仅是蛋白质、核酸、磷脂的主要成分，而且是叶绿素的成分，与光合作用有密切关系。因此，氮的多寡会直接影响细胞的分裂和生长，影响叶面积的扩大和叶鲜重的增加。且氮素在土壤中易缺乏，因此在叶菜类植物的栽培中要多施氮肥。氮肥充足时，叶片肥大，产量高，汁多叶嫩，品质好。

钾与糖类的合成有关。钾肥充足时，蔗糖、淀粉、纤维素和木质素含量较高，葡萄糖积累则较少。钾也能促进糖类运输到贮藏器官中，所以在富含糖类的贮藏器官（马铃薯块茎和甘薯块根）中钾含量较多，种植时钾肥需要量也较多。

13. 为什么水稻秧苗在栽插后有一个叶色先落黄后返青的过程？

答：植物体内的叶绿素在代谢过程中一方面合成，一方面分解，在不断地更新。水稻秧苗根系在栽插过程中受伤，影响植株对构成叶绿素的重要矿质元素 N 和 Mg 的吸收，使叶绿素的更新受到影响，而分解过程仍然进行。另一方面，N 和 Mg 等矿质元素是可重复利用元素，根系受伤后，新叶生长所需的 N 和 Mg 等矿质元素依赖于老叶中叶绿素分解后的转运，即新叶向老叶争夺 N 和 Mg 等矿质元素，这就加速了老叶的落黄，因此水稻秧苗在栽插后有一个叶色落黄过程。当根系恢复生长后，新根能从土壤中吸收 N、Mg 等矿质元素，使叶绿素合成恢复正常。随着新叶的生长，植株的绿色部分增加，秧苗返青。

第四章 植物的光合作用复习思考题与答案

(一) 解释名词

光合作用(photosynthesis) 通常是指绿色植物吸收光能，把二氧化碳和水合成有机物，同时释放氧气的过程。从广义上讲，光合作用是光养生物利用光能把二氧化碳合成有机物的过程。

希尔反应(Hill reaction) 希尔(Robert.Hill)发现在分离的叶绿体(实际是被膜破裂的叶绿体)悬浮液中加入适当的电子受体(如草酸铁)，照光时可使水分解而释放氧气，这个反应称为希尔反应(Hill reaction)。其中的电子受体被称

光反应(light reaction) 光合作用中需要光的反应。为发生在类囊体上的光的吸收、传递与转换、电子传递和光合磷酸化等反应的总称。

暗反应(dark reaction) 光合作用中的酶促反应，即发生在叶绿体间质中的同化 CO₂ 反应。

同化力(assimilatory power) ATP 和 NADPH 是光合作用光反应中由光能转化来的活跃的的化学能，具有在黑暗中同化 CO₂ 为有机物的能力，所以被称为"同化力"。

量子效率 (quantum efficiency) 又称量子产额(quantum yield)，是指光合作用中吸收一个光量子所能引起的光合产物量的变化，如放出的氧分子数或固定的 CO₂ 的分子数。

量子需要量(quantum requirement) 量子效率的倒数，即释放 1 个 O₂ 和还原 1 个 CO₂ 所需吸收的光量子数。一般认为最低量子需要量为 8~10，这个数值相当于 0.12~0.08 的量子效率。

光合单位(photosynthetic unit) 最初是指释放 1 个 O₂ 分子所需要的叶绿素数目，测定值为 2500chl/O₂。若以吸收 1 个光量子计算，光合单位为 300 个叶绿素分子；若以传递 1 个电子计算，光合单位为 600 个叶绿素分子。而现在把存在于类囊体膜上能进行完整光反应的最小结构单位称为光合单位。它应是包括两个反应中心的约 600 个叶绿素分子(300×2)以及连结这两个反应中心的光合电子传递链。它能独立地捕集光能，导致氧的释放和 NADP 的还原。

光合膜(photosynthetic membrane) 即为类囊体膜，这是因为光合作用的光反应是在叶绿体中的类囊体膜上进行的。红降现象(red drop) 光合作用的量子产额在波长大于 680nm 时急剧下降的现象。

双光增益效应或爱默生增益效应(Emerson enhancement effect)-在用远红光照射时补加一点稍短波长的光(例如 650nm 的光)，则量子产额大增，比用这两种波长的光单独照射时的总和还要高。这种在长波红光之外再加上较短波长的光促进光合效率的现象被称为双光增益效应，因这一现象最初由爱默生(Emerson)发现的，故又叫爱默生增益效应。

原初反应(primary reaction) 指光合作用中最初的反应，从光合色素分子受光激发起到引起第一个光化学反应为止的过程，它包括光能的吸收、传递与光化学反应。原初反应的结果使反应中心发生电荷分离。

荧光(fluorescence)和磷光(phosphorescence) 激发态的叶绿素分子回到基态时，可以光子形式释放能量。处在第一

高参考价值的真题、答案、学长笔记、
单线态的叶绿素分子回至基态时所发出的光称为荧光，而处在三线态的叶绿素分子回至基态时所发出的光称为磷光。

激子传递(exciton transfer) 激子通常是指非金属晶体中由电子激发的量子，它能转移能量但不能转移电荷。在由相同分子组成的聚光色素系统中，其中一个色素分子受光激发后，高能电子在返回原来轨道时也会发出激子，此激子能使相邻色素分子激发，即把激发能传递给了相邻色素分子，激发的电子可以相同的方式再发出激子，并被另一色素分子吸收，这种在相同分子内依靠激子传递来转移能量的方式称为激子传递。

共振传递(resonance transfer) 在色素系统中，一个色素分子吸收光能被激发后，其中高能电子的振动会引起附近另一个分子中某个电子的振动(共振)，当第二个分子的电子振动被诱导起来，就发生了电子激发能的传递，第二个分子又能以同样的方式激发第三、第四个分子，这种依靠电子振动在分子内传递能量的方式称共振传递。

反应中心(reaction center) 发生原初反应的最小单位，它是由反应中心色素分子、原初电子受体、次级电子受体与次级电子供体等电子传递体，以及维持这些电子传递体的微环境所必需的蛋白质等组分组成的。

反应中心色素分子(reaction center pigment) 是处于反应中心中的一种特殊性质的叶绿素 a 分子，它不仅能捕获光能，还具有光化学活性，能将光能转换成电能。

聚(集)光色素(light harvesting pigment) 又称天线色素(antenna pigment)，指在光合作用中起吸收和传递光能作用的色素分子，它们本身没有光化学活性。

原初电子供体(primary electron donor) 反应中心色素分子是光化学反应中最先向原初电子受体供给电子的，因此反应中心色素分子又称原初电子供体。

原初电子受体(primary electron acceptor) 直接接收反应中心色素分子传来电子的电子传递体。PS I 的原初电子受体是叶绿素分子(A0)，PS II 的原初电子受体是去镁叶绿素分子(Pheo)。

光合链(photosynthetic chain) 定位在光合膜上的，由多个电子传递体组成的电子传递的总轨道。

"Z"方案("Z" scheme) 指光合电子传递途径由两个光系统串联起来的方案。由于此光合电子传递途径中的电子传递体按氧化还原电位高低排列时呈侧写的"Z"字形，故称此方案为"Z"方案。

非环式电子传递(noncyclic electron transport) 指水中的电子经 PS II 与 PS I 一直传到 NADP⁺ 的电子传递途径。

环式电子传递(cyclic electron transport) 一般指 PS I 中电

辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net
子由经 Fd、PQ、Cytb6/f 等电子递体返回到 PS I 的循环电子传递途径。

假环式电子传递(pseudocyclic electron transport) 指水中的电子经 PS II 与 PS I 传给 Fd 后再传给 O₂ 的电子传递途径。

光合磷酸化(photosynthetic phosphorylation, photophosphorylation) 光下在叶绿体(或载色体)中发生的由 ADP 与 Pi 合成 ATP 的反应。

非环式光合磷酸化(noncyclic photophosphorylation) 与非环式电子传递偶联产生的磷酸化反应。在反应中，体系除生成 ATP 外，同时还有 NADPH 的产生和氧的释放。

环式光合磷酸化(cyclic photophosphorylation) 与环式电子传递偶联产生 ATP 的反应。环式光合磷酸化是非光合放氧生物光能转换的唯一形式，主要在基质片层内进行。

假环式光合磷酸化(pseudocyclic photophosphorylation) 与假环式电子传递偶联产生 ATP 的反应。此种光合磷酸化既放氧又吸氧，还原的电子受体最后又被氧所氧化。

解偶联剂(uncoupler) 能消除类囊体膜或线粒体内膜内外质子梯度，解除磷酸化反应与电子传递之间偶联的试剂。
光能转化效率 光合产物中所贮存的化学能占光合作用所吸收的有效辐射能的百分率。

C3 途径(C3 pathway)和 C3 植物(C3 plant) C3 途径亦称卡尔文-本森(Calvin-Benson)循环。整个循环由 RuBP 开始至 RuBP 再生结束，共有 14 步反应，均在叶绿体的基质中进行。全过程分为羧化、还原、再生 3 个阶段。由于这条光合碳同化途径中 CO₂ 固定后形成的最初产物 3-磷酸甘油酸(PGA)为三碳化合物，所以称 C3 途径，也叫做 C3 光合碳还原循环(C3 photosynthetic carbon reduction cycle, C3-PCR 循环)，并把只具有 C3 途径的植物称为 C3 植物。C3 植物大多为温带和寒带植物。水稻、小麦、棉花、大豆、油菜等为 C3 植物。

C4 途径(C4 pathway) 和 C4 植物(C4 plant) C4 途径亦称哈奇-斯莱克(Hatch-Slack)途径，整个循环由 PEP 开始至 PEP 再生结束，要经叶肉细胞和维管束鞘细胞两种细胞，循环反应虽因植物种类不同而有差异，但基本上可分为羧化、还原或转氨、脱羧和底物再生四个阶段。由于这条光合碳同化途径中 CO₂ 固定后形成的最初产物草酰乙酸(OAA)为 C4-二羧酸化合物，所以叫做 C4 双羧酸途径(C4 dicarboxylic acid pathway)，简称 C4 途径，并把具有 C4 途径的植物称为 C4 植物。C4 植物大多为热带和亚热带植物，如玉米、高粱、甘蔗、稗草、苋菜等。

景天科酸代谢途径 (Crassulacean acid metabolism pathway, CAM 途径)和 CAM 植物(CAM plant) 景天科、

仙人掌科等科中的植物，夜间固定 CO₂ 产生有机酸，白天有机酸脱羧释放 CO₂，进行 CO₂ 固定，这种与有机酸合成日变化有关的光合碳代谢途径称为景天科酸代谢途径。把具有 CAM 途径的植物称为 CAM 植物。常见的 CAM 植物有菠萝、剑麻、兰花、百合、仙人掌、芦荟等。

C3 - C4 中间植物 指形态解剖结构和生理生化特性介于 C3 植物和 C4 植物之间的植物。C3-C4 中间型可能是由 C3 植物演化到 C4 植物的过渡类型。C3-C4 中间植物都有一个含叶绿体的维管束鞘细胞层，PEPC 和 Rubisco 两类羧化酶在叶肉细胞和维管束鞘细胞中均有分布，主要途径仍是 C3 途径，但具有一个"有限的 C4 循环"(limited C4 cycle)起着 CO₂ 浓缩作用。C3-C4 中间植物 CO₂ 补偿点显著地高于 C4 植物，而低于 C3 植物，约在 5~40μl·L⁻¹ 之间。C3-C4 中间植物光呼吸速率和光合速率被 21% 氧的抑制率也介于 C3 植物与 C4 植物之间。

光呼吸(photorespiration) 植物的绿色细胞在光照下吸收氧气释放 CO₂ 的过程，由于这种反应仅在光下发生，需叶绿体参与，并与光合作用同时发生，故称作为光呼吸。因为光呼吸的底物乙醇酸和其氧化产物乙醛酸，以及后者经转氨作用形成的甘氨酸皆为 C2 化合物，因此光呼吸途径又称为 C2 光呼吸碳氧循环(C2 photorespiration carbon oxidation cycle, PCO 循环)，简称 C2 循环。

光合速率(photosynthetic rate) 亦称光合强度。通常是指单位时间、单位叶面积的 CO₂ 吸收量或 O₂ 的释放量，也可用单位时间、单位叶面积上的干物质积累量来表示。实际所测到的光合速率称表观光合速率(apparent photosynthetic rate)或净光合速率(net photosynthetic rate)。如把表观光合速率加上光、暗呼吸速率，便得到总光合速率(gross photosynthetic rate)或真光合速率(true photosynthetic rate)。

光补偿点(light compensation point) 随着光强的增高，光合速率相应提高，当到达某一光强时，叶片的光合速率等于呼吸速率，即 CO₂ 吸收量等于 O₂ 释放量，表观光合速率为零，这时的光强称为光补偿点。

光饱和点(light saturation point) 当达到某一光强时，光合速率就不再随光强的增高而增加，这种现象称为光饱和现象。开始达到光合速率最大值时的光强称为光饱和点。

光抑制(photoinhibition) 当光合机构接受的光能超过它所能利用的量时，光会引起光合效率的降低，这个现象就叫光合作用的光抑制。

光合滞后期(lag phase of photosynthesis) 置于暗中的植物材料(叶片或细胞)照光，起初光合速率很低或为负值，要光照一段时间后，光合速率才逐渐上升，并趋于稳态。从

照光开始至光合速率达到稳态值这段时间，称为光合滞后期，又称光合诱导期。

CO₂ 补偿点(CO₂ compensation point) 指光合速率与呼吸速率相等时，也就是净光合速率为零时环境中的 CO₂ 浓度。

CO₂ 饱和点(CO₂ saturation point) 当 CO₂ 达到某一浓度时，光合速率达到最大值，开始达到光合最大速率时的 CO₂ 浓度称为 CO₂ 饱和点。

"午睡现象"(midday depression) 指植物的光合速率在中午前后下降的现象。引起光合"午睡"的主要因素是大气干旱和土壤干旱。另外，中午及午后的强光、高温、低 CO₂ 浓度等条件也会使光合速率在中午或午后降低。

光能利用率(efficiency for solar energy utilization) 植物光合作用积累的有机物中所含的化学能占光能投入量的百分比。

(二) 写出下列符号的中文名称，并简述其主要功能或作用

ATPase ATP 酶(腺苷三磷酸酶 adenosine triphosphatase)，又叫 ATP 合成酶(ATP synthase)，ATPase 的功能是催化 ADP 和 Pi 合成 ATP，另外 ATP 酶还可水解 ATP，释放能量。

BSC 维管束鞘细胞(bundle sheath cell) C4 植物的 BSC 中含有大而多的叶绿体，还含有 Rubisco 等参与 C3 途径的酶，BSC 与相邻叶肉细胞间的胞间连丝丰富。这些结构特点有利于 C4 植物的叶肉细胞与 BSC 间的物质交换，以及光合产物向维管束的就近转运。

CAM 景天科酸代谢(Crassulacean acid metabolism)，是景天科等植物的特殊的 CO₂ 同化方式：夜间固定 CO₂ 产生有机酸，白天有机酸脱羧释放 CO₂，用于光合作用，这样的光合碳代谢途径使 CAM 植物能适应高温、干旱的环境。

Chl 叶绿素(chlorophyll)是使植物呈现绿色的色素，也是最主要的光合色素，在光能吸收、传递和转化方面起重要作用。

CF₁-CF_o 偶联因子(coupling factor)也称 CF₁-CF_o 复合体，即 ATP 酶，由两个蛋白复合体组成：一个是突出于膜表面的亲水性的 CF₁，是合成或水解 ATP 的部位；另一个是埋置于膜中的疏水性的 CF_o，为质子转移的通道。

Cyt b₆/f Cyt b₆/f 复合体(cytochrome b₆/f complex)，它作为连接 PS I 与 PS II 两个光系统的中间电子载体系统，含有 Cyt f、Cyt b₆ (2 个，为电子传递循环剂)和 (Fe-S) R，主要催化 PQH₂ 的氧化和 PC 的还原，并把质子从类囊体膜外间质中跨膜转移到膜内腔中。因此 Cyt b₆/f 复

合体又称 PQH₂·PC 氧还酶。

DCMU 二氯苯基二甲基脲(dichlorophenyl

dimethylures)，电子传递抑制剂，一种除草剂，商品名为敌草隆(diuron)，它能抑制 PS II 的 QB 到 PQ 的电子传递，因而也是非环式光合磷酸化与假环式光合磷酸化的抑制剂。

F6P 果糖-6-磷酸(fructose-6-phosphate)，光合碳代谢和呼吸代谢中的重要中间产物，在叶绿体中是淀粉合成的起始物，在细胞质中 F6P 是蔗糖合成的前体。

FBP 果糖-1, 6-二磷酸(fructose-1, 6-bisphosphate)，光合碳代谢和呼吸的重要中间产物，参与淀粉和蔗糖的合成。

Fd 铁氧还蛋白(ferrdoxin)，是存在类囊体膜表面的蛋白质。通过它的 2 铁-2 硫活性中心中的铁离子的氧化还原传递电子，是电子传递的分岔点。

(Fe-S)_R Rieske 铁硫蛋白，是由 Rieske 发现的非血红素的 Fe 蛋白质，它是 Cyt b₆/f 复合体中的电子传递体。

FNR 铁氧还蛋白-NADP⁺还原酶(ferrdoxin-NADP⁺ reductase)是存在类囊体膜表面的蛋白质，也是光合电子传递链的末端氧化酶，接收 Fd 传来的电子和基质中的 H⁺，还原 NADP⁺为 NADPH。

LHC 聚光色素复合体(light harvesting pigment complex)，为色素与蛋白质结合的复合体，它接受光能，并把光能传给反应中心。

Mal 苹果酸(malate)，在 C₄ 途径中由 OAA 还原而成，是重要的中间产物。

OAA 草酰乙酸(oxaloacetic acid)，C₄ 途径中光合碳同化形成的最初产物。

P700、P680 PS I 和 PS II 反应中心色素，即原初电子供体，分别用 P700、P680 来表示，都是由两个叶绿素 a 分子组成的二聚体。这里 P 代表色素(pigment)，700、680 则代表 P 氧化时其吸收光谱中变化最大的波长位置是近 700nm 或 680nm 处，也即用氧化态吸收光谱与还原态吸收光谱间的差值最大处的波长来作为反应中心色素的标志。

PC 质蓝素(plastocyanin)，是位于类囊体膜内侧表面的含铜的蛋白质，氧化时呈蓝色。它是介于 Cyt b₆/f 复合体与 PS I 之间的电子传递成员。通过蛋白质中铜离子的氧化还原变化来传递电子。

PEP 磷酸烯醇式丙酮酸(phosphoenolpruvate)，C₄ 途径中 CO₂ 的受体。

PEPC 磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶(phosphoenolpyruvate carboxylase)，主要存在 C₄ 植物叶肉细胞的细胞质中，催化 PEP 与 HCO₃⁻ 形成草酰乙酸的反应。

PGA 3-磷酸甘油酸(3-phosphoglycerate)，C₃ 途径中光合碳同化形成的最初产物。

Pheo 去镁叶绿素(pheophytin)，叶绿素的卟啉环中的镁可被 H⁺、Cu²⁺、Zn²⁺ 等所置换。当为 H⁺ 所置换后，即形成褐色的去镁叶绿素，它也是 PS II 的原初电子受体。

Pmf 质子动力(proton motive force)，它是电化学势差与法拉第常数的比值($pmf = \Delta\mu H / F = 0.0238RT \Delta pH + \Delta E$)，其单位为电势(V)。质子动力是磷酸化反应、以及其它离子、分子跨膜转移的推动力。

Pn 净光合速率(net photosynthetic rate) 或称表观光合速率(apparent photosynthetic rate)，指实际所测到的光合速率，它等于总光合速率(gross photosynthetic rate)或真光合速率(true photosynthetic rate)减去光、暗呼吸速率。

PQ 质醌(plastoquinon)也叫质体醌，是 PS II 反应中心的末端电子受体，也是介于 PS II 复合体与 Cyt b₆/f 复合体间的电子传递体。质体醌为脂溶性分子，在膜中含量很高，能在类囊体膜中自由移动，它是双 e⁻ 和双 H⁺ 传递体，在光合膜上转运电子与质子，对类囊体膜内外建立质子梯度起着重要的作用。另外，PQ 库作为电子、质子的缓冲库，能均衡两个光系统间的电子传递，可使多个 PS II 复合体与多个 Cyt b₆/f 复合体发生联系，使得类囊体膜上的电子传递成网络式地进行。

PS I 光系统 I (photosystem I)，高等植物的 PS I 由反应中心、LHC I、铁硫蛋白、Fd、FNR 等组成。PS I 的生理功能是吸收光能，进行光化学反应，产生强的还原剂，用于还原 NADP⁺，实现 PC 到 NADP⁺ 的电子传递。

PS II 光系统 II (photosystem II)，是含有多亚基的蛋白复合体，它由聚光色素复合体 II、中心天线、反应中心、放氧复合体、细胞色素和多种辅助因子组成。PS II 的生理功能是吸收光能，进行光化学反应，产生强的氧化剂，使水裂解释放氧气，并把水中的电子传至质体醌。

RuBP 核酮糖-1, 5-二磷酸(ribulose-1, 5-bisphosphate)，C₃ 途径中 CO₂ 的受体。

Rubisco 1, 5-二磷酸核酮糖羧化酶/加氧酶(ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase)，该酶具有双重功能，既能使 RuBP 与 CO₂ 起羧化反应，推动 C₃ 碳循环，又能使 RuBP 与 O₂ 起加氧反应，而引起 C₂ 氧化循环即光呼吸的进行。

TP 磷酸丙糖(triose phosphate)，光合作用初产物，包括甘油醛-3-磷酸和二羟丙酮磷酸，它们是光合产物输出叶绿体的形式。

LAI 叶面积系数(leaf area index)，指作物的总叶面积和土地面积的比值，是衡量作物群体大小的指标。

(三) 问答题

1.根据光合作用的总反应式(式 4-2)，试述光合作用的重要意义。

答：光合作用的总反应式： $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{光}} \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2$ ($\Delta G 0' = 4.8 \times 10^5 \text{J}$)

此反应式指出，植物光合作用是利用光能同化 CO_2 和释放 O_2 的过程，每固定 1molCO_2 (12 克碳) 就转化与贮存了约 480kJ 的能量，并指出光合作用进行的场所是叶绿体。

由于食物、能量和氧气是人类生活的三大要素，它们都与光合作用密切有关，所以光合作用对人类的生存和发展具有重要的意义，主要表现在三方面：

- (1) 光合作用把 CO_2 转化为碳水化合物。
- (2) 光合作用将太阳能转变为可贮存的化学能。
- (3) 光合作用中释放氧气，维持了大气中 CO_2 和氧气的平衡。

2.如何证实光合作用中释放的 O_2 来自水?

答：以下三方面的研究可证实光合作用中释放的 O_2 来自水。

(1) 尼尔(C.B.Van Niel)假说 尼尔将细菌光合作用与绿色植物的光合作用加以比较，提出了以下光合作用的通式： $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{A} \xrightarrow{\text{光}} \text{CH}_2\text{O} + 2\text{A} + \text{H}_2\text{O}$

这里的 H_2A 代表一种还原剂，可以是 H_2S 、有机酸等，对绿色植物而言， H_2A 就是 H_2O ， 2A 就是 O_2 。

(2) 希尔反应 希尔(Robert.Hill)发现在叶绿体悬浮液中加入适当的电子受体(如草酸铁)，照光时可使水分解而释放氧气：

$4\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{光}} 4\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}^+ + \text{O}_2$

这个反应称为希尔反应。此反应证明了氧的释放与 CO_2 还原是两个不同的过程， O_2 的释放来自于水。

(3) ^{18}O 的标记研究 用氧的稳定同位素 ^{18}O 标记 H_2O 或 CO_2 进行光合作用的实验，发现当标记物为 H_2^{18}O 时，释放的是 $^{18}\text{O}_2$ ，而标记物为 C^{18}O_2 时，在短期内释放的则是 O_2 。这清楚地指出光合作用中释放的 O_2 来自于 H_2O 。

$\text{CO}_2 + 2\text{H}_2^{18}\text{O} \xrightarrow{\text{光}} \text{CH}_2\text{O} + ^{18}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$

3.如何证明叶绿体是光合作用的细胞器?

答：从叶片中提取出完整的叶绿体，在叶绿体的悬浮液中加入 CO_2 底物，给予照光，若有氧气的释放，并且光合放氧速率接近于活体光合速率的水平，这就证明叶绿体是进行光合作用的细胞器。

4.如何证明光合电子传递由两个光系统参与?

答：以下几方面的事例可证明光合电子传递由两个光系统参与。

(1) 红降现象和双光增益效应 红降现象是指用大于 680nm 的远红光照射时，光合作用量子效率急剧下降的现象；而双光效应是指在用远红光照射时补加一点稍短波长的光(例如 650nm 的光)，量子效率大增的现象，这两种现象暗示着光合机构中存在着两个光系统，一个能吸收长波长的远红光，而另一个只能吸收稍短波长的光。

(2) 光合放氧的量子需要量大于 8 从理论上讲一个量子引起一个分子激发，放出一个电子，那么释放一个 O_2 ，传递 4 个电子只需吸收 4 个量子($2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2 \uparrow$) 而实际测得光合放氧的最低量子需要量为 8~12。这也证实了光合作用中电子传递要经过两个光系统，有两次光化学反应。

(3) 类囊体膜上存在 PS I 和 PS II 色素蛋白复合体 现在已经用电镜观察到类囊体膜上存在 PS I 和 PS II 颗粒，能从叶绿体中分离出 PS I 和 PS II 色素蛋白复合体，在体外进行光化学反应与电子传递，并证实 PS I 与 NADP^+ 的还原有关，而 PS II 与水的光解放氧有关。

5.根据图 4-37 所示，简述光合作用过程以及光反应与暗反应的关系?

答：根据对光的需要情况，把光合作用可以分为需光的光反应和不需光的暗反应两个阶段。光反应是在叶绿体的类囊体膜上进行的，而暗反应是在叶绿体的基质中进行的。位于叶绿体的类囊体膜上的光系统受光激发，引起电子传递。电子传递的结果，是引起水的裂解放氧，并产生类囊体膜内外的 H^+ 电化学势差。依 H^+ 电化学势差， H^+ 从 ATP 酶流出类囊体时，发生磷酸化作用。光反应的结果产生了 ATP 和 NADPH，这两者被称为同化力。依靠这种同化力，在叶绿体基质中发生 CO_2 的固定，暗反应的初产物是磷酸丙糖(TP)，TP 是光合产物运出叶绿体的形式。

可见，光反应的实质在于产生同化力去推动暗反应的进行，而暗反应的实质在于利用同化力将无机碳(CO_2)转化为有机碳(CH_2O)。当然，光暗反应对光的需求不是绝对的，在光反应中有不需光的过程(如电子传递与光合磷酸化)，在暗反应中也有需要光调节的酶促反应。现在认为，光反应不仅产生同化力，而且产生调节暗反应中酶活性的调节剂，如还原性的铁氧还蛋白。

6.电子传递为何能与光合磷酸化偶联?

答：根据化学渗透学说，ATP 的合成是由质子动力(或质子电化学势差)推动形成的，而质子动力的形成是 H^+ 跨膜转移的结果。在光合作用过程中随着类囊体膜上的电子传递会伴随 H^+ 从基质向类囊体膜腔内转移，形成质子动

力，由质子动力推动光合磷酸化的进行。

用以下实验也可证实电子传递是与光合磷酸化偶联的：在叶绿体体系中加入电子传递抑制剂如DCMU，光合磷酸化就会停止；如果在体系中加入ADP与Pi磷酸化底物则会促进电子传递。

7.为什么说光呼吸与光合作用是伴随发生的？光呼吸有何生理意义？

答：光呼吸是植物的绿色细胞在光照下吸收氧气释放CO₂的反应，这种反应需叶绿体参与，仅在光下与光合作用同时发生，光呼吸底物乙醇酸主要由光合作用的碳代谢提供。

光呼吸与光合作用伴随发生的根本原因主要是由Rubisco的性质决定的，Rubisco是双功能酶，它既可催化羧化反应，又可以催化加氧反应，即CO₂和O₂竞争Rubisco同一个活性部位，并互为加氧与羧化反应的抑制剂。因此在O₂和CO₂共存的大气中，光呼吸与光合作用同时进行，伴随发生，既相互抑制又相互促进，如光合放氧可促进加氧反应，而光呼吸释放的CO₂又可作为光合作用的底物。光呼吸在生理上的意义推测如下：

(1)回收碳素 通过C₂碳氧化环可回收乙醇酸中3/4的碳(2个乙醇酸转化1个PGA，释放1个CO₂)。

(2)维持C₃光合碳还原循环的运转 在叶片气孔关闭或外界CO₂浓度低时，光呼吸释放的CO₂能被C₃途径再利用，以维持光合碳还原环的运转。

(3)防止强光对光合机构的破坏作用 在强光下，光反应中形成的同化力会超过CO₂同化的需要，从而使叶绿体中NADPH/NADP、ATP/ADP的比值增高。同时由光激发的高能电子会传递给O₂，形成的超氧阴离子自由基会对光合膜、光合器有伤害作用，而光呼吸却可消耗同化力与高能电子，降低超氧阴离子自由基的形成，从而保护叶绿体，免除或减少强光对光合机构的破坏。

8.C₃途径可分为哪三个阶段？各阶段的作用是什么？C₄植物与CAM植物在碳代谢途径上有何异同点？

答：C₃途径可分为羧化、还原、再生3个阶段。

(1)羧化阶段 指进入叶绿体的CO₂与受体RuBP结合，生成PGA的过程。

(2)还原阶段 指利用同化力将3-磷酸甘油酸还原为甘油醛-3-磷酸的反应过程。

(3)再生阶段 甘油醛-3-磷酸重新形成核酮糖-1,5-二磷酸的过程。

CAM植物与C₄植物固定与还原CO₂的途径基本相同，二者都是由C₄途径固定CO₂，C₃途径还原CO₂，都由PEP羧化酶固定空气中的CO₂，由Rubisco羧化C₄二羧酸脱

羧释放的CO₂，二者的差别在于：C₄植物是在同一时间

(白天)和不同的空间(叶肉细胞和维管束鞘细胞)完成CO₂固定(C₄途径)和还原(C₃途径)两个过程；而CAM植物则是在不同时间(黑夜和白天)和同一空间(叶肉细胞)完成上述两个过程的。

9.C₄植物叶片在结构上有哪些特点？采集一植物样本后，可采用什么方法来鉴别它属哪类植物？

答：C₄植物的光合细胞有两类：叶肉细胞和维管束鞘细胞(BSC)。C₄植物维管束分布密集，间距小(每个叶肉细胞与BSC邻接或仅间隔1个细胞)，每条维管束都被发育良好的大型BSC包围，外面又为一至数层叶肉细胞所包围，这种呈同心圆排列的BSC与周围的叶肉细胞层被称为克兰兹(Kranz)解剖结构，又称花环结构。C₄植物的BSC中含有大而多的叶绿体，线粒体和其它细胞器也较丰富。BSC与相邻叶肉细胞间的壁较厚，壁中纹孔多，胞间连丝丰富。这些结构特点有利于叶肉细胞与BSC间的物质交换，以及光合产物向维管束的就近转运。此外，C₄植物的两类光合细胞中含有不同的酶类，叶肉细胞中含有磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶以及与C₄二羧酸生成有关的酶；而BSC中含有Rubisco等参与C₃途径的酶、乙醇酸氧化酶以及脱羧酶。在这两类细胞中进行不同的生化反应。

采集一植物样本后，可根据C₃、C₄和CAM植物的主要特征来鉴别它是属于哪类植物。如可根据植物的地理分布、分类学上的区别、叶片的形态结构、背腹两面颜色、光合速率和光呼吸的大小以及两者的比值、CO₂补偿点、叶绿素a/b比、羧化酶的活性以及碳同位素比等来区分(参见教材表4-4)。

10.试述光、温、水、气与氮素对光合作用的影响。

答：(1)光 光是光合作用的动力，也是形成叶绿素、叶绿体以及正常叶片的必要条件，光还显著地调节光合酶的活性与气孔的开度，因此光直接制约着光合速率的高低。光能不足可成为光合作用的限制因素，光能过剩会引起光抑制使光合活性降低。光合作用还被光照诱导，即光合器官要经照光一段时间后，光合速率才能达正常范围。

(2)温度 光合过程中的暗反应是由酶所催化的化学反应，因而受温度影响。光合作用有一定的温度范围和三基点，即最低、最高和最适温度。光合作用只能在最低温度和最高温度之间进行。

(3)水分 ①直接影响：水为光合作用的原料，没有水不能进行光合作用。②间接影响：水分亏缺会使光合速率下降。因为缺水会引起气孔导度下降，从而使进入叶片的CO₂减少；光合产物输出变慢；光合机构受损，光合面积扩展受抑等。水分过多会使叶肉细胞处于低渗状态，

另外土壤水分太多，会导致通气不良而妨碍根系活动等，这些也都会影响光合作用的正常进行。

(4)气体 CO₂ 是光合作用的原料，CO₂ 不足往往是光合作用的限制因子，对C₃ 植物光合作用的影响尤为显著。O₂ 对光合作用有抑制作用，一方面O₂ 促进光呼吸的进行，另一方面高氧下形成超氧阴离子自由基，对光合膜、光合器有伤害作用。

(5)氮素 氮素是叶绿体叶绿素的组成成分，也是Rubisco等光合酶以及构成同化力的ATP和NADPH等物质的组成成分。在一定范围内，叶的含N量、叶绿素含量、Rubisco含量分别与光合速率呈正相关。

11.产生光合作用"午睡"现象的可能原因有哪些?如何缓和"午睡"程度?

答：引起光合"午睡"的主要因素是大气干旱和土壤干旱。在干热的中午，叶片蒸腾失水加剧，如此时土壤水分也亏缺，使植株的失水大于吸水，就会引起萎蔫与气孔导性降低，进而使CO₂ 吸收减少。另外，中午及午后的强光、高温、低CO₂ 浓度等条件都会使光呼吸激增，光抑制产生，这些也都会使光合速率在中午或午后降低。

光合"午睡"是植物中的普遍现象，也是植物对环境缺水的一种适应方式。但是"午睡"造成的损失可达光合生产30%，甚至更多，在生产上可采用适时灌溉、选用抗旱品种、增强光合能力、遮光等措施以缓和"午睡"程度。

12.光对CO₂ 同化有哪些调节作用?

答：(1)光通过光反应对CO₂ 同化提供同化力。

(2)调节着光合酶的活性 C₃ 循环中的Rubisco、PGAK、GAPDH、FBPase, SBPase, Ru5PK都是光调节酶。光下这些酶活性提高，暗中活性降低或丧失。光对酶活性的调节大体可分为两种情况，一种是通过改变微环境调节，即光驱动的电子传递使H⁺向类囊体腔转移，Mg²⁺则从类囊体腔转移至基质，引起叶绿体基质的pH从7上升到8，Mg²⁺浓度增加。较高的pH与Mg²⁺浓度使Rubisco等光合酶活化。另一种是通过产生效应物调节，即通过Fd-Td(铁氧还蛋白-硫氧还蛋白)系统调节。FBPase、GAPDH、Ru5PK等酶中含有二硫键(-S-S-)，当被还原为2个巯基(-SH)时表现活性。光驱动的电子传递能使基质中Fd还原，进而使Td还原，被还原的Td又使FBPase和Ru5PK等酶的相邻半胱氨酸上的二硫键打开变成2个巯基，酶被活化。在暗中则相反，巯基氧化形成二硫键，酶失活。

13.在缺乏CO₂ 的情况下，对绿色叶片照光能观察到荧光，然后在供给CO₂ 的情况下，荧光立即被猝灭，试解释其原因。

答：激发态的叶绿素分子处于能量不稳定的状态，会发生

能量的转变，或用于光合作用，或用于发热、发射荧光与磷光。荧光即是激发态的叶绿素分子以光子的形式释放能量的过程。在缺乏CO₂ 的情况下，光反应形成的同化力不能用于光合碳同化，故光合作用被抑制，叶片中被光激发的叶绿素分子较多式以光的方式退激。故在缺乏CO₂ 的情况下，给绿色叶片照光能观察到荧光，而当供给CO₂ 时，被叶吸收的光能用于光合作用,故使荧光猝灭。

14.为什么C₄ 植物的光呼吸速率低?

答：(1)维管束鞘细胞中有高的CO₂ 浓度 C₄ 植物的光呼吸代谢是发生在BSC中,由于C₄ 途径的脱羧使BSC中CO₂ 浓度提高，这就促进了Rubisco 的羧化反应，抑制了Rubisco 的加氧反应。

(2)PEPC对CO₂ 的亲合力高 由于C₄ 植物叶肉细胞中的PEPC对CO₂ 的亲合力高，即使BSC中有光呼吸的CO₂ 释放，CO₂ 在未跑出叶片前也会被叶肉细胞中的PEPC再固定。

15.影响光能利用率的因素有哪些?如何提高光能利用率?

答：影响光能利用率的因素大体有以下几方面：

(1)光合器官捕获光能的面积占土地面积的比例，作物生长初期植株小，叶面积不足，日光的大部分直射于地面而损失。

(2)光合有效幅射照射能占整个辐射能的比例只有 53% 其余的 47%不能用于光合作用。

(3)照射到光合器官上的光不能被光合器官全部吸收，要扣除反射、透射及非叶绿体组织吸收的部分。

(4)吸收的光能在传递到光合反应中心色素过程中会损失，如发热、发光的损耗。

(5)光合器将光能转化为同化力，进而转化为稳定化学能过程中的损耗。

(6)光、暗呼吸消耗以及在物质代谢和生长发育中的消耗。

(7)内外因素对光合作用的影响，如作物在生长期，经常会遇到不适于作物生长与进行光合的逆境，如干旱、水涝、低温、高温、阴雨、缺CO₂、缺肥、盐渍、病虫草害等。在逆境条件下，作物的光合生产率要比顺境下低得多，这些也会使光能利用率大为降低。

提高作物光能利用率的主要途径为：

(1)提高净同化率 如选择高光效的品种、增施CO₂、控制温湿度、合理施肥等。

(2)增加光合面积 通过合理密植或改变株型等措施，可增大光合面积。

(3)延长光合时间 如提高复种指数、适当延长生育期，补充人工光源等。

16.假定中国长江流域年总辐射量为 5.0×10⁶kJ·m⁻²，一年

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net
二熟，水稻产量每 100m² 为 75kg，小麦产量每 100m² 为 60kg。经济系数水稻为 0.5，小麦为 0.4，含水量稻谷 13%，小麦籽粒为 12%，干物量含能均按 1.7×10⁴ kJ·kg⁻¹ 计算，试求该地区的光能利用率。

答：光能利用率 = (光合产物中积累的能量/辐射总量)×100%

光合产物中积累的能量 = [75 kg·100m⁻²÷0.5×(1-13%) + 60 kg·100m⁻²÷0.4×(1-12%)] × 1.7×10⁴ kJ·kg⁻¹ = 4.4625×10⁴ kJ·m⁻²

光能利用率 = (4.4625×10⁴ kJ·m⁻²/ 5.0×10⁶kJ·m⁻²) ×100% = 0.89%

第五章 植物的呼吸作用复习思考题与答案

(一) 名词解释

呼吸作用(respiration) 生活细胞内的有机物,在酶的参与下,逐步氧化分解并释放能量的过程。

有氧呼吸(aerobic respiration) 生活细胞利用分子氧,将某些有机物质彻底氧化分解,形成CO₂和H₂O,同时释放能量的过程。

无氧呼吸(anaerobic respiration) 生活细胞在无氧条件下,把某些有机物分解成为不彻底的氧化产物,同时释放能量的过程。微生物的无氧呼吸通常称为发酵

(fermentation)。

糖酵解(glycolysis) 己糖在细胞质中分解成丙酮酸的过程。为纪念在研究这途径中有贡献的三位生物化学家,又称为Embden-Meyerhof-Parnas途径,简称EMP途径(EMP pathway)。

三羧酸循环(tricarboxylic acid cycle, TCAC) 在有氧条件下丙酮酸在线粒体基质中彻底氧化分解的途径。因柠檬酸是其中一重要中间产物所以也称为柠檬酸循环(citric acid cycle),这个循环是英国生物化学家克雷布斯(H.Krebs)发现的,所以又名Krebs 循环(Krebs cycle)。

戊糖磷酸途径(pentose phosphate pathway,PPP) 葡萄糖在细胞质内直接氧化分解,并以戊糖磷酸为重要中间产物的有氧呼吸途径。又称己糖磷酸途径(hexose monophosphate pathway,HMP)。

生物氧化(biological oxidation) 有机物质在生物体细胞内所进行的一系列传递氢和电子的氧化还原过程称为生物氧化。生物氧化与体外的非生物氧化或燃烧的化学本质是相同的,都是脱氢、失去电子、或与氧直接化合并释放能量的过程。然而,生物氧化是在细胞内、常温、常压、近于中性pH和有水的环境中,在一系列的酶作用下进行的,能量是逐步释放的,释放的能量可贮存在高能化合物(如ATP、GTP等)中,以满足机体需能生理过程的需要。

呼吸链(respiratory chain) 即呼吸电子传递链(electron

transport chain),指线粒体内膜上由呼吸传递体组成的电子传递的总轨道。

氧化磷酸化(oxidative phosphorylation) 在线粒体内膜上电子经电子传递链传递给分子氧生成水,并偶联ADP和Pi生成ATP的过程。它是需氧生物生物氧化生成ATP的主要方式。

抗氰呼吸(cyanide resistant respiration) 对氰化物不敏感的那一部分呼吸。抗氰呼吸可以在某些条件下与电子传递主路交替运行,因此,这一呼吸支路又称为交替途径(alternative pathway)。

末端氧化酶(terminal oxidase) 处于生物氧化一系列反应的最末端的氧化酶。除了线粒体内膜上的细胞色素氧化酶和抗氰氧化酶之外,还有存在于细胞质中的酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶和乙醇酸氧化酶等。

巴斯德效应(Pasteur effect) 法国的科学家巴斯德(L.Pasture)最早发现从有氧条件转入无氧条件时酵母菌的发酵作用增强,反之,从无氧转入有氧时酵母菌的发酵作用受到抑制,这种氧气抑制酒精发酵的现象叫做巴斯德效应。

能荷调节(regulation of energy charge) 通过细胞内腺苷酸(ATP、ADP和AMP)之间的转化对呼吸作用的调节称为能荷(energy charge)调节。

呼吸速率(respiratory rate) 指单位时间单位重量(干重或鲜重)的植物组织(或单位细胞、毫克氮)所放出的CO₂的量或吸收的O₂的量。常用的单位有:

μmolCO₂·g⁻¹FW·h⁻¹, μmolO₂·g⁻¹FW·h⁻¹, μmolO₂·mg⁻¹Pr·h⁻¹, μlO₂·g⁻¹DW·h⁻¹等。呼吸速率是用来代表呼吸强弱的最常用的生理指标。

呼吸商(respiratory quotient,RQ) 植物组织在一定时间内,放出二氧化碳的量与吸收氧气的量的比值叫做呼吸商,又称呼吸系数(respiratory coefficient)。

呼吸作用的氧饱和点(respiration oxygen saturation point) 在氧浓度较低的情况下,呼吸速率(有氧呼吸)随氧浓度的增大而增强,但氧浓度增至一定程度时,呼吸速率不再随氧浓度的增大而增强,这时候的氧浓度称为呼吸作用的氧饱和点。

无氧呼吸消失点(anaerobic respiration extinction point) 无氧呼吸停止进行的最低氧浓度(10%左右)称为无氧呼吸消失点。

呼吸效率(respiratory ratio) 植物每消耗 1 克葡萄糖可合成生物大分子物质的克数。

维持呼吸(maintenance respiration) 用以维持细胞活性的

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net
那部分呼吸，维持呼吸是相对稳定的，每克干重植物约消耗 15~20mg 葡萄糖。

生长呼吸(growth respiration) 用来合成细胞组成成分以及进行细胞分裂、分化和生长的那部分呼吸。种子萌发到苗期，生长呼吸占总呼吸比例较高，随着营养体的生长，比例逐渐下降，而维持呼吸所占的比例增加。

呼吸跃变(respiratory climacteric) 果实成熟过程中，呼吸速率突然增高，然后又迅速下降的现象。呼吸跃变的产生与外界温度和果实内乙烯的释放密切相关。呼吸跃变是果实进入完熟的一种特征，在果实贮藏和运输中，重要的问题是降低温度,抑制果实中乙烯的产生，推迟呼吸跃变的发生，降低其发生的强度，延迟果实的完熟。

(二) 写出下列符号的中文名称，并简述其主要功能或作用

EMP 糖酵解途径(Embden-Meyerhof-Parnas pathway), 己糖在细胞质中分解成丙酮酸的过程。EMP是有氧呼吸和无氧呼吸共同经过的生化历程，通过EMP能为生物体的生命活动提供部分能量和中间产物。

PPP 戊糖磷酸途径(pentose phosphate pathway), 葡萄糖在细胞质内直接氧化分解，并以戊糖磷酸为重要中间产物的有氧呼吸途径。PPP途径普遍存在于高等植物中，能为生命活动提供能量与中间产物。

TCAC 三羧酸循环(tricarboxylic acid cycle), 在有氧条件下丙酮酸在线粒体基质中彻底氧化分解的途径。三羧酸循环又称柠檬酸循环(citric acid cycle)或 Krebs 循环(Krebs cycle)。它是需氧生物利用糖或其它物质获得能量的最有效方式，是糖、脂、蛋白质等物质转化的枢纽。

GAC 乙醛酸循环(glyoxylic acid cycle), 脂肪酸氧化分解生成的乙酰CoA, 在乙醛酸体内生成琥珀酸、乙醛酸和苹果酸等化合物的循环过程。此循环发生在某些植物和微生物中。乙醛酸循环中生成的琥珀酸可用于生成糖，生成的二羧酸与三羧酸可参与三羧酸循环。通过乙醛酸循环，可将脂肪转变为糖，这在油料作物种子萌发时尤为重要。

Cyt 细胞色素 (cytochrome)，一类含有铁卟啉的复合蛋白，有典型的吸收光谱，辅基中的铁能通过价态的变化可逆地传递电子，是生物氧化中重要的电子传递体。

CoQ或UQ 泛醌(ubiquinone) 是一种脂溶性的醌类化合物，广泛存在于生物界,其分子中的苯醌结构能可逆地氧化还原,是呼吸链中重要的递氢体。

P/O 磷氧比，氧化磷酸化的活力指标，指每吸收一个氧原子所能酯化的无机磷的数目,即有几个无机磷与ADP形成了ATP。呼吸链中两个质子和两个电子从NADH+H+开始传至氧生成水，一般可形成 3 分子的ATP，其P/O比为 3。

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net
RQ 呼吸商(respiratory quotient), 植物组织在一定时间内，放出二氧化碳的量与吸收氧气的量的比值，呼吸商又称呼吸系数(respiratory coefficient)。由于呼吸商与呼吸底物性质以及代谢类型有关，因此可根据呼吸商的大小来推测呼吸所用的底物及其呼吸类型。

DNP 2,4-二硝基酚 (dinitrophenol)，磷酸化的解偶联剂，脂溶性，它可以携带H⁺穿透线粒体或叶绿体的内膜，从而破坏了跨内膜的质子梯度，抑制了ATP的生成。

SHAM 水杨基氧肟酸(salicylhydroxamic acid)是抗氰呼吸末端氧化酶，即抗氰氧化酶或交替氧化酶的抑制剂。

FP 黄素蛋白 (flavoprotein)，也即黄酶，这类酶的辅基有两种，一种是黄素单核苷酸，简称FMN，另一种是黄素腺嘌呤二核苷酸，简称FAD，它们都参与氧化还原反应中质子和电子的传递。

DHAP 二羟丙酮磷酸 (dihydroxyacetone phosphate)，是糖酵解和C3 途径中的中间产物。

GAP 甘油醛-3-磷酸(glyceraldehyde-3-phosphate)，是糖酵解和C3 途径中的中间产物。

(三) 问答题

1. 试述呼吸作用的生理意义。植物呼吸代谢的多条路线有何生物学意义？

答：呼吸作用对植物生命活动具有十分重要的意义，主要表现在以下三个方面：

(1) 为植物生命活动提供能量 除绿色细胞可直接从光合作用获取能量外，其它生命活动所需的能量都依赖于呼吸作用。呼吸过程中有机物质氧化分解，释放的能量一部分以ATP形式暂贮存起来，以随时满足各种生理活动对能量的需要；另一部分能量则转变为热能散失，以维持植物体温，促进代谢,保证种子萌发、幼苗生长、开花传粉、受精等生理过程的正常进行。

(2) 中间产物为合成作用提供原料 呼吸过程中有机物的分解能形成许多中间产物，其中的一部分用作合成多种重要有机物质的原料。呼吸作用在植物体内的碳、氮和脂肪等物质代谢活动中起着枢纽作用。

(3)在植物抗病免疫方面有着重要作用 植物受伤或受到病菌侵染时，呼吸作用的一些中间产物可转化为能杀菌的植保素，以消除入侵病菌分泌物中的毒性。旺盛的呼吸还可加速细胞木质化或栓质化，促进伤口愈合。

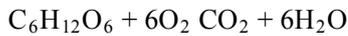
植物的呼吸代谢有多条途径，如表现在呼吸底物的多样性、呼吸生化历程的多样性、呼吸链电子传递系统的多样性以及末端氧化酶的多样性等。不同的植物、器官、组织、不同的条件或生育期，植物体内物质的氧化分解可通过不同的途径进行。呼吸代谢的多样性是在长期进化过程中，

完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

植物形成的对多变环境的一种适应性，具有重要的生物学意义，使植物在不良的环境中，仍能进行呼吸作用，维持生命活动。例如，氰化物能抑制生物正常呼吸代谢，使大多数生物死亡，而某些植物具有抗氰呼吸途径，能在含有氰化物的环境下生存。

2. 写出有氧呼吸和无氧呼吸的总方程式，两者有何异同点？

答：有氧呼吸的总过程可用下列总反应式来表示：



$$\Delta G^\circ = -2870 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

无氧呼吸可用下列反应式表示：



$$\Delta G^\circ = -226 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(1) 共同点：①有氧呼吸和无氧呼吸都是生活细胞内在酶的参与下，将有机物逐步氧化分解并释放能量的过程。②它们都可为植物的生命活动提供能量和中间产物。③有氧呼吸和无氧呼吸最初阶段的反应历程都经过了糖酵解阶段。

(2) 不同点：①有氧呼吸有分子氧的参与，而无氧呼吸可在无氧条件下进行。②有氧呼吸的呼吸底物能彻底氧化分解为 CO_2 和水，释放的能量多，而无氧呼吸对呼吸底物进行不彻底的氧化分解，释放的能量少，而且它的生成物如酒精、乳酸对植物有毒害作用。③有氧呼吸产生的中间产物多，即为机体合成作用所能提供的原料多，而无氧呼吸产生的中间产物少，为机体合成作用所能提供的原料也少。

3. 为什么说长时间的无氧呼吸会使陆生植物受伤，甚至死亡？

答：(1) 无氧呼吸释放的能量少，要依靠无氧呼吸释放的能量来维持生命活动的需要就要消耗大量的有机物，以至呼吸基质很快耗尽。

(2) 无氧呼吸生成氧化不彻底的产物，如酒精、乳酸等。这些物质的积累，对植物会产生毒害作用。

(3) 无氧呼吸产生的中间产物少，不能为合成多种细胞组成成分提供足够的原料。

4. EMP途径产生的丙酮酸可能进入哪些反应途径？

答：糖酵解的产物丙酮酸的化学性质十分活跃，可以通过各种代谢途径，产生不同的反应。若继续处在无氧的情况下，丙酮酸就进入无氧呼吸的途径，转变为乙醇或乳酸等(通过乙醛发酵，丙酮酸先在丙酮酸脱羧酶作用下脱羧生成乙醛酸和 CO_2 ，再在乙醇脱氢酶的作用下，乙醛被还原为乙醇，或通过乳酸发酵，在乳酸脱氢酶的作用下丙酮酸被NADPH还原为乳酸)；在有氧气的条件下，丙酮酸进入

线粒体，通过三羧酸循环逐步脱羧脱氢，彻底氧化分解为 CO_2 和水；丙酮酸也可参与氮代谢用于氨基酸的合成等。

5. TCA循环、PPP、GAC途径各发生在细胞的什么部位？各有何生理意义？

答：(1) TCA循环发生在线粒体的基质中，它的生理意义：①在TCA循环中，丙酮酸彻底氧化分解为 CO_2 和水，同时生成NADH、FADH和ATP，所以TCA循环是需氧生物体内有机物质彻底氧化分解的主要途径，也是需氧生物获取能量的最有效途径。②TCA循环可通过代谢中间产物与其他多条代谢途径发生联系，所以说，TCA循环是需氧生物体内的多种物质的代谢枢纽。

(2) PPP途径是在细胞质内进行的，它的生理意义：

①PPP在生物合成中占有十分重要的地位，该途径中生成的中间产物是多种重要化合物合成的原料，能沟通多种代谢。例如：Ru5P和R5P是合成核苷酸的原料；E4P是合成莽草酸的原料，经莽草酸途径可进一步合成芳香族氨基酸，还可合成与植物生长、抗病有关的生长素、木质素、绿原酸、咖啡酸等。PPP可生成大量的NADPH，这是脂肪合成所必需的“还原力”，所以在植物感病、受伤、干旱，或合成脂肪代谢旺盛时，该途径在呼吸中的比重上升。②由于该途径和EMP-TCA途径的酶系统不同，因此当EMP-TCA途径受阻时，PPP可代行正常的有氧呼吸，并有较高的能量转化效率。

(3) GAC途径发生在植物和微生物的乙醛酸体中，它的生理意义：①GAC中生成中的二羧酸与三羧酸，可用以进入TCA循环；②油料作物种子萌发时，通过乙醛酸循环，将脂肪转变为糖，为满足生长发育的需要。

6. 简述氧化磷酸化的机理。

答：氧化磷酸化的机理有多种假说，如化学偶联学说、结构偶联学说和化学渗透学说。其中得到较多支持的是米切尔(P. Mitchell, 1961)的化学渗透学说。根据该学说的原理，呼吸链的电子传递所产生的跨膜质子动力是推动ATP合成的原动力。其主要观点是：①呼吸链上的递氢体与电子传递体在线粒体内膜上有特定的位置，彼此间隔交替排列，质子和电子定向传递。②递氢体有质子泵的作用，当递氢体从线粒体内膜内侧接受从底物传来的氢(2H)后，可将其中的电子(2e)传给其后的电子传递体，而将两个 H^+ 泵出内膜。膜外侧的 H^+ 不能自由通过内膜而返回内侧，因而使内膜外侧的 H^+ 浓度高于内侧，造成跨膜的质子浓度梯度(ΔpH)和外正内负的膜电势差(ΔE)，二者构成跨膜的 H^+ 电化学势梯度($\Delta \mu H^+$)。③质子动力使 H^+ 流沿着ATP酶的 H^+ 通道进入线粒体基质时，在ATP酶的作用下推动ADP和 P_i 合成ATP。

7.呼吸作用与光合作用有何区别与联系？

答：(1)光合作用与呼吸作用的主要区别：

①光合作用以 CO_2 、 H_2O 为原料，而呼吸作用的反应物为淀粉、己糖等有机物以及 O_2 ；②光合作用的产物是己糖、蔗糖、淀粉等有机物和 O_2 ，而呼吸作用的产物是 CO_2 和 H_2O ；③光合作用把光能依次转化为电能、活跃化学能和稳定化学能，是贮藏能量的过程，而呼吸作用是把稳定化学能转化为活跃化学能，是释放能量的过程；④在光合过程中进行光合磷酸化反应，在呼吸过程中进行氧化磷酸化反应；⑤光合作用发生的部位是在绿色细胞的叶绿体中，只在光下才发生，而呼吸作用发生在所有生活细胞的线粒体、细胞质中，无论在光下、暗处随时都在进行。

(2)光合作用与呼吸作用的联系：①两个代谢过程互为原料与产物，如光合作用释放的 O_2 可供呼吸作用利用，而呼吸作用释放的 CO_2 也可被光合作用所同化；光合作用的卡尔文循环与呼吸作用的戊糖磷酸途径基本上是正反对应的关系，它们有多种相同的中间产物(如GAP、Ru5P、E4P、F6P、G6P等)，催化诸糖之间相互转换的酶也是类同的。②在能量代谢方面，光合作用中供光合磷酸化产生ATP所需的ADP和供产生NADPH所需的 NADP^+ ，与呼吸作用所需的ADP和 NADP^+ 是相同的，它们可以通用。

8.生长旺盛部位与成熟组织或器官在呼吸效率上有何差异？

答：呼吸效率是指每消耗1克葡萄糖可合成生物大分子物质的克数。生长旺盛部位，即生理活性高的部位如幼根、幼茎、幼叶、幼果等，呼吸作用所产生的能量和中间产物，大多数用来合成供细胞生长的如蛋白质、核酸、纤维素、磷脂等生物大分子物质，因而呼吸效率很高。而在生长活动已停止的成熟组织或器官内，呼吸作用所产生的能量和中间产物不是用于合成生物大分子物质，而主要是用于维持细胞活性，其中相当部分能量以热能形式散失掉，因而呼吸效率低。

9.如何协调温度、湿度及气体的关系来做好果蔬的贮藏？

答：果实蔬菜的贮藏过程中，重要的问题是延迟其完熟。其措施：①降低温度，降低呼吸速率，推迟呼吸跃变的发生。②调节气体成分，降低周围环境中氧气的浓度，增加二氧化碳的含量，或充氮气。这样也可以抑制果实中乙烯的产生，推迟呼吸跃变的发生，并降低其发生的强度。③控制湿度。果蔬是含水量很高的食品，为了保持它们的新鲜，贮藏环境必须保湿，多数果蔬适宜贮藏的相对湿度为80%~90%。

根据上述情况，在贮藏果蔬时要协调好温度、湿度及气体的关系。如番茄装箱后用塑料布密封，抽去空气，充以氮

气，把氧浓度降至3%~6%，在零度以上温度放置，能使番茄可贮藏3个月以上。甘薯块根贮藏期如温度超过 15°C ，会引起发芽和病害，低于 9°C 又会受寒害，如果将贮藏温度调为 $10\sim 14^\circ\text{C}$ ，相对湿度控制为80%~90%，则能安全贮藏至第二春天播种。苹果和大多数蔬菜若用塑料纸(袋)保湿，置 $4\sim 5^\circ\text{C}$ 冷库或冰箱中能贮藏很长的时间。

10.呼吸作用与谷物种子贮藏的关系如何？

答：种子呼吸速率受其含水量的影响很大。一般油料种子含水量在8%~9%，淀粉种子含水量在12%~14%时，种子中原生质处于凝胶状态，呼吸酶活性低，呼吸极微弱，可以安全贮藏，此时的含水量称之为安全含水量。超过安全含水量时呼吸作用就显著增强。其原因是，种子含水量增高后，原生质由凝胶转变成溶胶，自由水含量升高，呼吸酶活性大大增强，呼吸也就增强。呼吸旺盛，不仅会引起大量贮藏物质的消耗，而且由于呼吸作用的散热提高了粮堆温度，呼吸作用放出的水分会使种堆湿度增大，这些都有利于微生物活动，易导致粮食的变质，使种子丧失发芽力和食用价值。

为了做到种子的安全贮藏，①严格控制进仓时种子的含水量不得超过安全含水量。②注意库房的干燥和通风降温。③控制库房内空气成分。如适当增高二氧化碳含量或充入氮气、降低氧的含量。④用磷化氢等药剂灭菌，抑制微生物的活动。