

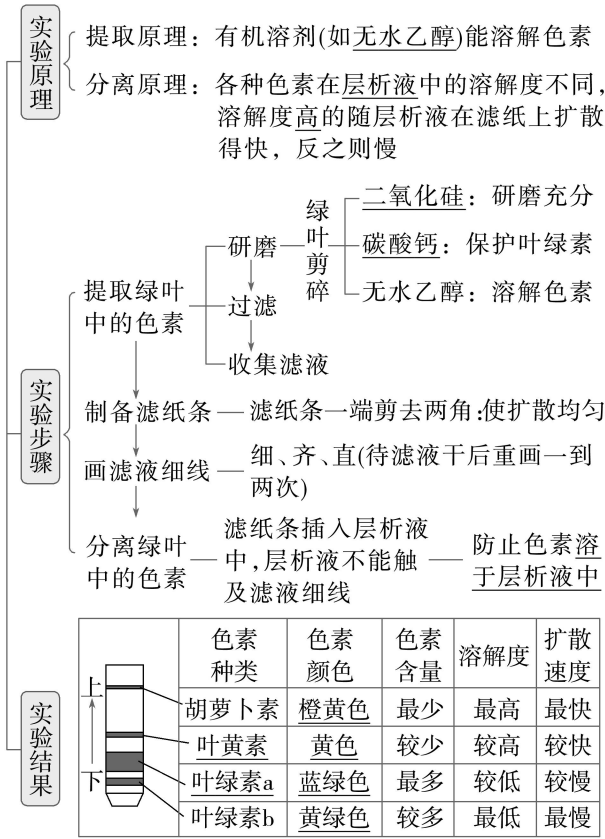
第 12 课时 捕获光能的色素和结构及光合作用原理的探索

课标要求	说明植物细胞的叶绿体从太阳光中捕获能量，这些能量在二氧化碳和水转变为糖与氧气的过程中，转换并储存为糖分子中的化学能。
考情分析	捕获光能的色素：2025·黑吉辽蒙·T11 2025·四川·T16 2025·山东·T13 2024·广东·T3 2024·贵州·T3 2024·江苏·T20 2024·河北·T19 2023·江苏·T12 2023·全国乙·T2 2023·海南·T16 2023·全国甲·T29

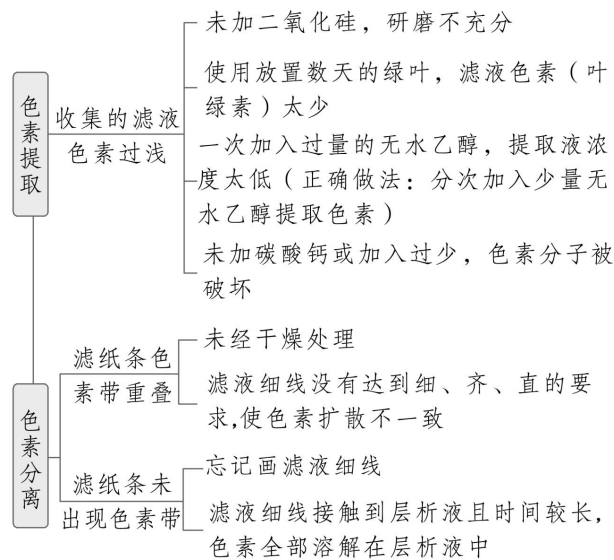
考点一 捕获光能的色素和结构

整合·必备知识

1. 绿叶中色素的提取和分离



归纳总结 实验异常现象分析

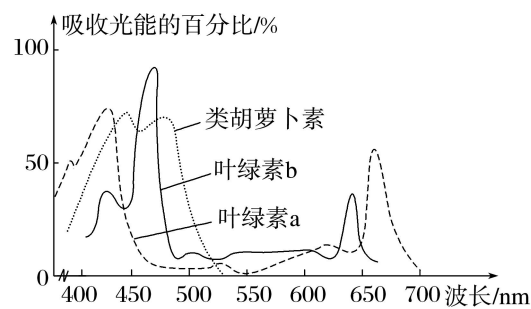


2. 色素的分布和作用

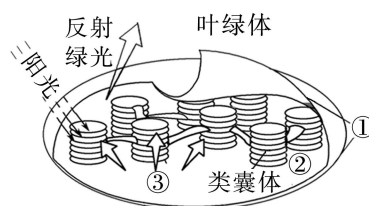
(1)分布：叶绿体类囊体薄膜上。

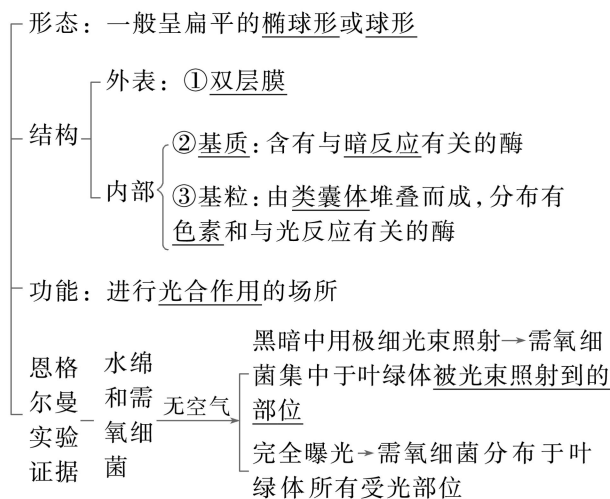
(2)作用：吸收、传递、转化光能。

(3)吸收光谱：一般情况下，光合作用所利用的光都是可见光。叶绿素对红光和蓝紫光的吸收量大，类胡萝卜素对蓝紫光的吸收量大，对其他波段的光并非不吸收，只是吸收量较少。



3. 叶绿体的结构和功能





■ 自我诊断 ■

(1)氮元素和镁元素是构成叶绿素分子的重要元素(2023·全国乙, 2A)(√)

(2)叶绿体中的色素在层析液中的溶解度越高, 随层析液在滤纸上扩散得越慢(2023·全国乙, 2D)(×)

提示 叶绿体中的色素在层析液中的溶解度越高, 随层析液在滤纸上扩散得越快。

(3)纸层析法分离叶绿体色素时, 以多种有机溶剂的混合物作为层析液(2021·河北, 3C)(√)

强化·迁移应用

考向一 捕获光能的色素和结构

1. (2024·贵州, 3)为探究不同光照强度对叶色的影响, 取紫鸭跖草在不同光照强度下, 其他条件相同且适宜, 分组栽培, 一段时间后获取各组光合色素提取液, 用分光光度法(一束单色光通过溶液时, 溶液的吸光度与吸光物质的浓度成正比)分别测定每组各种光合色素含量。下列叙述错误的是()

- A. 叶片研磨时加入碳酸钙可防止破坏色素
- B. 分离提取液中的光合色素可采用纸层析法
- C. 光合色素相对含量不同可使叶色出现差异
- D. 测定叶绿素的含量时可使用蓝紫光波段

答案 D

解析 研磨叶片时, 加入二氧化硅有助于研磨充分, 加入碳酸钙可以防止色素被破坏, A 正确; 由于不同色素在层析液中的溶解度不同, 因此在滤纸上的扩散速度不同, 从而达到分离的效果, 即纸层析法, B 正确; 叶绿素和类胡萝卜素都可以吸收蓝紫光, 所以不能用蓝紫光波段测定叶绿素含量, D 错误。

2. (2025·山东, 13)“绿叶中色素的提取和分离”实验操作中要注意“干燥”, 下列叙述错

误的是()

- A. 应使用干燥的定性滤纸
- B. 绿叶需烘干后再提取色素
- C. 重复画线前需等待滤液细线干燥
- D. 无水乙醇可用加入适量无水碳酸钠的 95%乙醇替代

答案 B

解析 本实验中,滤纸条是进行色素层析的载体,实验台上的水分、手上的水分、潮湿的空气等都会影响滤纸的含水量,如果滤纸条不干燥,会影响层析速度和效果,故应使用干燥的定性滤纸,A 正确。实验中一般用新鲜的绿叶直接提取光合色素,而不用干燥的绿叶,因为绿叶干燥过程中可能会影响叶绿素的结构,导致层析条带异常,B 错误。为了去除光合色素提取液中的少量水分,避免水分影响层析效果,画滤液细线时要等待滤液干后重画 1~2 次,以避免色素提取液中的水分影响层析结果;同时滤液干后再重画细线可以避免画线条带太宽,影响层析分离效果,C 正确。实验室没有无水乙醇时,可以用 95%乙醇加入适量无水碳酸钠来代替,无水碳酸钠可以吸收 95%乙醇中的水分,D 正确。

考向二 叶绿素合成的问题分析

3. 请回答关于叶绿素合成的问题

(1)(2022·湖南,17 节选)将纯净水洗净的河沙倒入洁净的玻璃缸中制成沙床,作为种子萌发和植株生长的基质。某水稻品种在光照强度为 $8\sim 10\ \mu\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 时,固定的 CO_2 量等于呼吸作用释放的 CO_2 量;日照时长短于 12 小时才能开花。将新采收并解除休眠的该水稻种子表面消毒,浸种 1 天后,播种于沙床上。将沙床置于人工气候室中,保湿透气,昼/夜温为 $35\ ^\circ\text{C}/25\ ^\circ\text{C}$,光照强度为 $2\ \mu\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$,每天光照时长为 14 小时。在此条件下,该水稻种子_____ (填“能”或“不能”)萌发并成苗(以株高 ≥ 2 厘米,至少 1 片绿叶视为成苗),理由是_____

(2)(2024·湖南,17 节选)钾是植物生长发育的必需元素,主要生理功能包括参与酶活性调节、渗透调节以及促进光合产物的运输和转化等。研究表明,缺钾导致某种植物的气孔导度下降,使 CO_2 通过气孔的阻力增大; Rubisco 的羧化酶(催化 CO_2 的固定反应)活性下降,最终导致净光合速率下降。长期缺钾导致该植物的叶绿素含量_____,从叶绿素的合成角度分析,原因是_____ (答出两点即可)。

(3)(2022·辽宁,22 节选)浒苔是形成绿潮的主要藻类。绿潮时浒苔堆积在一起,形成大量的“藻席”,造成生态灾害。为研究浒苔疯长与光合作用的关系,进行如下实验:

测定三个样品的叶绿素含量,结果见表。

样品	叶绿素 a/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素 b/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
上层	0.199	0.123
中层	0.228	0.123

下层	0.684	0.453
----	-------	-------

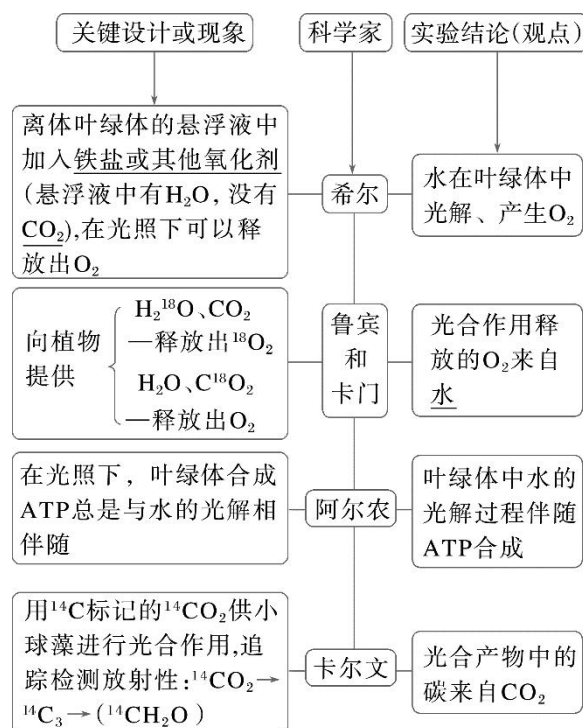
数据表明,取自“藻席”下层的样品叶绿素含量最高,这是因为_____。

答案 (1)能 种子萌发形成幼苗的过程中,消耗的能量主要来自种子胚乳中储存的有机物,且光照有利于叶片叶绿素的形成 (2)减少 缺钾会使叶绿素合成相关酶的活性降低;缺钾会影响细胞的渗透调节,进而影响细胞对 Mg、N 等元素的吸收,使叶绿素合成减少 (3)下层阳光少,需要大量叶绿素来捕获少量的阳光

考点二 光合作用原理的探索

整合·必备知识

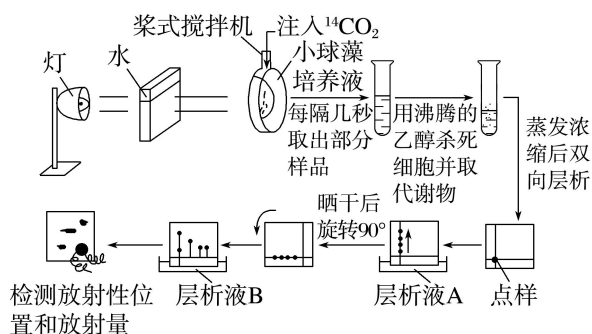
探索光合作用的部分实验



形成·解题能力

暗反应中碳的转化和去向研究

得益于纸层析法的发明和放射性同位素的研究,卡尔文及其同事用 $^{14}\text{CO}_2$ 饲养单细胞小球藻,观察光合作用过程中碳的转化和去向,从而揭示了光合作用暗反应的过程。如图为卡尔文等研究的主要流程,请回答下列问题:



(1)卡尔文等人用沸腾的乙醇杀死细胞，目的是终止反应，溶解有机物。

(2)随后通过双向纸层析分离小球藻中的有机物。对代谢物纸层析的原理是什么？

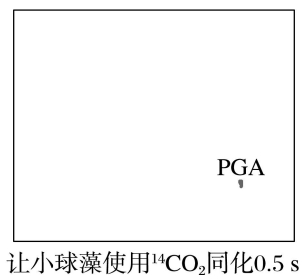
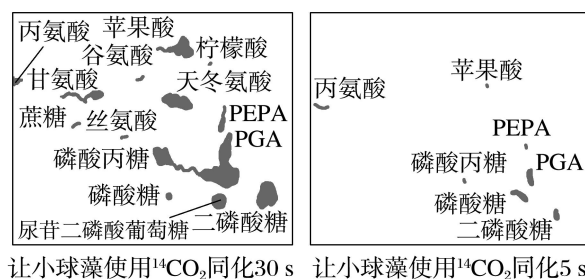
提示 在层析液中溶解度越大的物质，在滤纸上扩散得越快，反之则越慢。

(3)点样处位于滤纸的左下角；双向纸层析是第一次层析后，将滤纸旋转 90°进行第二次层析的方法；层析液中溶解度越大的物质在滤纸上扩散得越快。据图分析两次层析过程中使用了不同(填“相同”或“不同”)的层析液，判断依据是有的斑点在层析液 A 中的扩散距离无明显差异，而在层析液 B 中差异明显。

(4)与单向纸层析相比，双向纸层析的优点是什么？

提示 将第一次层析重叠或距离较近的物质通过第二次层析彻底分离。

(5)如图为小球藻同化 $^{14}\text{CO}_2$ 不同时间的放射自显影图。根据实验结果请对“尿苷二磷酸葡萄糖、磷酸丙糖、 $\text{PGA}(\text{C}_3)$ ”三种物质出现的先后顺序进行排序 $\text{PGA} \rightarrow \text{磷酸丙糖} \rightarrow \text{尿苷二磷酸葡萄糖}$ 。

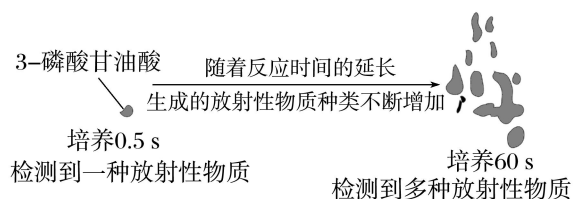


强化·迁移应用

考向三 光合作用原理的探究

4. (2025·阳江检测)卡尔文将 ^{14}C 标记的 CO_2 通入正在进行光合作用的小球藻培养液中，然后在培养后不同时间(0.5 s、3 s、10 s 等)将培养液迅速倾入热乙醇中以杀死细胞，最后利用

层析法和放射自显影技术进行物质的分离和鉴定,实验结果如图。下列相关分析不正确的是()



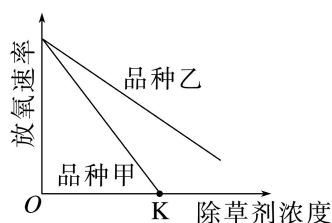
- A. 用 ^{14}C 标记 CO_2 可排除细胞中原有物质的干扰
- B. 热乙醇处理的目的是停止光合作用的进行
- C. 推测暗反应的初产物可能是 3-磷酸甘油酸
- D. 可依据放射性的强弱推测出暗反应的过程

答案 D

解析 热乙醇可以杀死细胞,用热乙醇处理的目的是停止光合作用的进行,以检测杀死细胞时,其光合作用的进行程度, B 正确;放射性最先在 3-磷酸甘油酸出现,推测暗反应的初产物可能是 3-磷酸甘油酸, C 正确;该实验可通过放射性出现的先后顺序来推测暗反应的过程, D 错误。

5. 实验中常用希尔反应来测定除草剂对杂草光合作用的抑制效果。希尔反应基本过程:将黑暗中制备的离体叶绿体加到含有 DCIP(氧化型)、蔗糖和磷酸缓冲液($\text{pH}=7.3$)的溶液中并照光。

水在光照下被分解,产生氧气等,溶液中的 DCIP 被还原,颜色由蓝色变成无色。用不同浓度的某除草剂分别处理品种甲和品种乙杂草的离体叶绿体并进行希尔反应,实验结果如图所示。下列叙述错误的是()



- A. 相同浓度除草剂处理下,单位时间内溶液颜色变化慢的品种受除草剂抑制效果更显著
- B. 与品种乙相比,除草剂抑制品种甲类囊体的功能较强
- C. 除草剂浓度为 K 时,品种乙的叶绿体能合成有机物
- D. 不用除草剂处理时,品种乙的叶绿体放氧速率等于品种甲

答案 C

解析 除草剂浓度为 K 时,品种乙的叶绿体虽能为暗反应阶段提供 NADPH 和 ATP,但缺乏二氧化碳,无法合成 C_3 ,故无法合成有机物, C 错误。

课时精练

选择题 1~9 题，每小题 8 分，共 72 分。

一、选择题

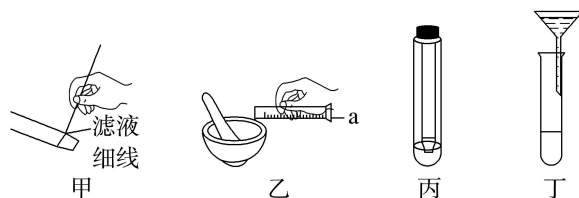
1. (2024·广东, 3)银杏是我国特有的珍稀植物, 其叶片变黄后极具观赏价值。某同学用纸层析法探究银杏绿叶和黄叶的色素差别, 下列实验操作正确的是()

- A. 选择新鲜程度不同的叶片混合研磨
- B. 研磨时用水补充损失的提取液
- C. 将两组滤纸条置于同一烧杯中层析
- D. 用过的层析液直接倒入下水道

答案 C

解析 该实验目的为探究银杏绿叶和黄叶的色素差别, 自变量为叶片的颜色, 所以应选择新鲜程度不同的叶片分成两组进行研磨, A 错误; 叶片中的色素能够溶解在有机溶剂无水乙醇中, 所以可用无水乙醇提取叶片中的色素, 光合色素不溶于水, 若提取液中含有水分, 会降低色素的提取量, B 错误; 利用纸层析法分离色素, 两组滤纸条可置于同一个烧杯中层析, C 正确; 层析液含有石油醚、丙酮和苯, 具有毒性, 所以不能直接倒入下水道, 以免造成污染, D 错误。

2. (2025·汕头金山中学月考)如图甲~丁表示用新鲜菠菜进行“绿叶中色素的提取和分离”实验的几个主要操作步骤, 下列有关叙述错误的是()

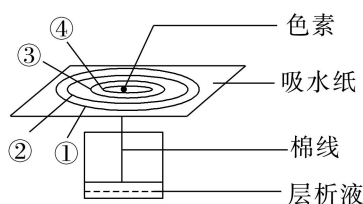


- A. 实验操作步骤的先后顺序是乙→丁→甲→丙
- B. 步骤甲为增加滤纸上色素的量需连续画 3 至 4 次滤液细线
- C. 步骤乙应向滤液中加入少许碳酸钙, 以防止叶绿素被破坏
- D. 步骤丙中的滤纸条上最上面的一条色素带的颜色是橙黄色

答案 B

解析 据图分析, 步骤甲表示画滤液细线, 步骤乙表示提取色素, 步骤丙表示分离色素, 步骤丁表示过滤, 则实验操作步骤的先后顺序是乙→丁→甲→丙, A 正确; 为了增加滤纸上色素的量, 需要画 3 至 4 次滤液细线, 但是需要等到上次画线干了之后再进行下一次画线, 不能连续操作, B 错误; 步骤乙表示提取色素, 应向滤液中加入少许碳酸钙, 以防止叶绿素被破坏, C 正确; 步骤丙中的滤纸条上最上面的一条色素带是胡萝卜素, 其颜色是橙黄色, D 正确。

3. 如图表示利用纸层析法分离新鲜菠菜叶中光合色素的实验示意图。下列相关叙述正确的是()



- A. 实验所用吸水纸的干燥度不影响实验的结果
- B. ①和②对应的色素主要吸收蓝紫光 and 红光
- C. ①~④对应的色素依次为胡萝卜素、叶黄素、叶绿素 a 和叶绿素 b
- D. 若在研磨叶片时没有加入二氧化硅，则得不到任何色素环

答案 C

解析 实验所用吸水纸的干燥度影响实验的结果，故应用干燥的吸水纸，A 错误；溶解度越大，扩散的距离越远，因此，可以判断①~④对应的色素依次为胡萝卜素、叶黄素、叶绿素 a 和叶绿素 b，其中①和②主要吸收蓝紫光，B 错误，C 正确；在研磨时没有加入二氧化硅，则研磨不充分，结果各色素环均会变窄颜色变浅，D 错误。

4. (2024·潮州联考)叶绿素分子中的 Mg^{2+} 容易被 H^+ 替换，导致其分子结构被破坏，因此在进行“光合色素提取和分离”的实验中，要使用适量 $CaCO_3$ 对叶绿素进行保护。下列有关叙述错误的是()

- A. 推测叶绿体基质的 pH 略高于细胞质基质的 pH
- B. 以正常生长的紫叶李的叶片为材料无法提取和分离到光合色素
- C. 用缺乏 Mg^{2+} 的培养液长期培养植物会使其光合作用能力下降
- D. 实验中每次画滤液细线都要等上一次所画的滤液细线晾干后再进行

答案 B

解析 Mg 是组成叶绿素的元素，由题意可推测，叶绿体中的 H^+ 浓度应较低，pH 可能比细胞质基质的 pH 略高一点，以保证叶绿素结构的稳定性，A 正确；正常生长的紫叶李可进行光合作用，叶片含有光合色素，能提取和分离到光合色素，B 错误；实验中为了保证滤液细线直、齐、细，每次画滤液细线都要等上一次所画的滤液细线晾干后再进行，D 正确。

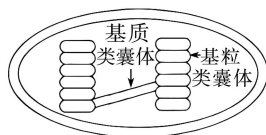
5. 有科学家提出，由于林冠层上部叶片的遮蔽影响了下部叶片对光的捕获，可通过降低叶片的叶绿素含量以提高林冠层的整体光合作用速率。根据此假设，降低叶片叶绿素含量后，下列叙述错误的是()

- A. 红光和蓝紫光可更多地到达林冠层下部叶片
- B. 叶肉细胞中用于合成光合作用相关酶的氮元素减少
- C. 林冠层上部叶片光合速率降低，下部叶片光合速率提高
- D. 改变林冠层的叶片角度也能实现相似的效果

答案 B

解析 叶绿素主要吸收红光和蓝紫光，降低(林冠层上部叶片)叶绿素的含量后，红光和蓝紫光可更多地到达林冠层下部叶片，以提高林冠层的整体光合作用速率，A 正确；氮元素是叶绿素的组成元素之一，降低叶片叶绿素含量后，用于合成叶绿素的氮元素减少，用于合成光合作用相关酶的氮元素增多，B 错误；降低叶片叶绿素含量后，林冠层上部叶片吸收的光能减少，光合速率降低，林冠层下部叶片接收到的光照增多，光合速率提高，C 正确；改变林冠层的叶片角度，使下部叶片接收到更多的光照，也可以提高林冠层的整体光合作用速率，D 正确。

6. 叶绿体中的类囊体有两种存在形式。一种是多个垛叠在一起形成基粒；另一种没有发生垛叠，贯穿在两个或两个以上基粒之间，被称为基质类囊体，如图所示。下列叙述错误的是()



- A. 两种类囊体相互连接形成了一个连续的膜系统
- B. 两种类囊体的比例会影响叶绿体对光能的捕获和转化
- C. 基粒类囊体的存在可以大大增加受光面积，提高光能利用率
- D. 基质类囊体上镶嵌有许多酶，是进行光合作用暗反应的场所

答案 D

解析 光合作用暗反应进行的场所是叶绿体基质，不是基质类囊体，D 错误。

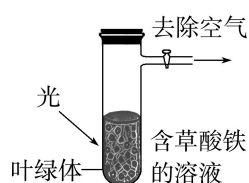
7. (2024·深圳期末)下列关于光合作用探究历程的说法，错误的是()

- A. 恩格尔曼的实验直接证明叶绿体吸收光能并释放氧气
- B. 希尔的实验说明水的光解产生氧气，且氧气中的氧元素全部来自水
- C. 阿尔农发现在光照下叶绿体中合成 ATP 的过程总是与水的光解相伴随
- D. 卡尔文用 ^{14}C 标记 CO_2 ，探明了 CO_2 中的碳转化为有机物中碳的途径

答案 B

解析 希尔反应仅说明了离体叶绿体在适当条件下可以发生水的光解，产生氧气。该实验没有排除叶绿体中其他物质的干扰，也并没有直接观察到氧元素的转移，B 错误。

8. (2024·汕头三模)如图所示，将草酸铁(含 Fe^{3+})加入含有离体叶绿体的溶液中，除去空气并给予适宜的光照后，溶液颜色发生变化并产生氧气。在相同条件下，不添加草酸铁时，则不产生氧气。下列有关论述正确的是()



- A. 可通过差速离心法提取叶绿体并置于蒸馏水中保存
- B. 相较于蓝紫光，绿光照射使叶绿体释放氧气量更多
- C. 颜色变化是由于 Fe^{3+} 被还原， Fe^{3+} 相当于叶绿体基质内的 NADH
- D. 实验说明叶绿体中氧气的产生过程与糖类的合成过程相对独立

答案 D

解析 可通过差速离心法提取叶绿体，但是不能置于蒸馏水中保存，否则会吸水涨破，A 错误；相较于绿光，蓝紫光吸收量大，用蓝紫光照射使叶绿体释放氧气量更多，B 错误；NADH 是呼吸作用中的还原剂，颜色变化是由于 Fe^{3+} 被还原， Fe^{3+} 不是还原剂，C 错误；实验过程中除去了空气，说明叶绿体中氧气的产生过程与糖类的合成过程相对独立，D 正确。

9. 在光合作用发现过程中，科学家卡尔文做出了重要贡献。卡尔文等人在小球藻培养液中通入 $^{14}\text{CO}_2$ ，再给予不同的光照时间，然后用甲醇(可杀死小球藻)分别处理并取样，最后根据标记化合物出现情况，确定生成物质的先后次序。下列有关说法正确的是()

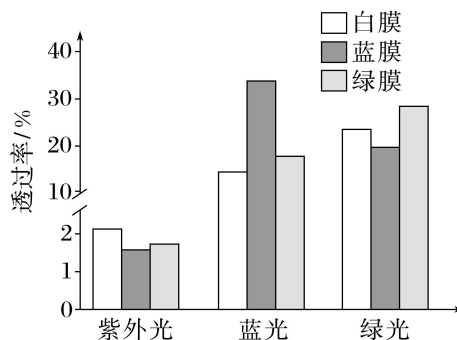
- A. 在卡尔文的实验过程中，不产生氧气，也不消耗氧气
- B. 该实验过程应该在无氧环境中进行，以排除干扰
- C. 若要确定第一个生成的物质，光照时间应延长
- D. 含有 ^{14}C 的物质，主要存在于叶绿体基质中

答案 D

解析 小球藻进行光合作用的过程中，可以通过水的光解产生氧气，线粒体进行有氧呼吸的过程也会消耗氧气，A 错误；卡尔文探究的是暗反应的过程，氧气对该实验没有明显干扰，不需要设置无氧环境，B 错误；若要确定第一个生成的物质，应不断缩短光照时间，直到产物不再发生改变，可确定该产物是第一个生成的物质，C 错误；暗反应的场所在叶绿体基质，以 $^{14}\text{CO}_2$ 为原料生成的含有 ^{14}C 的物质主要存在于叶绿体基质中，D 正确。

二、非选择题

10. (18 分)(2024·河北，19)高原地区蓝光和紫外光较强，常采用覆膜措施辅助林木育苗。为探究不同颜色覆膜对藏川杨幼苗生长的影响，研究者检测了白膜、蓝膜和绿膜对不同光的透过率，以及覆膜后幼苗光合色素的含量，结果如图、表所示。



覆膜处理	叶绿素含量/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	类胡萝卜素含量/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
------	---	---

白膜	1.67	0.71
蓝膜	2.20	0.90
绿膜	1.74	0.65

回答下列问题：

(1)如图所示，三种颜色的膜对紫外光、蓝光和绿光的透过率有明显差异，其中_____光可被位于叶绿体_____上的光合色素高效吸收后用于光反应，进而使暗反应阶段的C₃还原转化为_____和_____。与白膜覆盖相比，蓝膜和绿膜透过的_____较少，可更好地减弱幼苗受到的辐射。

(2)(6分)光合色素溶液的浓度与其光吸收值成正比，选择适当波长的光可对色素含量进行测定。提取光合色素时，可利用_____作为溶剂。测定叶绿素含量时，应选择红光而不能选择蓝紫光，原因是_____。

(3)(4分)研究表明，覆盖蓝膜更有利于藏川杨幼苗在高原环境的生长。根据上述检测结果，其原因为_____ (答出两点即可)。

答案 (1)蓝 类囊体薄膜 C₅ 糖类 紫外光 (2)无水乙醇 叶绿素a和叶绿素b主要吸收蓝紫光和红光，胡萝卜素和叶黄素主要吸收蓝紫光，选择红光可排除类胡萝卜素的干扰 (3)覆盖蓝膜，紫外光透过率低，蓝光透过率高，降低紫外光对幼苗的辐射的同时不影响其光合作用；与覆盖白膜和绿膜相比，覆盖蓝膜时叶绿素和类胡萝卜素含量都更高，有利于幼苗进行光合作用

解析 (1)植物的光合色素分布在叶绿体的类囊体薄膜上，主要吸收红光和蓝紫光，因此题述三种光中蓝光可被高效吸收。光合作用暗反应阶段C₃还原的产物包括糖类和C₅。据柱形图分析可知，与白膜覆盖相比，蓝膜覆盖和绿膜覆盖透过的紫外光较少，可以更好地减弱幼苗受到的辐射。(2)光合色素提取的原理是绿叶中的色素能够溶解在有机溶剂中，所以可以用无水乙醇作为溶剂提取光合色素。根据色素的吸收光谱，叶绿素主要吸收红光和蓝紫光，类胡萝卜素主要吸收蓝紫光，两者都可以吸收蓝紫光，测定叶绿素的含量时，选择红光而不选择蓝紫光，可以避免类胡萝卜素对实验结果的影响。(3)高原环境紫外光强烈，覆盖蓝膜后，紫外光透过率降低，可降低紫外光对幼苗的伤害，此外，与覆盖白膜和绿膜相比，覆盖蓝膜时幼苗叶绿素和类胡萝卜素的含量最高，可以提高植物对光能的利用率，促进植物的光合作用。