

Material 1

Lösung

- a) **Beschreiben Sie anhand des Experiments (Abbildung), was man unter der Tracer-Methode versteht.**

Grundsätzlich nutzt man bei der Tracer-Methode schwere, teils radioaktive Isotope, um Stoffwechselwege aufzuklären.

Durch den Einbau des schweren Sauerstoffisotops ^{18}O kann dessen Weg und Verbleib im Stoffwechsel nachvollzogen werden. RUBEN & KAMEN konnten so direkt beweisen, dass der bei der Fotosynthese gebildete Sauerstoff aus dem Wasser stammt (obere Bilderreihe). Wird der Sauerstoff im CO_2 auf diese Weise markiert (C^{18}O_2), wird Sauerstoff ohne Markierung (kein ^{18}O , sondern „normales“ ^{16}O) gebildet (untere Bilderreihe).

Anmerkung: Der schwere Sauerstoff tritt in diesem Fall teils in der gebildeten Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}^{18}\text{O}_6$), teils im gebildeten Wasser (H_2^{18}O) auf, was in der unteren Bilderreihe allerdings nicht dargestellt ist.

- b) **Erklären Sie, welche Aussagen auf Ihrem Arbeitsblatt auf die hier vorgestellten Experimente zurückgehen.**

Der (bei der lichtabhängigen Reaktion der Fotosynthese) gebildete Sauerstoff stammt aus (der Spaltung von) Wasser.

Material 2

Lösung

- a) Stellen Sie aus den angegebenen Ansätzen eine Versuchsreihe zusammen, mit der Sie den Ablauf des von Ihnen bearbeiteten Teilprozesses der Fotosynthese nachweisen. Verwenden Sie nur so viele Ansätze wie unbedingt nötig, bringen Sie diese in eine logische Abfolge und begründen Sie Ihre Auswahl.

Lösung für Bearbeiter von Thema 1	Lösung für Bearbeiter von Thema 2
<p>Ansatz 5: Thylakoide plus Licht reichen zur Bildung von O₂ und der Zwischenprodukte ATP und NADPH+H⁺.</p> <p>Ansatz 10: Ohne Belichtung funktioniert das nicht: Gegenprobe für den Faktor Licht.</p> <p><u>nicht zwingend notwendig:</u></p> <p>Ansatz 4/11: Vorhandensein von CO₂ hat keinen Einfluss auf diese Versuchsergebnisse.</p> <p>Ansatz 3/12: Vorhandensein von Stroma hat keinen Einfluss auf diese Versuchsergebnisse.</p>	<p>Ansatz 13: Mit CO₂ und den Zwischenprodukten der lichtabhängigen Reaktion (ATP und NADPH+H⁺) wird Glucose gebildet. Die Zwischenprodukte wurden „verbraucht“, d.h. liegen als ADP+P bzw. NADP⁺ vor.</p> <p>Ansatz 8: Ohne CO₂ funktioniert das nicht: Gegenprobe für den Faktor CO₂.</p> <p>Ansatz 9: Ohne die Zwischenprodukte der lichtabhängigen Reaktion funktioniert das nicht.</p> <p><u>nicht zwingend notwendig:</u></p> <p>Ansatz 2, 6 und 7: Vorhandensein von Licht hat keinen Einfluss auf diese Versuchsergebnisse.</p>

- b) Erklären Sie, welche Aussagen auf Ihrem Arbeitsblatt auf das Experiment von ARNON zurückgehen.

Lösung für Bearbeiter von Thema 1	Lösung für Bearbeiter von Thema 2
<p>Die lichtabhängige Reaktion trägt diesen Namen zurecht: Sie findet nur bei Belichtung statt. Aus Wasser wird Sauerstoff gebildet sowie der Energieüberträger ATP und das Reduktionsmittel NADPH+H⁺ aufgebaut. Der Vorgang läuft an der Thylakoidmembran ab.</p>	<p>Die lichtunabhängige Reaktion trägt diesen Namen zurecht: Licht ist nicht direkt notwendig. Es müssen jedoch die Zwischenprodukte aus der lichtabhängigen Reaktion (ATP und NADPH+H⁺) sowie CO₂ vorhanden sein. Der Vorgang findet im Stroma der Chloroplasten statt.</p>

Material 3

Lösung

- a) **Beschreiben Sie anhand der Abbildung die Ergebnisse von EMERSONS Experiment aus dem Jahr 1957.**

Bei getrennter Belichtung der Algen mit Licht der Wellenlänge $\lambda = 700 \text{ nm}$ bzw. $\lambda = 680 \text{ nm}$ liegt eine bestimmte (niedrige) Sauerstoffentwicklung vor. Erst bei gleichzeitiger Belichtung mit Licht beider Wellenlängen wird die Sauerstoffentwicklung (entsprechend der Fotosyntheseaktivität) maximal. Die dann erzielte Sauerstoffentwicklung ist höher als die Summe der jeweils einzeln gemessenen O_2 -Bildung. Dieser Steigerungseffekt wird EMERSON-Effekt genannt.

- b) **Formulieren Sie mögliche Fragestellungen, die dabei untersucht worden sein könnten.**

Mögliche Fragestellungen können lauten:

- Hat die Wellenlänge des eingestrahlt Lichts Einfluss auf die Fotosyntheseaktivität?
- Unterscheidet sich die Fotosyntheseaktivität von Algen bei Bestrahlung mit Licht der Wellenlänge $\lambda = 700 \text{ nm}$ bzw. $\lambda = 680 \text{ nm}$?
- Können Algen zum Erreichen der maximalen Fotosyntheseaktivität nacheinander mit Licht der Wellenlänge $\lambda = 700 \text{ nm}$ bzw. $\lambda = 680 \text{ nm}$ bestrahlt werden oder müssen beide Wellenlängen gleichzeitig einstrahlen?

Material 4

Lösung

- a) **Mit ihrem Experiment erbrachten JAGENDORF & URIBE den Beweis, dass die ATP-Bildung in Chloroplasten einem chemiosmotischen Mechanismus folgt. Erläutern Sie, was man darunter versteht.**

Durch die Vorgänge der lichtabhängigen Reaktion der Fotosynthese kommt es zur Anreicherung von Protonen (H^+ -Ionen) im Innenraum der Thylakoide. Das entspricht einem niedrigeren pH-Wert, also im sauren Bereich ($pH < 7$). Gegenüber dem Stroma, wo nun Protonen fehlen (leicht alkalisch, $pH > 7$), herrscht ein Protonengradient. Über die Thylakoidmembran liegt eine osmotische Kraft (und auch eine elektromotorische Kraft durch den Ladungsunterschied) an. Der Ausstrom von Protonen durch das Kanalprotein der ATP-Synthase zum Ausgleich des Konzentrationsgefälles liefert dieser die notwendige Energie, um die Bildung von ATP aus $ADP+P$ zu katalysieren.

Hintergrundinformation:

Die Hypothese zur chemiosmotischen Kopplung der ATP-Bildung stammte vom Briten PETER D. MITCHELL aus dem Jahr 1961 (Nobelpreis für Chemie 1978) und bezog sich auf die Vorgänge in Mitochondrien. Dort wurde der Ablauf mit einem entsprechenden Versuch mit Mitochondrien zuerst experimentell bestätigt. JAGENDORF & URIBE übertrugen dies auf den Ablauf in Chloroplasten und entwickelten den hier vorgestellten Versuch mit Thylakoiden.

- b) **Erklären Sie, welche Aussagen auf Ihrem Arbeitsblatt auf die Erkenntnisse aus diesem Experiment zurückgehen.**

„Dadurch entsteht ein Protonen-Konzentrationsgradient gegenüber dem Stroma. Dies führt zu einem Protonenausstrom durch das Kanalprotein ATP-Synthase. Dieses Enzym wandelt die Bewegungsenergie des Protonenstroms in chemische Energie um, indem ATP-Moleküle [...] gebildet werden.“

Material 5

Lösung

a) Beschreiben Sie kurz, was man allgemein unter der Tracer-Methode versteht.

Durch den Einbau des radioaktiven Kohlenstoffisotops ^{14}C kann dessen Weg und Verbleib im Stoffwechsel nachvollzogen werden. Grundsätzlich nutzt man bei der Tracer-Methode also schwere, teils radioaktive Isotope, um Stoffwechselwege aufzuklären.

b) Erläutern Sie anhand Abbildung 1, wie bei der Durchführung unterschiedliche Reaktionszeiten für den Einbau von ^{14}C erreicht werden.

Der gesamte Schlauch vom oberen Vorratsgefäß bis zum heißen Alkohol wird belichtet. Je nach Höhe der Injektionsstelle der markierten Lösung, steht das ^{14}C mehr oder weniger lang für die lichtunabhängige Reaktion der Fotosynthese zur Verfügung. Es gilt: Je höher die Injektionsstelle, desto länger die Verweildauer von ^{14}C bis zum Stopp der Reaktionsfolge im heißen Alkohol. Die Belichtung ist dennoch wichtig, damit zu jedem Zeitpunkt die Zwischenprodukte der lichtabhängigen Reaktion zur Verfügung stehen und somit die Dunkelreaktion kontinuierlich ablaufen kann.

c) Werten Sie die Autoradiogramme (Abbildung 2) aus.

Nach fünf Sekunden ist radioaktives ^{14}C vor allem in Phosphoglycerinsäure, PGS nachweisbar. Es ist das erste Folgeprodukt nach CO_2 -Fixierung. Nach 60 Sekunden tritt das Kohlenstoffisotop in vielen verschiedenen Verbindungen auf. Die gebildeten organischen Moleküle gehen also in viele Stoffwechselreaktionen ein. Die nach fünf Sekunden nachweisbaren Stoffe treten weiterhin auf. Dies deutet auf ein zyklisches Reaktionsgeschehen hin, kann hier aber nicht zwingend geschlussfolgert werden.

Hintergrundinformation:

CALVIN stellte durch den autoradiografischen Nachweis fest, dass das ^{14}C in vielen verschiedenen Stoffen auftritt (vgl. Abbildung 2B). Durch unterschiedlich lange Reaktionszeit nach Injektion der markierten Lösung konnte er die Reihenfolge der gebildeten Stoffe aufklären und schlussfolgerte, dass es sich um eine zyklische Reaktionsfolge handeln müsse.

Material 6

Lösung

- a) **Wiederholen Sie die Definition für Reduktion bzw. Oxidation hinsichtlich der Änderung der Elektronenanzahl. Begründen Sie anhand dieser Definition, dass die Teilreaktion von PGS zu PGA eine Reduktion ist.**

Reduktion = Aufnahme von Elektronen

Oxidation = Abgabe von Elektronen

Bei der Reaktion von PGS zu PGA gibt NADPH+H⁺ zwei Elektronen an das Edukt ab. Daher handelt es sich bei der Umwandlung von PGS zu PGA um eine Reduktion.

(Die zwei Protonen von NADPH+H⁺ bilden zusammen mit dem abgegebenen Sauerstoffatom der Carboxylgruppe formal ein Wassermolekül. Da NADPH+H⁺ wird zu NADP⁺ oxidiert.)

- b) **Erstellen Sie eine tabellarische Übersicht zur Definition von Reduktion bzw. Oxidation in Bezug auf Sauerstoff, Elektronen und die Oxidationszahl.**

Tabelle zur Übersicht der Redox-Definitionen

Bezugsgröße	Reduktion	Oxidation
Sauerstoff	Abgabe	Aufnahme
Elektronen	Aufnahme	Abgabe
Oxidationszahl	Verringerung	Erhöhung