

## Seminar 16. Fotosinteza

B. Mildner

### Rješenje zadaće 15.

|     |   |     |   |
|-----|---|-----|---|
| 1.  | B | 15. | C |
| 2.  | C | 16. | A |
| 3.  | B | 17. | D |
| 4.  | D | 18. | B |
| 5.  | A | 19. | B |
| 6.  | B | 20. | C |
| 7.  | A | 21. | B |
| 8.  | C | 22. | B |
| 9.  | D | 23. | A |
| 10. | A | 24. | B |
| 11. | A | 25. | C |
| 12. | C | 26. | A |
| 13. | B | 27. | C |
| 14. | C | 28. | D |

1. Endosimbiotska hipoteza koja se koristi za objašnjenje porijekla mitohondrija koristi se i za objašnjenje porijekla kloroplasta. Što se danas smatra odakle potječu kloroplasti?

- a) od fotosintetske bakterije kao što je bakterija u kojoj se karakterizirao fotosintetski reakcijski centar;
- b) cijanobakterija;
- c) bakterija koja može sintetizirati hem koji se može toliko promijeniti da može nastati klorofil.

2. Što od navedenog uobičajeno ne sudjeluje u kružnom toku elektrona?

- a) fotosustav I;
- b) fotosustav II;
- c) fotosintetski reakcijski centar.

3. Krumpiri koji su izloženi svjetlu katkada pozelene zbog prisutnosti klorofila. Koji je točan navod o zelenim krumpirima?

- a) Prisustvo klorofila u krumpirima je uobičajeno i takvi krumpiri nisu škodljivi.
- b) Krumpiri mogu pozeleniti kada se izlože svjetlosti. Svjetlost također stimulira biosintezu toksičnog alkaloida.
- c) Dodatno izlaganje krumpira sunčevu svjetlu može ukloniti štetni toksin solanin.

4. U fotosintezi viših biljaka glavni izvor elektrona koji se koriste za redukciju  $\text{NADP}^+$  je:

- a) fotosustav I;
- b) plastokinol;
- c) voda.

5. Kada se kloroplasti koji su adaptirani na tamu izlože nizu bljeskova svjetlosti količina kisika koja se dobije jednim bljeskom svjetlosti varira s periodičnosti od četiri. To je zbog toga što:

- a) činjenica je da su potrebna četiri fotona svjetlosti kako bi se transportirala dva elektrona kroz lanac za transport elektrona;
- b) potreba da se uklone četiri elektrona iz dvije molekule vode kako bi nastala molekula kisika.
- c) neki se elektroni moraju koristiti za tok elektrona fotosustava I.

6. Od kompleksa za prijenos elektrona na tilakoidnoj membrani, koji kompleks direktno ne pridonosi stvaranju gradijenta protona?

- a) fotosustav II;
- b) citokrom bf
- c) fotosustav I.

7. Iako kemiosmotska hipoteza objašnjava proces sinteze ATP u kloroplastima kao i u mitohondrijima, ipak postoje razlike između ova dva procesa. Što od navedenog nije različito u sintezi ATP u kloroplastima i mitohondrijima?

- a) smjer pumpanja protona;
- b) strana membrane na kojoj se nalazi katalitički dio ATP sintaze;
- c) veličina proton-motorne sile koja je potrebna za odvijanje sinteze ATP.

8. Samo je mali broj molekula klorofila, molekula koje su dio fotosintetskog sustava, uključen u fotokemijske reakcije reakcijskih centara. Što je uloga ostatka molekula klorofila?

- a) kako je klorofil lipid, ove molekule doprinose čvrstoći lipidnog dvosloja;
- b) služe kako bi prikupili svjetlo i usmjerili tu energiju u reakcijske centre;
- c) molekule klorofila su prisutne kako bi mogle zamijeniti molekule klorofila u reakcijskim centrima kada se ove istroše odnosno oštete.

9. Osim klorofila, fotosintetski sustavi imaju i pigmente, karotenoide. Što od navedenog nije funkcija karotenoidnih pigmenata?

- a) sudjeluju u fotosintetskim reakcijama i transportu elektrona;
- b) proširuju spektar svjetlosti koja se koristi;
- c) služe kao zaštita od štetnih fotokemijskih reakcija i reaktivnih kisikovih vrsta.

10. Organizacija membrane kloroplasta sugerira:

- a) „jedinstveni lanac za prijenos elektrona“ postoji kao funkcionalna jedinica;
- b) iako je to konceptijski prikladno, „jedinstveni lanac za prijenos elektrona“ ne postoji kao jedna funkcionalna jedinica;
- c) nema kontinuiteta između unutarnje vodene površine u tilakoidnim lamelama i ne-lamelarnih dijelova unutarnje membrane kloroplasta.

### Zadatak 1.

Koja je prednost da u kloroplastima postoje velike količine tilakoidnih membrana?

### Rješenje zadatka 1.

Reakcije svjetlosti odvijaju se na tilakoidnim membranama. Ako se poveća površina membrana povećava se i broj mjesta na kojima se odvija sinteza ATP odnosno NADPH.

### Zadatak 2.

Fotosustav I proizvodi snažan reducens, dok fotosustav II proizvodi snažan oksidans. Identificirajte reducens i oksidans i opišite ukratko kako nastaju.

### Rješenje zadatka 2.

Fotosustav I aktivira feredoksin reduktazu koja reducira  $\text{NADP}^+$  u  $\text{NADPH}$ , reducirajući reagens svih biosintetskih reakcija.

Fotosustav II aktivira kompleks mangana, oksidans koji može oksidirati vodu te osloboditi elektrone potrebne za fotosintezu kao i protone potrebne za stvaranje gradijenta protona pomoću kojeg se reducira  $\text{NADP}^+$  i nastaje  $\text{O}_2$ .

### Zadatak 3.

Koja je struktura mitohondrija slična strukturi tilakoidnih membrana?

### Rješenje zadatka 3.

Kriste.

### Zadatak 4.

Usporedite oksidacijsku fosforilaciju i fotosintezu.

#### Rješenje zadatka 4.

U eukariotskim stanicama oba procesa se odvijaju u specijaliziranim organelama. Oba procesa ovise o elektronima velike energije kako bi nastao ATP.

U oksidacijskoj fosforilaciji elektroni velike energije potječu od goriva (metabolita hrane) i djeluju kao reducirajuća snaga u obliku NADH.

U fotosintezi elektroni velike energije nastaju reakcijama svjetlosti, a prenose se dalje u obliku NADPH.

Oba procesa koriste redoks reakcije kako bi nastao gradijent protona.

Vrlo slični enzimi u oba procesa koriste gradijent protona za sintezu ATP.

U oba sustava, prijenos elektrona vrši se na membranama unutar organela.

#### Zadatak 5.

Odakle potječu protoni koji doprinose nastanku pH gradijenta u kloroplastima?



### Rješenje zadatka 5.

- Protoni koji se oslobađaju oksidacijom vode;
- Protoni koji se pumpaju u lumen pomoću citokrom bf kompleksa;
- Protoni koji se uklanjaju iz strome tijekom redukcije NADP<sup>+</sup> i plastokinona.

### Zadatak 6.

Objasnite kako kompleksi koji sakupljaju fotone povećavaju efikasnost fotosinteze.

### Rješenje zadatka 6.

Ovi kompleksi apsorbiraju više svjetlosti nego što bi to bilo moguće da postoji samo reakcijski centar. Kompleksi koji sakupljaju fotone usmjeravaju fotone (svjetlost) u reakcijska središta.

### Zadatak 7.

Koji je krajnji akceptor elektrona u fotosintezi? Koji je prvi donor elektrona elektrona u fotosintezi? Što pokreće tok elektrona između donora i akceptora?

### Rješenje zadatka 7.

NADP<sup>+</sup> je akceptor elektrona, a H<sub>2</sub>O je donor elektrona.  
Tok elektrona pokreće energija svjetlosti.

### Zadatak 8.

Kako bi se odvijala sinteza ATP, u kloroplastima je potreban veći pH gradijent kroz tilakoidnu membranu nego što je to potrebno kroz unutarnju mitohondrijsku membranu. Objasnite zašto postoji razlika u veličini pH gradijenta između ove dvije vrste membrana.

### Rješenje zadatka 8.

Gradijent naboja, dio proton motorne sile u mitohondrijima, u kloroplastima je neutraliziran zbog unosa  $Mg^{2+}$  iona u lumen tilakoidnih membrana, te je za sintezu ATP potreban veći pH gradijent nego što je to u mitohondrijima. U kloroplastima je energija koja se dobiva od električnog potencijala zanemariva.

### Zadatak 9.

Klorofil je hidrofobna molekula. Zašto je ovo svojstvo značajno za funkciju klorofila?

### Rješenje zadatka 9.

Klorofil se može ugraditi u hidrofobnu unutrašnjost tilakoidnih membrana.

### Zadatak 10.

U fotosustavu I, od svjetlosti valne duljine 700 nm, koliki je udjel energije koji se apsorbira kao energija elektrona?

Standardna promjena napona fotosustava I =  $\Delta E^{\circ} = -1,0 \text{ V}$ ;

Planckova konstanta,  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$

brzina svjetlosti,  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

1 einstein svjetlosti = Avogadrov broj fotona

Faradayeva konstanta,  $F = 96480 \text{ J mol}^{-1} \text{ V}^{-1}$ .

Rješenje zadatka 10.

Za 1 foton:

$$E = h \nu = h c / \lambda = 6,6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 / 700 \times 10^{-9} = 0,028 \times 10^{-17} \text{ J}$$

Za 1 mol fotona:

$$E = 0,028 \times 10^{-17} \times 6,0 \times 10^{23} = 169,7 \text{ kJ/einsten} \approx 170 \text{ kJ/einsten}$$

U standardnim uvjetima promjena napona zbog apsorpcije svjetlosti u fotosustavu I,  $\Delta E = -1 \text{ V}$ ;

$$\text{Kako je } \Delta G^{\circ} = -n F \Delta E = -1 \times 96,5 \times (-1) = 96,5 \text{ kJ}$$

Udio energije koja se dobije apsorpcijom fotona =  $96,5/170 = 56,8 \%$ .

Zadatak 11.

Izračunajte  $\Delta E^{\circ}$  i  $\Delta G^{\circ}$  za redukciju  $\text{NADP}^+$  pomoću feredoksina.

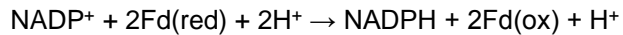
Standardni redukcijski potencijali ovih reakcija su:



Rješenje zadatka 11.



Reakcija redukcije  $\text{NADP}^+$  pomoću feredoksina:



$$\Delta E^{\circ} = -0,32 - (-0,43) = +0,11 \text{ V}$$

$$\Delta G^{\circ} = -n F \Delta E^{\circ} = -2 \times 96,5 \times 0,11 = -21,2 \text{ kJ/mol}$$

Zadatak 12.

Herbicid, diklorofenildimetil urea (DCMU) inhibira fotofosforilaciju i dobivanje  $\text{O}_2$ . Proces nastajanja  $\text{O}_2$  međutim nije inhibiran ako je prisutan artificalni akceptor elektrona kao što je fericijanid. Pretpostavite mjesto inhibicije DCMU.

Rješenje zadatka 12.

DCMU inhibira prijenos elektrona između fotosustava II i fotosustava I te neće nastajati kisik. O<sub>2</sub> će nastajati u prisutnosti DCMU ako se artifičijelni akceptor elektrona nalazi u sustavu jer će prihvaćati elektrone s Q.

Zadatak 13.

- a) Neke bakterije mogu apsorbirati svjetlost valne duljine od 1000 nm. Koja je energija mola fotona valne duljine 1000 nm?
- b) Koji je minimalni porast redoks potencijala koji može inducirati svjetlost valne duljine 1000 nm?
- c) Koji je minimalni broj 1000 nm fotona koji je potreban za sintezu ATP iz ADP i P<sub>i</sub>? Pretpostavite da je  $\Delta G = 50$  kJ/mol u reakciji fosforilacije.

Planckova konstanta =  $6,626 \times 10^{-34}$  J s

brzina svjetlosti =  $3 \times 10^8$  m s<sup>-1</sup>

Avogadrov broj =  $6 \times 10^{23}$ .

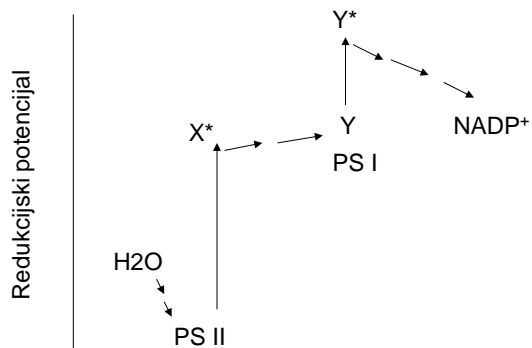


### Rješenje zadatka 13.

- a) Za jedan mol fotona:  
 $E = h \nu = \text{Avogadrov br.} \times h \times c/\lambda =$   
 $= 6 \times 10^{23} \times 6,6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 / (1000 \times 10^{-9}) = 118,8 \text{ kJ/einsten}$
- b)  $\Delta G = -n F \Delta E$   
 $-118,8 = -1 \times 96,5 \times \Delta E$   
 $\Delta E = 118,8/96,5 = 1,23 \text{ V}$
- c) 1 mol fotona daje  $118,8/50 = 2,4$  mol ATP, odnosno 0,42 mola fotona daju 1 mol ATP.  
 $0,42 \times 6 \times 10^{23} = 2,5 \times 10^{23}$  fotona može dovesti do sinteze 1 mola ATP

### Zadatak 14.

Objasnite defekt ili defekte u hipotetskoj shemi reakcija svjetlosti u fotosintezi:



### Rješenje zadatka 14.

Tok elektrona od PS II do PS I je "uzvodan", tj. endergon. Kako bi za ovaj tok elektrona bila potrebna energija (hidroliza ATP), onda fotosintetski put nebi imao biosintetku svrhu (što je primarna namjena procesa fotosinteze!).