

〔 1 〕 ニューロンに関する次の文章を読み、設問に答えなさい。(29点)

動物の神経系は、ニューロンという細胞を単位として構成されている。ニューロンは神経細胞体と多くの突起からできている。突起には、短く複雑に枝分れし、他のニューロンからの信号を受ける〔 1 〕と1本の長く伸び、信号を他の領域に伝える〔 2 〕がある。その信号の実体は、細胞膜に生じた電位変化であり〔 3 〕と呼ばれる。〔 3 〕を発生している状態を興奮という。一方、興奮していないときも細胞膜を境とする電位があり、これを〔 4 〕という。細胞内液と外液のイオン濃度には、種類によって大きな違いがある。細胞内にはカリウムイオンが多く、細胞外液にはナトリウムイオンが多い。細胞膜にはイオンに対し選択的透過性があり、興奮していないときは、カリウムイオンの透過性がとくに高いが、ナトリウムイオンはほとんど透過しない。この細胞内外のイオンの不均等分布と細胞膜の選択的透過性のために、細胞外に対し細胞内が〔 5 〕に分極している。ところが、いったん細胞が興奮すると、細胞膜のナトリウムイオンに対する透過性が高まり、細胞外から細胞内へナトリウムイオンが急激に流入し、細胞内外の電位差は一時的に逆転する。これが〔 3 〕である。興奮するたびに細胞内へ流入したナトリウムイオンは、ポンプによって細胞外へくみ出される。このポンプは〔 6 〕を分解することで得られるエネルギーを使って働く。

ニューロン上のある位置で興奮が起ると、上記のようにその部位の電位が逆転し、隣接する興奮していない部位との間に電流が流れる。その電流が刺激となって、隣接部位に新たに〔 3 〕が発生する。このようにして、次々に興奮していない部位に興奮が生じ、それが伝わっていく。電気刺激によって〔 3 〕を発生させるために必要な最小限の刺激強度を〔 7 〕という。〔 7 〕以下の刺激では〔 3 〕を発生させることはできないが、それ以上の刺激では、刺激強度に関わりなく常に一定の大きさの〔 3 〕が発生する。これを〔 8 〕の法則という。

カエルの坐骨神経を用いて、興奮伝導に関する実験をした。図1は実験装置を模式的に示したものである。神経のS1、S2は電気刺激位置を、また、Rは記録電極(a、b)による測定位置を示す。S1とS2の距離は20mmである。図2は

記録された電位をオシロスコープのブラウン管に表示したものである。上の記録波形はS1刺激によるもの、下の記録波形はS2刺激によるものを示している。その際、電気刺激は最大の応答が得られる強度で行っている。

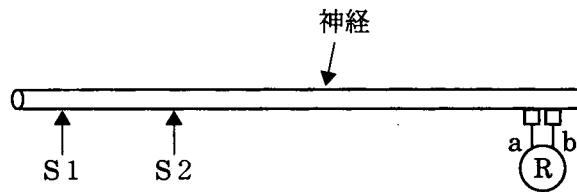


図 1

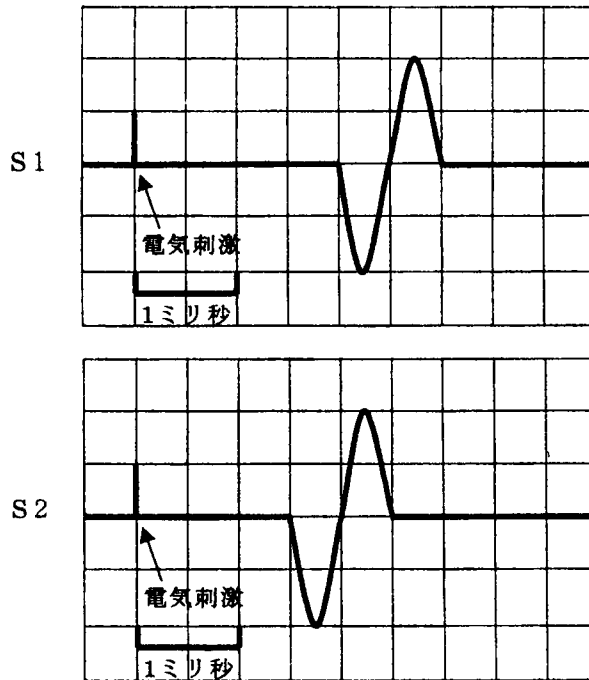


図 2

問 1. 上の文中の〔 1 〕～〔 8 〕に適切な語を記入しなさい。

問 2. 図 1 と図 2 を参考にして、この神経の興奮伝導速度を求めなさい。

問 3. S1, S2 を同時刺激したとき、記録される電位の形を図示しなさい。

問 4. 測定位置 R の 2 本の記録電極のうち、電気刺激位置から見て遠方にある電極(b)に接している部分の神経をピンセットでつぶし、その部分の興奮が起こらないようにした。この状態で、S2 を刺激したとき記録される電位の形を図示しなさい。

問 5. この実験で観察された電位は、刺激を弱めていくと、それに応じて振幅が小さくなっていった。これは〔 8 〕の法則に従わない。この理由を 40～80 字で説明しなさい。

〔2〕 タンパク質の合成と輸送に関する次の文章を読み、設問に答えなさい。(23点)

動物細胞は核と細胞質からなる。細胞質にはミトコンドリアなどの細胞小器官がある。ミトコンドリアのマトリックスに存在するタンパク質の大部分は、その遺伝情報が核のDNAに存在する。したがって、細胞質のリボソームによって翻訳されたミトコンドリア・マトリックスのタンパク質はミトコンドリアの2重の膜を通過してマトリックスへと輸送される必要がある。ミトコンドリアの膜には核膜孔のような大きな穴がなく、特別なタンパク質輸送装置がある。このタンパク質輸送装置には、タンパク質でできた穴があることが電子顕微鏡観察からわかっているが、その直径は20オングストローム程度しかない。

細胞分画操作によって、動物細胞からミトコンドリアを含む細胞質溶液を調製した。そこへ大腸菌を用いた遺伝子組換え技術でつくったミトコンドリア・マトリックスのタンパク質を加えると、そのタンパク質はミトコンドリアのマトリックスへ輸送された。ミトコンドリアのマトリックスへ輸送されたタンパク質を調べると長さが短くなっていて、このタンパク質の場合、末端から22個のアミノ酸が切り取られていた。最初から22個のアミノ酸を削除した短いタンパク質を大腸菌でつくらせて同じ実験を行うと、この短いタンパク質はミトコンドリア・マトリックスへ輸送されず^Aに、細胞質に残ったままであった。また、この末端の22個のアミノ酸を削除していないタンパク質を用いた実験において、このタンパク質に結合する低分子物質^Bをいっしょに加えておくとタンパク質はミトコンドリア・マトリックスへ輸送されず^Bに、細胞質に残ったままであった。

(注1) 1オングストロームは 10^{-10} メートル

(注2) 低分子物質とは分子量が1,000程度以下の分子やイオンのことをいう

問 1. 上の文章中で2重下線をつけた生物学用語に関する単語を次に示すように6個ずつ選んだが、それぞれのグループのなかで1つだけ不適切な単語がある。その不適切な単語を(1)~(6)の記号を用いて解答欄に記入しなさい。

細胞小器官

- | | | |
|----------|---------|---------|
| (1) 小胞体 | (2) 葉緑体 | (3) 液 胞 |
| (4) ゴルジ体 | (5) 色素体 | (6) 細胞壁 |

ミトコンドリア

- | | | |
|-----------|------------|------------|
| (1) 好気呼吸 | (2) 解糖系 | (3) クエン酸回路 |
| (4) 水素伝達系 | (5) ATP 合成 | (6) 酸 素 |

遺伝情報

- | | | |
|------------|-------------|---------------|
| (1) DNA | (2) 2重らせん構造 | (3) ワトソンとクリック |
| (4) 半保存的複製 | (5) チロシン | (6) 突然変異 |

翻 訳

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| (1) コドン | (2) 伝令 RNA | (3) 運搬 RNA |
| (4) DNA ポリメラーゼ | (5) アンチコドン | (6) リボソーム RNA |

タンパク質

- | | | |
|------------|----------|------------|
| (1) ペプチド結合 | (2) 立体構造 | (3) ヌクレオチド |
| (4) ポリペプチド | (5) C 末端 | (6) アミノ酸 |

問 2. 以下のタンパク質について述べた説明文のうち、正しいものを2つ選んで、(ア)~(キ)の記号を用いて解答欄に記入しなさい。

- (ア) 酵素のほとんどはタンパク質である。酵素は触媒として働くので反応の前後では変化しない。そのため壊れにくく、酵素反応は温度が高いほど反応速度が大きい。
- (イ) 酵素の基質特異性は酵素のタンパク質としての立体構造で決まる。極端な酸性やアルカリ性の溶液中ではタンパク質は立体構造を保てないので、すべての酵素の最適 pH は中性付近にある。
- (ウ) 低分子物質はそのままでは抗原になりにくいのが、適当なタンパク質に結合させて免疫すれば、特異的な抗体が得られることが多い。
- (エ) 酵素反応において、複数の酵素に共通して結合する補助的な役割をする無機分子を補酵素という。
- (オ) 透析膜を使うと低分子物質をタンパク質と分離することができ、この操作を透析という。透析膜は電荷のない低分子物質のみを通過させる。
- (カ) ATP 分解酵素は ATP を基質として加水分解する。ATP はアラニンに3つのリン酸が結合した低分子物質であって、リン酸が1つあるいは2つ切り離されるとき、エネルギーが放出される。
- (キ) 基質と形が似ているため、酵素反応を阻害する低分子物質を阻害物質と呼ぶ。特定の酵素の阻害物質は、病気を治すための薬として利用できる可能性がある。

問 3. 下線 A の実験結果からいえることは次のうちどれが最も適切か。(ア)～(オ)から 1 つを選んで解答欄に記号で記入しなさい。

- (ア) 末端の 22 個のアミノ酸を除いたために、タンパク質が不安定になって分解されてしまった。
- (イ) 末端の 22 個のアミノ酸を除いたために、タンパク質がミトコンドリアとは異なる細胞小器官に輸送されてしまった。
- (ウ) 末端の 22 個のアミノ酸にタンパク質が細胞質ですみやかに分解されてしまうための情報が含まれている。
- (エ) 末端の 22 個のアミノ酸にタンパク質がミトコンドリア・マトリックスへ輸送するための情報が含まれている。
- (オ) ミトコンドリアのタンパク質輸送装置はある一定の長さ以上のタンパク質でなければ輸送できない。

問 4. このタンパク質は低分子物質が結合すると変性しにくくなる。下線 B の実験結果から、このタンパク質がミトコンドリアの膜を通過するとき、その構造はどのような状態になっていると考えられるか。25 字以内で解答欄に記述しなさい。

〔 3 〕 動物の空間分布に関する以下の文章を読んで、設問に答えなさい。(25 点)

体長の等しい 6 匹のトゲウオを図 1 のような水槽に入れ、水槽の両端からエサのミジンコを与える実験を行った。水槽の真中に仕切り板を入れ、魚には仕切りの向こう側が見えないようにした。ただし、魚は仕切り板の下を潜って水槽内を自由に行き来できる。仕切りの同じ側にいる魚たちは、エサ獲得をめぐる競争し、それぞれが等しい確率でエサを獲得する。また、魚は時々仕切りの両側を行き来し、エサ獲得率の高い側に移動することが観察された。

まず、水槽の左端 A から 2、右端 B から 1 の比率でエサを与えることを繰り返して、魚の分布を記録した(実験 1)。その後、左右から与えるエサの比率を逆転させ、左端 A から 1、右端 B から 2 の比率でエサを与え、同様に魚の分布を記録した(実験 2)。

実験 1 では、平均して仕切りの左側に 4 匹、右側に 2 匹が分布した。しかし、エサの比率を逆転させた実験 2 では魚の分布が変わり、仕切りの左側に 2 匹、右側に 4 匹となった。

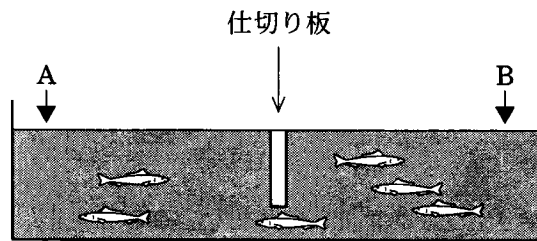


図 1 水槽の断面図 (A, B からエサを投与する)

問 1. 実験 2 において、魚が左側に n 匹、右側に $6 - n$ 匹いた場合、左側にいる魚 1 匹あたりの平均エサ獲得量 L と、右側にいる魚 1 匹あたりの平均エサ獲得量 R が n の値によってどう変わるかを、表 1 にまとめた。表 1 の空欄(ア)~(エ)に適切な値を記入しなさい。ただし、A と B で与えるエサの合計量を $6E$ とする。

問 2. 実験 2 で、魚の数が平均的に左側に 2 匹、右側に 4 匹となった状態が維持される理由を 50～120 字で解答欄に記入しなさい。ただし、左側の 2 匹のうち 1 匹が右側に移動した場合、また右側の 4 匹のうち 1 匹が左側に移動した場合、移動した魚のエサ獲得量がどう変化するかを表 1 から読み取って解答すること。

問 3. 左端 A から 1、右端 B から 3 の比率でエサを与え、水槽に魚を 2 匹だけ入れた場合、最終的に仕切りの左側と右側に何匹ずつ分布すると期待されるか。解答欄に数字を記入しなさい。

問 4. 別の動物の空間分布を調べると、トゲウオの実験で期待されるエサ密度と個体群密度の正比例関係(図 2 の破線)から大きくはずれた関係(図 2 の黒丸)が得られた。その理由として最も適切なものを下記の(a)～(f)から 2 つ選び、解答欄に記入しなさい。

- (a) この動物はエサの多い場所に群れる傾向がある。
- (b) この動物の記憶や学習能力が完全ではない。
- (c) この動物のエサ密度が場所によって大きく異なる。
- (d) この動物のエサ密度が季節によって大きく変わる。
- (e) この動物ではなわばりを持つ強い個体が弱い個体を追い払う性質がある。
- (f) この動物のエサを探索する能力が優れている。

表 1 : 左側に $2E$, 右側に $4E$ のエサを投与し, 左側に n 匹, 右側に $6 - n$ 匹の魚がいるときの左側の魚 1 匹あたりの平均エサ獲得量 L と右側の魚 1 匹あたりの平均エサ獲得量 R 。

n	0	1	2	3	4
L		(ア)	E	$\frac{2}{3}E$	(エ)
R	$\frac{2}{3}E$	(イ)	E	(ウ)	$2E$

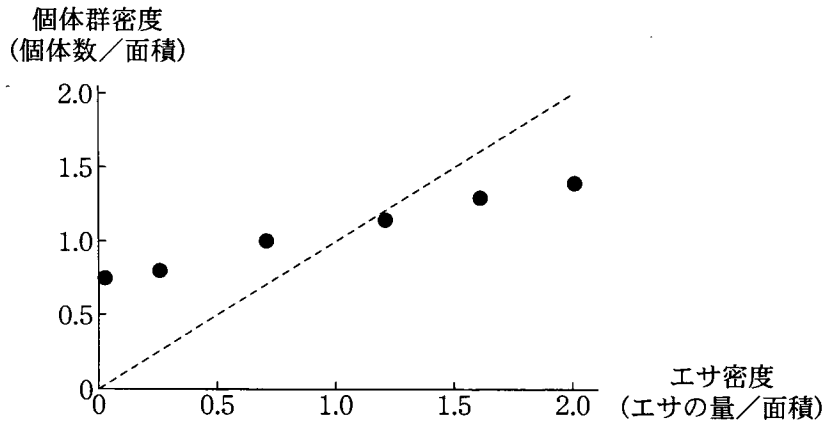


図 2 エサ密度とそのエサを食べる生物の個体群密度との関係(黒丸は実測値, 破線は個体群密度がエサ密度に比例するときに期待される関係)

〔4〕 アカパンカビに関する次の文章を読み、設問に答えなさい。(20点)

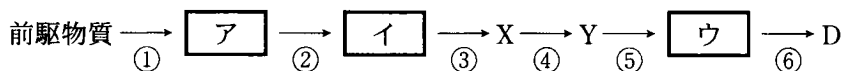
アカパンカビの野生株は水、糖、無機塩類、ビオチンだけからなる培地(最少培地)で生育できる。また、野生株にX線を当てることにより、最少培地では生育できないが特定の物質を加えると生育する突然変異株が分離されている。物質A、B、C、Dのいずれかを加えた最少培地での6種類の変異株1、2、3、4、5、6の生育は表1のようになった。物質Dは生育に必須で野生株では図のような代謝経路で合成される。物質A、B、Cはこの代謝経路の中間物質でア、イ、ウのどれかに入る。また、各変異株は、①～⑥いずれかの異なる段階を触媒する酵素を合成する遺伝子のうちの1つが欠損している。

表1

	最少培地に加えた物質				
	A	B	C	D	なし
変異株1	+	+	-	+	-
変異株2	-	+	-	+	-
変異株3	-	+	-	+	-
変異株4	+	+	+	+	-
変異株5	-	+	-	+	-
変異株6	-	-	-	+	-

+は生育したことを、
-は生育しなかったことを示す。

図



X、Yは未知の中間物質

表1において変異株2、3、5は、同じ栄養要求性のパターンを示している。そこで次のような実験を行った。物質Dを加えた最少培地で変異株2、3、5をそれぞれ生育させた。しばらくすると生育が停止した。その後、それぞれの培地を濾過(ろか)してカビを取り除いた濾液を得た。これらの濾液に変異株2、3、5、野生株を植えて生育を観察したところ、表2のようになった。ある酵素の合成が阻害されて代謝経路が遮断されると、その酵素の基質である中間物質が培地中に蓄積する。表2の結果は、そのような中間物質が培地中に蓄積していたことを示している。

表 2

	変異株 2	変異株 3	変異株 5	野生株
変異株 2 を生育させた後の培地	—	—	—	+
変異株 3 を生育させた後の培地	+	—	+	+
変異株 5 を生育させた後の培地	+	—	—	+

+は生育したことを，—は生育しなかったことを示す。

問 1. 表 1 の結果から，図のア，イ，ウには物質 A, B, C のどれが入ると考えられるか答えなさい。ア，イ，ウにはそれぞれ別の物質が入る。

問 2. 表 1 の結果から，変異株 1, 4, 6 は図の①, ②, ⑥のうちどの段階を触媒する酵素を合成する遺伝子に欠損があると考えられるか。①, ②, ⑥で答えなさい。

問 3. 表 2 の結果から，変異株 2, 3, 5 は図の③, ④, ⑤のうちどの段階を触媒する酵素を合成する遺伝子に欠損があると考えられるか。③, ④, ⑤で答えなさい。

問 4. このような実験結果からピードルとテイタムは，1 つの遺伝子が特定の 1 つの酵素の合成を支配し，その酵素の特異的な作用を介して生物の表現型を支配しているという考えを提唱した。この考え方によって説明できる遺伝現象は多い。次に示す植物の花の色もその一例である。ある植物の花の色は遺伝子型 A-B-では紫，A-bb ではピンク，aaB-および aabb では白である。A と a, B と b は対立遺伝子で A は a に対して，B は b に対して完全優性である。—は優性，劣性どちらの遺伝子でもよいことを示している。

ここで以下のように仮定する。① A と B は野生型の遺伝子であり，a と b は突然変異により酵素の合成能力を失った遺伝子である。② 花の色は花弁に蓄積される代謝産物の色であり，遺伝子型の違いによって色が変わるのは蓄積される代謝産物が異なるからである。以上の仮定のもとでは遺伝子 B のはたらきはどのようなものと考えられるか。50 字以内で答えなさい。

〔5〕 サツマイモとトウモロコシは夏期に栽培される重要な農作物であるが、葉の構造や光合成特性は両者で大きく異なることが知られている。サツマイモとトウモロコシに関する次の文章を読み、設問に答えなさい。(28点)

植物の葉の表皮には、二酸化炭素、酸素、水蒸気などの気体が入り出る〔1〕がある。一般に、表皮細胞には葉緑体が存在しないが、〔1〕を囲む〔2〕細胞には葉緑体が存在する。

サツマイモの葉において光合成の場となっている主な組織は葉肉組織である。サツマイモの葉肉組織は円柱状の細胞が表皮と垂直な方向に整然と並んだ〔3〕組織と不規則な形をした細胞があらく配列して細胞間げきの多い〔4〕組織に分化し、組織中に多数の葉緑体が存在する。トウモロコシでは〔3〕組織と〔4〕組織の明確な区別は認められない。

維管束は葉への水や無機養分の供給にかかわる〔5〕と光合成産物などの移動にかかわる〔6〕とからなっている。維管束のまわりは柔細胞である維管束鞘細胞に取り囲まれている。サツマイモでは維管束鞘細胞の中に葉緑体がみられないが、トウモロコシでは大きな葉緑体が多数みられる。

サツマイモの葉緑体は二層の包膜で囲まれており、内部には〔7〕と呼ばれる扁平な袋状の構造が見られる。〔7〕が何重にも重なった部分を〔8〕といい、〔7〕の間を取り囲む液状の部分を〔9〕という。トウモロコシの維管束鞘細胞に存在する葉緑体には〔8〕がない。〔7〕の膜には光合成色素(同化色素)である〔10〕が含まれ、光合成色素が吸収した光エネルギーによって活性化(励起)される。光エネルギーをもとに還元物質(NADPH)とATPが生成され、これらを利用して〔11〕回路により炭水化物が合成される。

図1と図2は、それぞれ光の強さおよび二酸化炭素濃度の変化にともなうサツマイモとトウモロコシの単位葉面積あたりの見かけの光合成速度(二酸化炭素の吸収速度)の変化を模式的に示したものである。図1のサツマイモとトウモロコシでは光の強さが L_1 のとき、図2のトウモロコシでは二酸化炭素濃度が C_1 のとき、図2のサツマイモでは二酸化炭素濃度が C_2 のとき、それぞれ見かけの光

合成速度が0(ゼロ)となる。これらの点(L_1 , C_1 , C_2)を〔 12 〕という。また、図1のサツマイモでは、 L_2 より強い光を照射しても見かけの光合成速度は増加しない。この状態を〔 13 〕という。

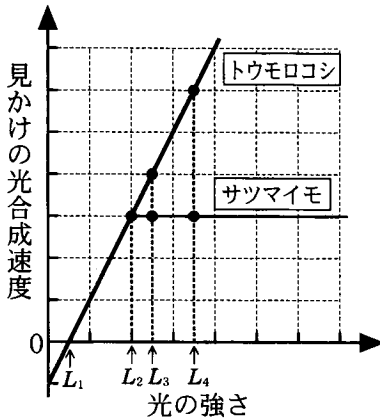


図1 光の強さと見かけの光合成速度との関係
二酸化炭素濃度は C_3 (図2参照)で測定した。

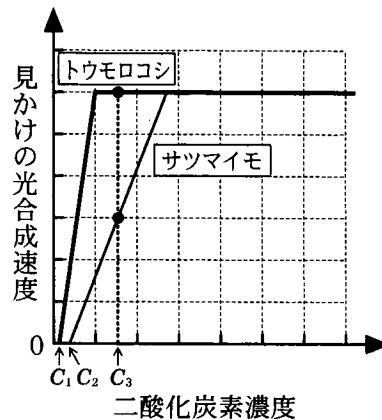


図2 二酸化炭素濃度と見かけの光合成速度との関係
光の強さは L_4 (図1参照)で測定した。

問 1. 文中の空欄〔 1 〕～〔 13 〕に最も適当な語句を解答欄に記入しなさい。

問 2. 空気の入った透明な密閉容器にサツマイモの葉(容器A), トウモロコシの葉(容器B), サツマイモとトウモロコシの両方の葉(容器C)を入れ、 L_4 の強さの光を照射して光合成を行わせた。時間経過とともに容器内の二酸化炭素濃度が低下したが、3時間後にはそれぞれの容器内の二酸化炭素濃度はそれぞれの値で一定となった。3時間後に各容器内の二酸化炭素濃度を比較するとどのようになっているか、解答例にしたがって「 $>$ 」と「 $=$ 」を使って答えなさい。

(解答例) 容器A内と容器B内の二酸化炭素濃度が同じで、容器C内の二酸化炭素濃度がそれよりも低い場合、容器A = 容器B $>$ 容器C

- 問 3. 遺伝子操作により葉の光合成による単位光エネルギーあたりの還元物質 (NADPH) と ATP の生産能力が 50 % に低下した形質転換サツマイモを作出した。形質転換サツマイモでは図 1 の光の強さと見かけの光合成速度との関係はどのように変化すると考えられるか、解答紙に図示しなさい。ただし、光合成速度は光の強さと二酸化炭素濃度のみに依存し、また、呼吸速度は光の強さによって変化しないものとする。
- 問 4. 図 2 において、サツマイモの葉に照射する光の強さを L_4 から L_3 に低下させると二酸化炭素濃度と見かけの光合成速度との関係はどのようになるか、右に示した図 3 の①～⑨の中で最も適切なものを一つ選びなさい。ただし、光合成速度は光の強さと二酸化炭素濃度のみに依存し、また、呼吸速度は光の強さや二酸化炭素濃度によって変化しないものとする。
- 問 5. 図 1 と図 2 から、サツマイモとトウモロコシは異なった二酸化炭素の固定回路を持つことが考えられる。どのような実験を行えばそれが確かめられるか、60 字～100 字で答えなさい。

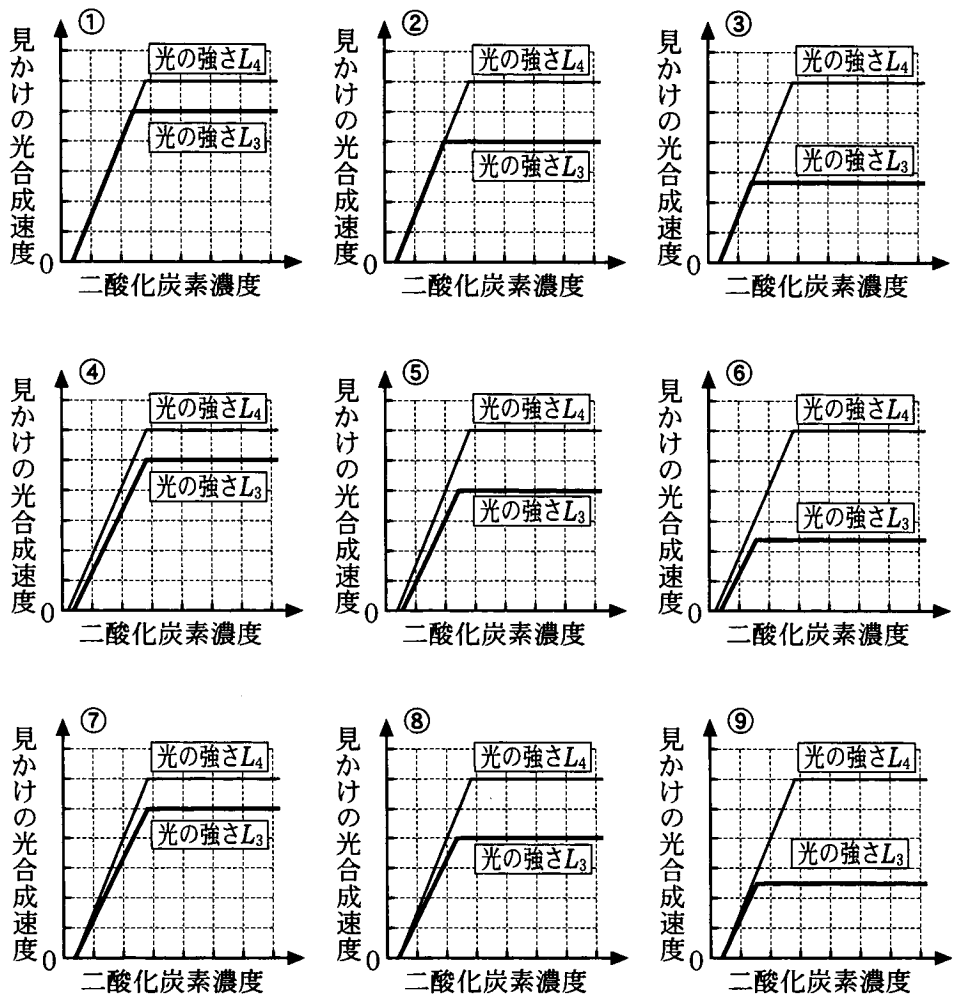


図 3