

目次

第1講	生体物質と細胞	2
第2講	生命現象とタンパク質(1)	10
第3講	生命現象とタンパク質(2)	18
第4講	呼吸の過程	26
第5講	炭酸同化と窒素同化	34
第6講	DNAの複製	42
第7講	遺伝情報の発現	50
第8講	遺伝子発現の調節	58
第9講	バイオテクノロジー	66
第10講	減数分裂と受精	74
第11講	遺伝子と染色体(1)	82
第12講	遺伝子と染色体(2)	88
第13講	動物の配偶子形成と発生	96
第14講	動物の形態形成(1)	104
第15講	動物の形態形成(2)	112
第16講	植物の生殖と発生	120
第17講	刺激の受容と神経細胞	128
第18講	効果器	136
第19講	神経系	144
第20講	動物の行動	152
第21講	植物の環境応答(1)	160
第22講	植物の環境応答(2)	168
第23講	生物の生活と環境, 個体群	176
第24講	個体群内部, 個体群同士の関係	184
第25講	生物群集とその構造	192
第26講	生態系	200
第27講	進化の過程	208
第28講	進化の証拠	216
第29講	進化の仕組み	224
第30講	生物の系統と分類	232

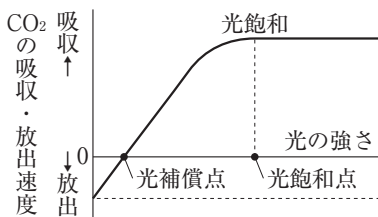
第5講 >>> 炭酸同化と窒素同化

基礎学習

無機物から有機物を合成する働きを同化と呼び、二酸化炭素が原料の炭酸同化、アンモニウムイオンなどが原料の窒素同化が代表的である。同化にはエネルギーが必要で、光エネルギーを用いる光合成などがある。

1 光合成と環境要因

① 光の強さと光合成速度



・光補償点

光合成速度 = 呼吸速度 の照度

・光飽和点以前

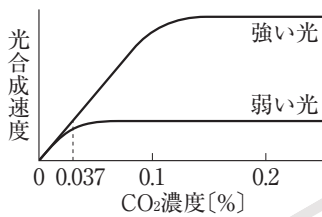
光合成速度は照度にほぼ比例。

光の強さが限定要因

・光飽和点以降は光合成速度が一定。

温度、CO₂濃度が限定要因

② 二酸化炭素濃度と光合成速度



・強光時は CO₂ が高濃度になるまで → 光合成速度が増加する。

増加している範囲では、

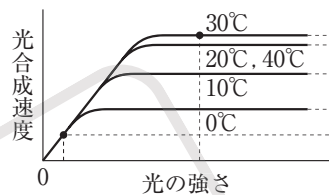
CO₂濃度が限定要因

・弱光時は、CO₂ が低濃度で

→ 光合成速度は増加しなくなる。

光の強さが限定要因

③ 温度と光合成速度



・高温時は、光が強くなるまで → 光合成速度が増加する。

増加している範囲では、

光の強さが限定要因

・低温時は、弱い光のときに

→ 光合成速度は増加しなくなる。

温度が限定要因

2 光エネルギーをとらえる仕組み

●光合成色素

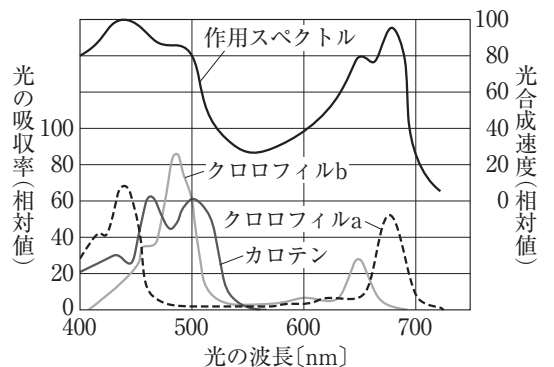
光合成に利用するために光エネルギーを吸収する色素。

- クロロフィル…クロロフィル a (青緑色) → 主色素
- クロロフィル b (黄緑色～緑色)
- カロテノイド…カロテン (橙色), キサントフィル (黄色～褐色)

●吸収スペクトル・作用スペクトル

吸収スペクトル…各波長の光の吸収度(吸光度)のグラフ。

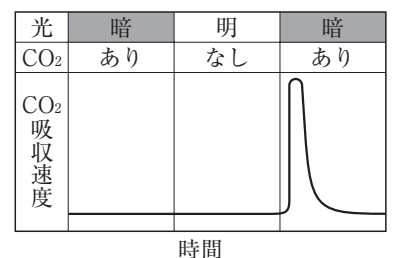
作用スペクトル…各波長の光が、光合成に利用される度合いのグラフ。各色素の吸収スペクトルの波形の合計に近い形。



3 光合成の過程

●ベンソンの実験(右グラフ)

- ・CO₂ 吸収は暗所では起こらない。
- ・あらかじめ光を当てると、暗所でも CO₂ を吸収。
- 吸収した光のエネルギーを用いて、その後に CO₂ 固定が行われる。



●チラコイドでの過程と、ストロマでの過程(カルビン・ベンソン回路)

- チラコイド…葉緑体内部にある、扁平な袋が積み重なった構造。光合成色素を含む。
- ストロマ…葉緑体内部のチラコイド以外の部分(基質)。各種の酵素が含まれる。

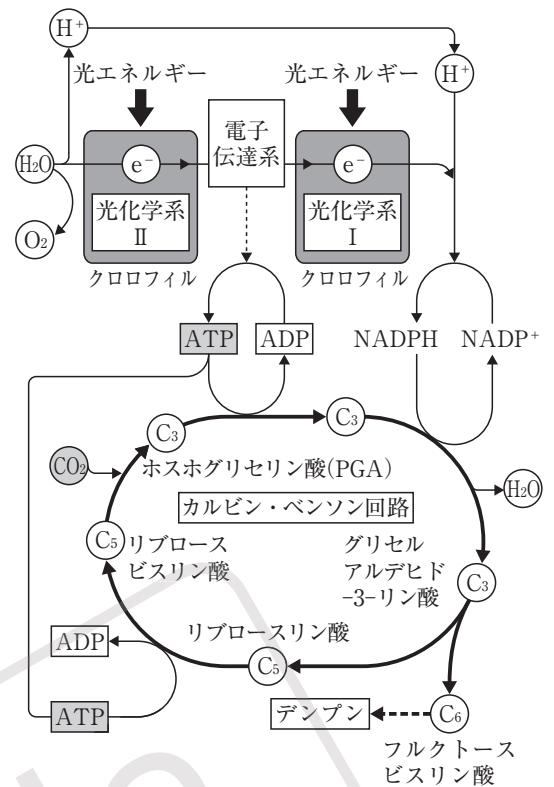
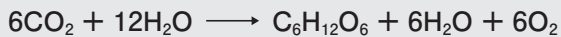
① チラコイドでの反応

- 光エネルギーでクロロフィルが活性化。
→電子(e⁻)が飛び出て電子伝達系へ。
- 水が分解されe⁻, H⁺, O₂が生じる。=光化学系II
- 電子伝達系を流れたe⁻は, H⁺, NADP⁺と結合し, NADPHを作る。=光化学系I
- ATPを合成(光リン酸化)

② ストロマでの反応

- CO₂はリブローズビスリン酸と結合。
→2分子のPGA(炭素数3)になる。
- PGAはカルビン・ベンソン回路に入る。
- この回路全体で12NADPHと18ATPが使われる。
- フルクトースビスリン酸を経て, デンプンなどが作られる。

光合成全体の反応式



4 同化産物の輸送

●同化デンプン

葉緑体で作られたときのデンプン。葉緑体内部に一時的に貯蔵される。

●転流

葉脈・茎・根にある篩管を通して運ばれること。デンプン(不溶性)からスクロース(水溶性)に変化して輸送される。

●貯蔵器官での貯蔵

果実, 根, 地下茎などに貯蔵。貯蔵デンプンに再合成されたり, マンナン(こんにゃく), セルロース(細胞壁)などとして貯蔵。さらに, 脂肪や, 窒素同化(下記 7)が関係してタンパク質として貯蔵される場合もある。

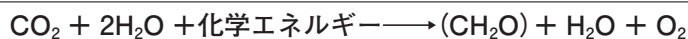
5 細菌の光合成

水素を取り出す物質が, 水ではなく硫化水素(H₂S)。緑色硫黄細菌, 紅色硫黄細菌など。



6 化学合成

光エネルギーではなく, 無機物を酸化したときの化学エネルギーを用いる。硝酸菌など。



7 窒素同化

●緑色植物の窒素同化

根から硝酸イオン, アンモニウムイオンを吸収。→硝酸イオンはアンモニウムイオンに硝酸還元される。→アンモニウムイオン+ケトグルタル酸でグルタミン酸(アミノ酸)が作られる。→グルタミン酸などのアミノ基(-NH₂)は, アミノ基転移という反応で別の有機酸に移される。→各種アミノ酸ができる。→タンパク質, DNA など。

●窒素固定

窒素ガス(N₂)を直接アンモニウムイオンに変える。

根粒菌(マメ科植物の根に共生), アゾトバクター, クロストリジウム(土壌細菌)などが行う。

●脱窒

硝酸イオンなどをN₂に変えること。脱窒菌(土壌中や下水中)が行う。

確認問題演習

次の文を読んで、〔 〕にあてはまる言葉や数字を答えなさい。

- | | 解 答 |
|---|-----------------------|
| (1) 光合成と環境要因に関して、次の a～c に答えなさい。 | (1) |
| a 光合成速度と呼吸速度が等しいときの照度は何か。〔1〕 | ① 光補償点 |
| b 光飽和点以前では、光合成速度の限定要因は何か。〔2〕 | ② 光の強さ(照度) |
| c 強光下、低温時での光合成速度の限定要因は何か。〔3〕 | ③ 温度 |
| (2) 光エネルギーをとらえるしくみに関して、次の a～c に答えなさい。 | (2) |
| a クロロフィル a は何色か。〔4〕 | ④ 青緑色 |
| b カロテンやキサントフィルなどの総称を何というか。〔5〕 | ⑤ カロテノイド |
| c 各波長の光が光合成に利用される度合いのグラフは何か。〔6〕 | ⑥ 作用スペクトル |
| (3) 光合成の過程に関して、次の a～l に答えなさい。 | (3) |
| a 葉緑体内部で、光合成色素を含む構造は何か。〔7〕 | ⑦ チラコイド |
| b 葉緑体内部で〔7〕以外の部分は何か。〔8〕 | ⑧ ストロマ |
| c 光合成色素に光が当たると、何が飛び出すか。〔9〕 | ⑨ 電子(e ⁻) |
| d 〔9〕で飛び出したものはどこへ送られるか。〔10〕 | ⑩ 電子伝達系 |
| e 〔10〕で ATP が合成されることを何というか。〔11〕 | ⑪ 光リン酸化 |
| f 〔8〕の場所で、CO ₂ が結合する物質は何か。〔12〕 | ⑫ リブローズビスリン酸 |
| g CO ₂ と〔12〕が結合して作られる物質は何か。〔13〕 | ⑬ PGA |
| h 〔8〕で行われる回路系は何か。〔14〕 | ⑭ カルビン・ベンソン回路 |
| i この回路系では、〔7〕で作られた物質の ATP が使われるが、もう 1 つ〔7〕で作られて使われる物質は何か。〔15〕 | ⑮ NADPH |
| j 〔12〕の物質は、炭素何個の物質か。〔16〕 | ⑯ 5 個 |
| k 〔13〕の物質は、炭素何個の物質か。〔17〕 | ⑰ 3 個 |
| l 光合成で発生する O ₂ は、CO ₂ 、H ₂ O のどちらに由来するか。〔18〕 | ⑱ H ₂ O |
| (4) 同化産物の輸送に関して、次の a～c に答えなさい。 | (4) |
| a 同化産物が植物体内を輸送されることを何というか。〔19〕 | ⑲ 転流 |
| b 〔19〕の輸送はどこを通るか。〔20〕 | ⑳ 篩管 |
| c 輸送されるときに物質は何か。〔21〕 | ㉑ スクロース |
| (5) 細菌の光合成・化学合成に関して、次の a～c に答えなさい。 | (5) |
| a 光合成細菌は、何から水素を得るか。〔22〕 | ㉒ 硫化水素 |
| b 光合成細菌がもつ光合成色素は何か。〔23〕 | ㉓ バクテリオクロロフィル |
| c 化学合成細菌の例を 1 つ答えよ。〔24〕 | ㉔ 硝酸菌 |
| (6) 窒素同化に関して、次の a～c に答えなさい。 | (6) |
| a 硝酸イオンをアンモニウムイオンに変えることは何か。〔25〕 | ㉕ 硝酸還元 |
| b アミノ基を別の有機酸に移すことは何か。〔26〕 | ㉖ アミノ基転移 |
| c 窒素固定は窒素ガスを何に変えるのか。〔27〕 | ㉗ アンモニウムイオン |

基本問題演習

1 光の強さ以外の環境条件を一定に保ち、植物の光合成速度(100 cm²の葉が、1時間当たりに光合成によって吸収するCO₂の量[mg])と光の強さとの関係を調べた。植物Pでは、光の強さに比例して光合成速度が増加し、最も強い光のときに12 mgCO₂ / (100 cm²・時)であった(右図)。一方、植物Qでは、2500ルクスまでは光の強さに比例して光合成速度が増加したが、それ以上に光を強くしても光合成速度は変化しなかった。また、表には両植物の光補償点と葉の呼吸速度(100 cm²の葉が、1時間当たりに呼吸によって放出するCO₂の量[mg])を示した。これらのデータを用いて、(1)~(4)の各問いに答えよ。ただし、呼吸速度は光の強さに関係なく一定とする。

植物Pにおける光の強さと光合成速度の関係

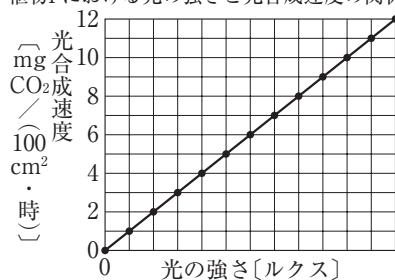


表 植物PとQの光補償点と呼吸速度

植物	光補償点 [ルクス]	呼吸速度 [mgCO ₂ / (100 cm ² ・時)]
P	2000	4.0
Q	500	1.5

ヒント

↔ 1

光補償点は、光合成速度と呼吸速度が等しいときの光の強さ(照度)である。

(4) アブシシン酸は、植物が水不足の状態になったとき、水不足を改善するように作用する。

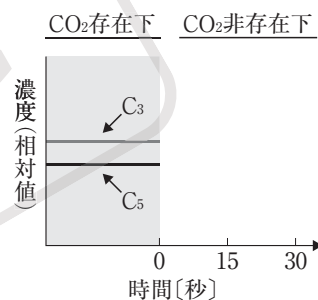
- (1) 図で、光の強さ(横軸)の1目盛りは何ルクスか。整数で答えよ。
- (2) 植物PとQに同じ強さの光を照射すると、ある強さのときに、両植物の見かけの光合成速度が等しくなる。このときの光の強さは何ルクスか、整数で答えよ。
- (3) 葉のCO₂収支を、「100 cm²の葉が、1日当たりに、光合成によって吸収するCO₂量から、呼吸によって放出するCO₂を差し引いた量[mg]」と定義する。植物PとQを、1日当たり12時間は一定の強さの光が照射され、12時間は暗黒に保たれる条件下においた。光の強さが2000ルクスのとき、植物Qの葉のCO₂収支はどれだけか。有効数字2桁で答えよ。また、植物Pの葉のCO₂収支がこれと同じ値にあるのは、光の強さが何ルクスのときか。整数で答えよ。
- (4) 植物が乾燥した環境におかれて、アブシシン酸という植物ホルモンが働き孔辺細胞の膨圧が下がったとき、光合成速度はどうなるか。次の(ア)~(ウ)から選べ。
(ア) 下がる。 (イ) 上がる。 (ウ) 変わらない。

応用問題演習

1 〈光合成の過程〉

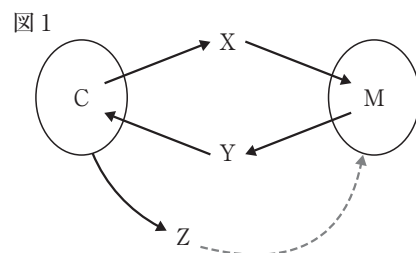
緑色植物の葉肉細胞には、葉緑体と呼ばれる光合成を行うための細胞小器官が存在する。葉緑体は二重膜で包まれた直径5～10 μmの粒状構造で、内部にはチラコイドと呼ばれる扁平な袋状の膜構造が発達しており^(a) ところどころ重なって層状になっている。チラコイド膜にはクロロフィル a をはじめ、^(b) 複数の光合成色素が存在しており、光エネルギーを効率よく吸収することができる。光合成の光化学反応は、このチラコイド膜で行われる。また、チラコイド膜以外の基質部分はストロマと呼ばれ、CO₂の固定反応が行われる。CO₂の固定反応には光化学反応を通じてチラコイド膜で作られた **ア** と、ATPのエネルギーが使われる。CO₂は葉の **イ** から吸収され、葉緑体で^(c) 炭素数が5の化合物(C₅)と結合して炭素数が6の化合物(C₆)となったのち、すぐに2つに分かれて炭素数が3の化合物(C₃)になる。その後、数種類の化合物を経て再び^(d) 炭素数が5の化合物(C₅)が再生される。この反応回路は、発見者にちなんでカルビン・ベンソン回路と呼ばれる。光合成により作られた有機物の一部は **ウ** として一時的に葉緑体に蓄えられるが、必要に応じてスクロースなどの糖に代謝され、 **エ** を通じて^(e) 葉から様々な器官に運ばれ利用される。

- (1) **ア**～**エ**に適切な語句を答えよ。
- (2) 下線部(a)の構造の名称を答えよ。
- (3) 下線部(b)の中でクロロフィル a とは異なる波長の光を吸収する補助色素の名称を2つ答えよ。
- (4) 下線部(c)の化合物の名称を答えよ。
- (5) 下線部(e)の糖などの有機物が運搬されることを何と呼ぶか答えよ。
- (6) カルビン・ベンソン回路で6分子のCO₂が固定されるとき、回路全体で使われるATPの分子数を答えよ。
- (7) 盛んに光合成をしている植物へのCO₂の提供を人為的に遮断した。その後の30秒間について、本文中の化合物(C₃とC₅)の相対的な濃度変化を示す線を描き、右のグラフを完成させよ。

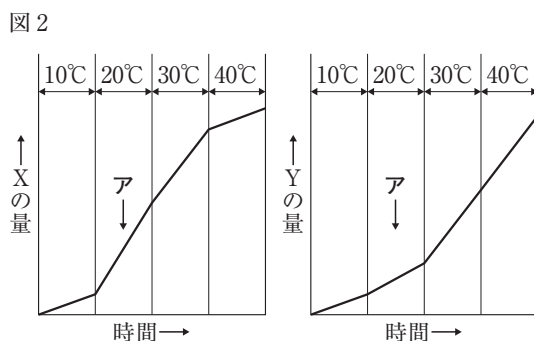


2 〈呼吸と光合成〉

生体物質は合成と分解により絶えず変化する。これには細胞内の代謝活性が関係している。特に、葉緑体とミトコンドリアは物質・エネルギー代謝に重要である。図1は光照射した植物の葉緑体(C)とミトコンドリア(M)での物質の出入りを模式的に示している。XとYは無機物、Zは有機物である。葉緑体はYを吸収してXを生じ、ミトコンドリアはXを吸収してYを生じる。葉緑体でつくられたZは **ア** という代謝経路を経て徐々に変化し、最後は **イ** という物質になってミトコンドリアの中に入って使われる。



- (1) **ア**, **イ**に適切な語句を答えよ。
- (2) 下線部のXとYは気体状の分子である。ここで、温度を10℃から40℃まで段階的に上げ、葉緑体から生じるXの量とミトコンドリアから生じるYの量を測定した。その結果を図2に示す。以下の問いに答えよ。
 - ① 発生するXとYのグラフの形状が異なっている理由を述べよ。
 - ② アの時点で光照射を止めた場合、XとYの発生はどうか答えよ。



③ 〈気孔開閉と光合成速度〉

気孔は、一對の向かい合った **ア** にはさまれた隙間で、陸上の植物では葉の裏面に多い。一般に、気孔は光合成が盛んに行われる晴天時の昼間に開いて、夜間に閉じる。気孔からの **イ** には、根からの養分の取り込みを促進し、葉から熱を逃がして日中の葉の温度の上昇を防ぐ役割がある。また、気孔から光合成に必要な二酸化炭素を取り込む。気孔は、**ア** の間にできる隙間の大きさを変えることによって、これらの働きを調節している。気孔の開閉は主に植物ホルモンにより調節されており、植物体内の **ウ** が不足するとアブシシン酸が合成される。乾燥地の植物では日中の気温が高いため、昼間に気孔を開くと **イ** によって **ウ** が失われる。(あ) バンケイソウ科 の中には、これを防ぐため夜間に気孔を開いて二酸化炭素を取り込む種類が知られている。

植物の個体の中で、(い) 光のよくあたる位置につく葉は陽葉、日陰の位置につく葉は陰葉と呼ばれる。陽葉では **エ** 組織が発達し、陰葉では散乱された光を利用するため葉面積が広い。このように個々の葉の構造には、葉のつく位置による違いが見られるが、いずれの葉でも、植物が取り込んだ二酸化炭素は葉緑体での光合成に使われる。葉緑体では、平たい袋状の構造の **オ** があり、これらが積み重なってグラナという構造を作っている。**オ** には光合成色素があり、光エネルギーを吸収する反応を行う。**オ** をとりまく液状部分を **カ** という。光合成色素の吸収スペクトルと光合成の作用スペクトルは似ていることが知られており、クロロフィルでは赤色と **キ** 色の光が光合成に利用されている。植物は光から吸収したエネルギーによって作られた ATP を使って二酸化炭素を有機物に変えている。植物にはこのような光合成を行う同化器官と、これを支える茎や根などの非同化器官がある。

- (1) **ア** ~ **キ** に適切な語句を答えよ。
- (2) 下線部(あ)のような植物の総称を答えよ。
- (3) 下線部(い)のような陽葉と陰葉を比べたときの光-光合成曲線の特徴について、(a)~(c)の値についてどちらの葉の値が大きいか述べよ。

(a) 光補償点 (b) 光飽和点 (c) 最大光合成速度

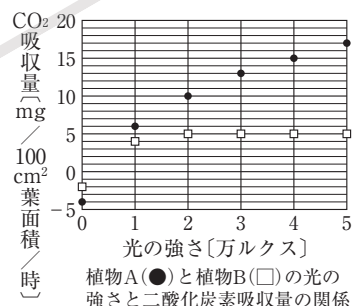
- (4) 植物Aと植物Bにおける光の強さと二酸化炭素吸収量の関係を測定したところ、図のような結果が得られた。①~④について答えよ。

① 光の強さが4万ルクスのときの植物Aの光合成速度は、植物Bの光合成速度の何倍かを答えよ。

② 3万ルクスの光を一定時間照射した場合、植物Aと植物Bの葉のグルコースの増加量が同じになるためには、植物Bは、植物Aの何倍の葉面積が必要か答えよ。なお、転流については考えないものとする。

③ 葉面積 10 cm² の植物Aに2万ルクスの光を20時間照射し、その後、一定時間暗所においたところ、面積 10 cm² の植物Bに2万ルクスの光を12時間照射した場合のグルコースの増加量と同じとなった。暗所においた時間を答えよ。なお、転流については考えないものとする。

④ 植物Bの植物個体の鉢植えを図におけるCO₂吸収量が0となる光の強さで、長時間育成させたところ、枯死した。その理由を述べよ。なお、温度、水、酸素、二酸化炭素、養分は最適な条件にあるものとし、すべての葉に同じ強さの光が照射されているものとする。

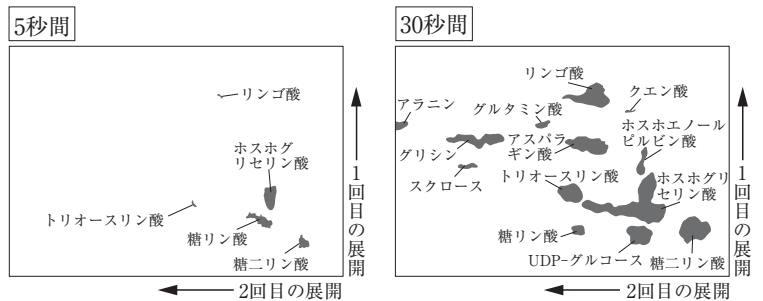


入 試 問 題 演 習

問題 1

カルビンらのグループは、 ^{14}C (炭素の放射性同位体)を用いて、単細胞緑藻のクロレラが取り込んだ CO_2 が、どのような経路で炭水化物に同化されるのかを調べた。彼らはクロレラの懸濁液に光を当てながら放射性的 $^{14}\text{CO}_2$ を与え、一定時間ごとに懸濁液をアルコール中に滴下して反応を停止した。クロレラに取り込まれた ^{14}C 成分は「ア」により

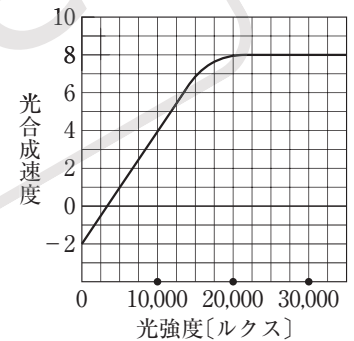
図1 クロレラの ^{14}C 標識化合物の時間変化



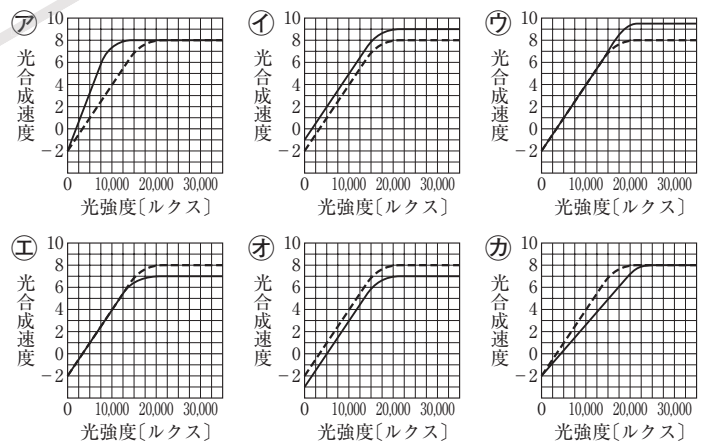
分離し、物質の移動度と放射活性を指標にして、標識された化合物とその合成量を調べた(図1)。その結果、 $^{14}\text{CO}_2$ は短時間(1~5秒間)では主に「イ」に取り込まれ、長時間ではトリオースリン酸や糖二リン酸にも取り込まれることを見出した。その後、コーチャックはサトウキビに放射性的 $^{14}\text{CO}_2$ を与えたところ、カルビンらの結果と異なり「イ」ではなく、まず最初にリンゴ酸やアスパラギン酸が標識されることを見出した。この結果をもとにハッチとスラックはさらに解析を進め、新たな炭酸同化経路を明らかにした。

- 「ア」には実験手法名が入る。最も適切な語句を答えよ。
- 「イ」に入る化合物名としてふさわしい名称を図1から選べ。
- 下線部に関して、このような炭酸固定経路をもつサトウキビなどの植物を一般に何と呼ぶか答えよ。また、この仕組みをもつことによる利点は何か答えよ。
- ある植物の光合成と光強度の関係を、以下のようにして調べた。植物の葉を1枚とり、温度を 25°C に保ちながら様々な光強度のもとで酸素発生量を測定した。横軸には測定時の葉面の光強度を、縦軸には葉面積 100 cm^2 、1時間当たりの酸素発生量(mg)をとって、図2のグラフを得た。

図2 ある植物の光強度と光合成速度の関係を示したグラフ



- 図2のグラフより光補償点と光飽和点を読み取り、単位とともに答えよ。小数点以下は四捨五入せよ。
- 図2の実験は大気中の CO_2 濃度で行われたものである。実験室の CO_2 濃度をさらに高めて実験を行ったところ、どのようなグラフが描けるであろうか、右の㊦~㊧のグラフから最も適切なものを選び、記号で答えよ。ただし、もとの図2のグラフは点線で表されている。



問題 2

植物の光合成は葉緑体と呼ばれる細胞小器官で行われる。光合成の反応は、光エネルギーを利用して ATP や還元型補酵素 NADPH を合成する過程と、^(ア) ATP や還元型補酵素 NADPH を利用して CO₂ から有機物を合成する過程の 2 つに分けられる。

- (1) 以下は下線部(ア)に関する文章である。[ア]～[ク]にあてはまる語句を語群から選び、文章を完成させよ。

葉緑体の [ア] 膜には [イ] と [ウ] という 2 種類の光化学反応系が存在する。このうち [イ] では [エ] が光エネルギーを吸収して活性型 [エ] となり、その過程で [オ] が分解されて酸素、電子、[カ] イオンが生じる。[イ] と [ウ] の間には電子伝達系が存在し、[オ] の分解によって生じた電子が電子伝達系を流れる間に、[カ] イオンが [キ] から [ア] 内部に運ばれ、[カ] イオンの濃度勾配が形成される。[カ] イオンは濃度勾配に従って [ア] 膜にある [ク] を通って [ア] の内部から [キ] 側へと移動する。このとき、[ク] によって ADP とリン酸から ATP が合成される。電子伝達系を流れた電子は、[ウ] で吸収された光エネルギーの働きによって、最終的に [カ] イオンや NADP と結合して還元型補酵素 (NADPH) を生じる。

<語群>

水素、水、二酸化炭素、窒素、酸素、水酸化物、ストロマ、クリステ、マトリックス、チラコイド、クロロフィル、キサントフィル、フィコシアニン、デンプン、グルタミン、クエン酸、光化学系 I、光化学系 II、ヒル反応、ATP 合成酵素、脱リン酸化酵素、カタラーゼ

- (2) 図 1 は下線部(イ)に関わる反応を示したものである。この反応の名称を答えよ。
 (3) 植物にさまざまな条件のもとで光合成を行わせ、図 1 に示した反応の中間生成物であるホスホグリセリン酸とリブローズビスリン酸の増減を観察した。図 2 はホスホグリセリン酸(実線)およびリブローズビスリン酸(点線)の変動を示している。図 1 と図 2 をもとに以下の問いに答えよ。

- ① 図 2 の A において、ホスホグリセリン酸が増加する一方でリブローズビスリン酸が減少するのはなぜか。その理由を述べよ。
 ② 図 2 の B において、リブローズビスリン酸が増加する一方でホスホグリセリン酸が減少するのはなぜか。その理由を述べよ。

- (4) 葉緑体の断面の模式図を描きたい。右の作成途中の図に適切な構造を描き加えて模式図を完成させよ。また、完成した模式図の中に、下線部(ア)が行われる場所を実線の矢印(→)で、下線部(イ)が行われる場所を点線の矢印(⇨)でそれぞれ示せ。

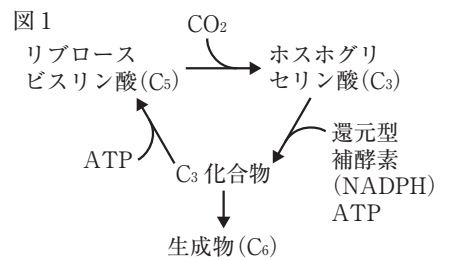


図 2

