

2015 A FÉNY NEMZETKÖZI ÉVE. FOTOSZINTÉZIS: MOLEKULÁRIS MECHANIZMUSOK, GLOBÁLIS HATÁSOK

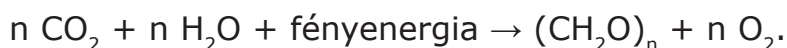
Garab Győző

MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Növénybiológiai Intézet, Szeged

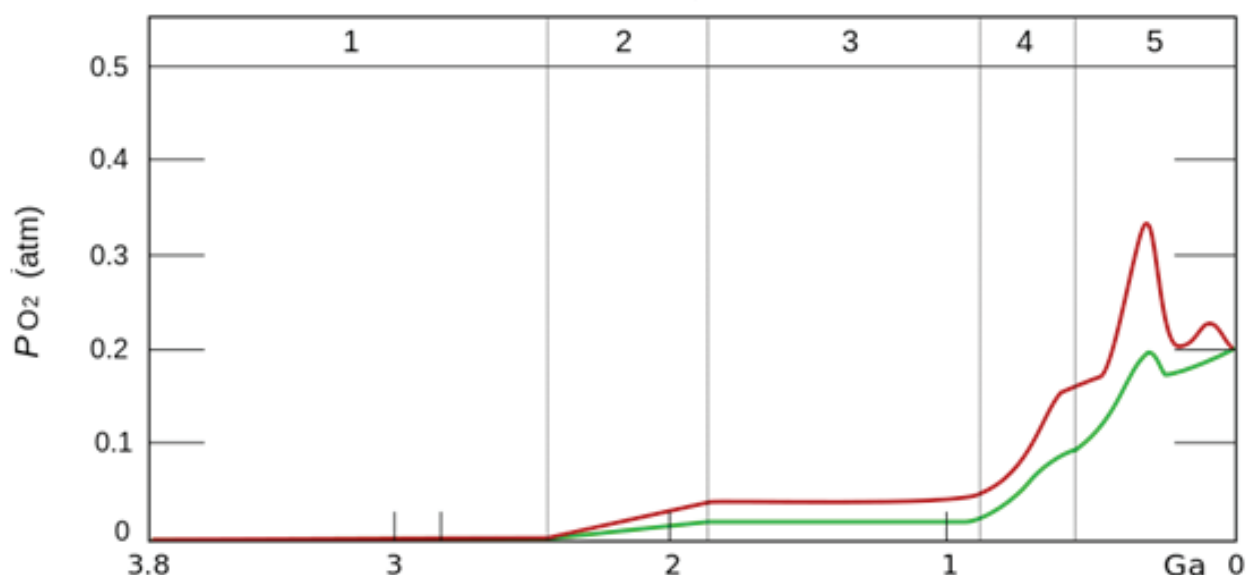
Összefoglalás. Az UNESCO, az Európai Fizikai Társulat kezdeményezésére, 2015-öt a Fény Événak választotta. A kezdeményezők rámutattak, hogy 2015-ben több olyan évforduló is van, amelyek közvetve vagy közvetlenül a fénnel kapcsolatosak: 1000 éve jelent meg az első optikai témájú könyv (Al-Hajszam: *De Aspectibus*, azaz „A látásról”), 100 éve publikálta Einstein általános relativitáselméletét, 50 éve fedezték föl a kozmikus háttérsugárzást. Mindazonáltal, ahogy azt a hivatalos honlap (<http://www.light2015.org>) „Why Light Matters” bevezető gondolatai érzékeltetik, a fény annyira alapvető és sokrétű szerepet játszik életünkben, ami önmagában indokolhatja, hogy egy adott évben figyelmünket a fényre fordítsuk. Szabad fordításban: „a napfénynek köszönhetjük a földi élet legalapvetőbb folyamatának létét, a fotoszintézist; az utóbbi évtizedek fotonika-alapú technológiai alapvetően megváltoztatták mindennapjainkat a kommunikációs eszközöktől és a kultúrától a gyógyításig”. Ebben a rövid összefoglalóban azt mutatom be, hogyan alakította át a fotoszintézis az utóbbi mintegy három milliárd évben a Föld felszínét, mik azok a molekuláris mechanizmusok, amelyek ma is biztosítják a földi élet fenntartását, és amelyek egyúttal bolygónk egészére hatással vannak. Röviden kitérek arra is, miként nyújthatnak támpontot a fotoszintézis-kutatással szerzett ismeretek a fizikai és molekuláris mechanizmusokról az ipari szoláris technológia területén. Kutatásaink során elsősorban a fény biológiai hatásaira vagyunk kíváncsiak – de egyúttal a fényt (s itt már elektromágneses sugárzást értünk alatta, a Röntgen sugártól a rádióhullámokig) mint spektroszkópai és szerkezetvizsgáló eszközt is használjuk.

Élet a Fényből: a Fotoszintézis Biogeokémiai Ciklusai

A kékmoszatok (cianobaktériumok), azaz az első oxigén-termelést végző fotoszintetikus szervezetek megjelenésével – 3-3,4 milliárd éve – megindult a Föld felszínének alapvető átalakulása. Mindez az alábbi, jól ismert egyszerű kémiai egyenlettel kifejezhető, valójában rendkívül összetett biológiai folyamatsornak köszönhető:



Ennek a folyamatnak köszönhetően alapvetően megváltozott bolygónk atmoszférája, amelyet korábban – a Föld létrejötte óta az első 1-1,5 milliárd évben – a napszél és geológiai folyamatok alakítottak. A második földi légkör mintegy 3 milliárd éve főként N_2 -ből és CO_2 -ból állt, molekuláris oxigént nem tartalmazott. Az oxigén jelenléte a mai földi atmoszférában lényegében kizárólag a fotoszintézisnek köszönhető.

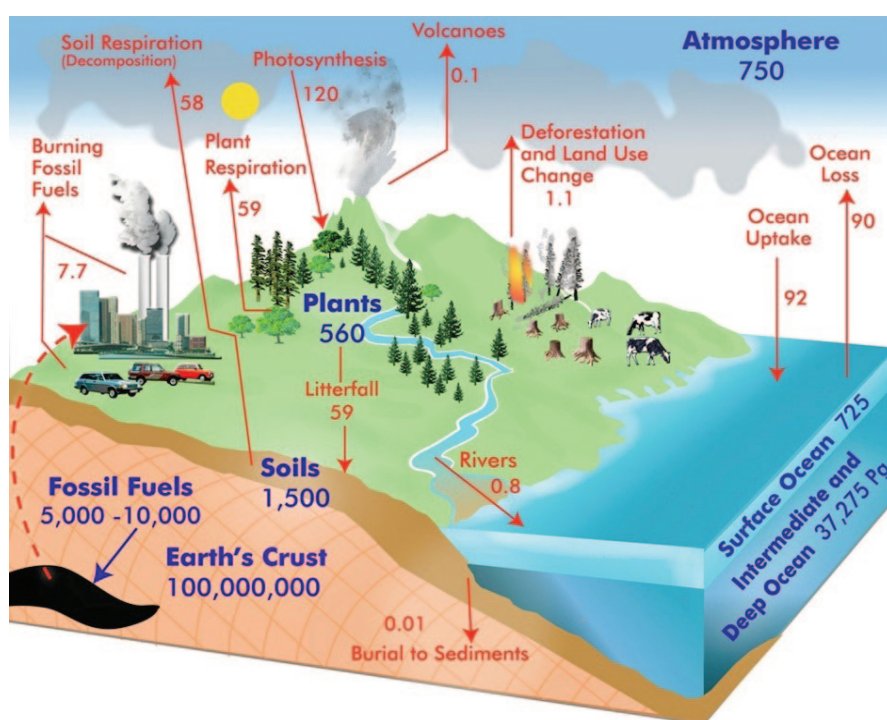


1. ábra. Az atmoszferikus O_2 parciális nyomásának (P_{O_2}) evolúciója az elmúlt 3,8 milliárd év (Ga) során. A becsült értékek intervalluma a piros és a zöld görbék között [1]. Az 1. szakaszban – bár a cianobaktériumok ~3 milliárd éve megjelentek – nem mutatható ki az oxigén jelenléte, a 2. szakasz során megjelennek az eukarióta algák, a 3. szakaszban – az ózonsztratoszfér kialakulását követően – válik lehetővé a szárazföld meghódítása, ennek köszönhető azután a magasabbrendű növények és általában a magasabbrendű élet megjelenése.

A fotoszintetikus szervezetek elterjedésével biogeokémiai ciklusok indultak el. Ezek révén kémiai elemek vagy vegyületek „passzálódnak át” a bioszférán és a Föld abiotikus rétegein (jellemzően a litoszférán, atmoszférán és hidroszférán). Az évmilliárdok alatt kialakult C, O_2 , H_2O ciklusokon túlmenően a fotoszintézis jelentősen beleavatkozik a P, N és a S körforgásába is. Néhány érdekes adatot érdemes megemlíteni. Különböző modellek alapján az oxigén körforgási ($t_{1/2}$) ideje az atmoszférában 3000 és 10 000 évre tehető. Ez egyúttal azt is jelzi, hogy az oxigénben dús atmoszféra léte rövid távon nincs veszélyben. Ugyanez, ti. a légkör összetételének stabilitása a CO_2 vonatkozásában már nem állítható. Az atmoszféra ezen összetevőjének körforgási ideje lényegesen rövidebb, mindössze néhány évnek (más számítások szerint 15-30 évnek) adódik, ami egyúttal mutatja a globális folyamatok érzékenységét.

Érdekes szemügyre venni a 2. ábra néhány adatát is, jóllehet a problémakör, nevezetesen a CO_2 szint emelkedése és következményei – ma már – közismertek.

Látható, hogy az évmilliók alatt elraktározott fosszilis tüzelőanyag (amelyet a fotoszintézis egyszer már kivont a légkörből) rendkívül gyors ütemben kerül vissza az atmoszférába – éves szinten, a szárazföldön és tengerekben megkötött mennyiség mintegy 3 %-a. Ennek egy része emeli a légköri széndioxid szintet, ami az ipari forradalom előtti 280 ppm-ről mára valamivel 400 ppm fölé emelkedett (<http://co2now.org/>). A helyzetet nyilvánvalóan súlyosbítja az erdőirtás, illetve a fotoszintetikus CO₂ fixálásra alkalmas területek csökkenése. Mindezen tényezők hatására a CO₂ szint növekménye messze meghaladja az utóbbi mintegy fél millió éves ingadozások nagyságát (a CO₂ szint 240 és 280 ppm között változott; NB. ezeket a változásokat jelentős, 5 °C körüli globális hőmérséklet-ingadozás kísérte).



2. ábra. A C globális körforgása. Kék színnel vannak feltüntetve a különböző rétegekben fellelhető C mennyiségek, pirossal az éves fluxus értékek. Valamennyi szám Pg-ban (Gt-ban) értendő (2010-es adatok). Forrás: http://www.nasa.gov/images/content/544800main_globe-CarbonCycle-hi.jpg.

Környezeti Hatások

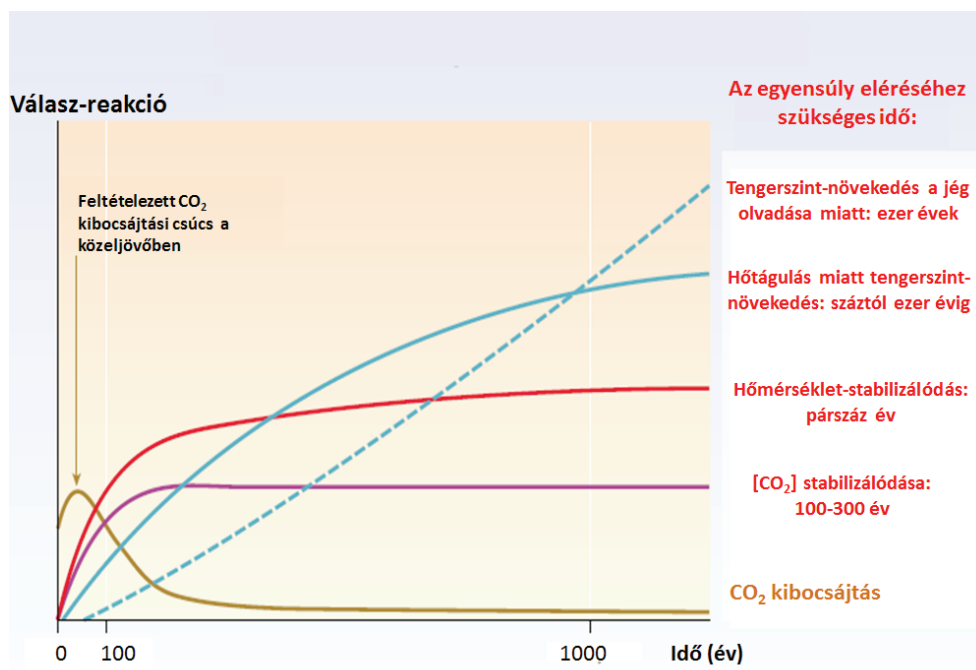
Ma már alig vitatható, hogy a CO₂ szint emelkedésének hatása nyilvánul meg a globális felmelegedésben. A mért 0,85 °C globális hőmérséklet emelkedést tehát javarészt antropogén eredetűnek tekinthetjük; újabb kutatások szerint erre vezethetők vissza az időjárás szélsőséges megnyilvánulásai is [2].

Általában kisebb figyelmet kap, ezért is érdemes hangsúlyozni, hogy a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának következményeként megjelenő CO₂

menyiségének egy jelentős részét, közel harmadát, az óceánok nyelik el. Ez csak látszólag és csak nagyon rövid távon képes enyhíteni a káros következményeket. Ez ugyan lassítja a globális felmelegedést, de lehetséges, hogy a globális felmelegedésnél is súlyosabb következményekkel jár, mivel csökkenti a tengerek pH-ját. Ennek mértékét ma, az ipari forradalom előtti időkhöz képest 0,1 pH értéknek adják meg, de modellszámítások szerint 2050-re (560 atmoszférikus ppm-mel számolva) a csökkenés meghaladhatja a 0,23 pH értéket, ami alapvetően fölboríthatja a tengeri ökoszisztémákat [3]. Ugyanakkor érdekes megjegyezni azt is, hogy a tengerek szervesanyag-termelése az összprodukció közel felét teszi ki, jóllehet a fotikus zónában a fitoplankton össztömege a szárazföldi szervezetek biomassza tömegének töredéke (1-2 Gt szemben a 600-1000 Gt-val). Ez a fitoplankton sokkal gyorsabb életciklusának köszönhető. A kovamoszatok pl. kevesebb mint 1 %-os biomassza részarányukkal mintegy 20 %-os globális CO₂ megkötést végeznek - úgy, hogy, szilikát-alapú sejtfaluknak köszönhetően a megkötött C-t az óceánok mélyére süllyeszti [4]. Ez érdekes CO₂-szekvesztrálási lehetőségeket vet föl.

A tengerek reakciója más szempontból is rendkívül kritikus. Azon túlmenően, hogy magasabb hőmérsékleten kevesebb CO₂ oldódik vízben, rendkívül nagy időállandókkal kell számolnunk. Ezt mutatja a 3. ábra, amely arra hívja fel a figyelmet, hogy a globális hatásokkal az utánunk jövő generációknak akkor is számolniuk kell, ha mi a C-alapú gazdaságról áttérünk egy közel zéró nettó CO₂ kibocsátást garantáló, környezetbarát gazdaságra.

Egy mértékadó közgazdászok vezetésével elkészült, sokoldalú analízist tartalmazó anyag, amely tekintetbe veszi a világgazdasági folyamatokat és a politikai egyeztetések „időállandóit”, arra a következtetésre jut, hogy – komoly erőfeszítések és jelentős világpolitikai egyeztetések árán – reális célként az 500-550 ppm körüli értéket lehet csak kitűzni [5]. (Ezt fogadta el a vezető politikusok legnagyobb hányada, köztük az EU vezetői.) Az ehhez tartozó hőmérsékletemelkedés mintegy 2 °C-ra becsülhető. A „csatolt” várható következmények ugyan nagyon súlyosak, de – vélhető elkerülhetetlenségük okán is – talán még kezelhetők: a tengerparti településeken 10 milliónyi embert fenyegetnek áradások, 40-60 milliónyi afrikai lakost pedig malária fertőzés, a fajok 15-40 %-át fenyegeti kihalás, és jelentős tengerszint emelkedés is megindulhat. A 3 °C-os globális hőmérséklet-emelkedéssel járó következmények, élén a vélhetőleg elkerülhetetlen mintegy 7 m-es tengerszint emelkedéssel, a fajok 20-50 %-ának lehetséges kihalásával, az Amazon esőerdő ökoszisztéma



3. ábra. A CO_2 szint időbeli változásaihoz tartozó „időállandók”. Jelen, $t=0$. Az ábra az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) hasonló ábrája alapján készült, amely Solomon és mtsai. [6] adatait használta fel.

összeomlásával elviselhetetlen következményekkel járna. Ezt, illetve ennek a kockázatát, tehát minden áron el kell kerülni.

Globális Energia-Adatok

Az emberiség (teljesítményegységre vetített) energiafelhasználása jelenleg mintegy 15-16 TW ($1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W} \approx 31,5 \text{ EJ/év}$, azaz $31,5 \times 10^{18} \text{ J/év}$). Ennek kb. négy-ötöde fosszilis tüzelőanyag (szén, földgáz, kőolaj) eredetű, és csak kisebb százaléka származik megújuló energiahordozókból. Érdemes megjegyezni, hogy a nukleáris energia részesedése is mindössze 6 %, ami egyúttal jelzi, hogy az hosszú távon nem jelent megoldást; a technológiákat más irányba kell fejleszteni. Minthogy 2030-ra a globális energiafelhasználás – a korábbiakban helytállónak bizonyult előrejelzések szerint – közel 30 TW-ra emelkedik, nyilvánvaló, hogy elodázhatatlan alternatív energiahordozók bekapcsolása az energiaellátásba és nem csak indokolt, hanem egyszerűen elengedhetetlen „tisztá” energiahordozók fejlesztése és kutatása.

A fotoszintézis átlagos teljesítménye 120 TW, a szélenergia nagyságát mintegy 180 TW-ra tehetjük, a geotermikus energia nagyságát 92 000 TW-ra becsülik; a szoláris energiáét pedig 178 000 TW-ra. A technikai lehetőségeket is számításba véve, növekvő jelentőségük sorrendjében a biomassa, a szél és a szoláris

energiahordozók minél gyorsabb ipari méretű fölhasználása oldhatja tehát meg a kérdést [7].

A Fotoszintézis Fizikai-Molekuláris Mechanizmusai

A fotoszintézis folyamatainak komplexitását legkönnyebben az alábbi blokkséma segítségével érzékeltethetjük. Ezen jól látható, hogy az egymást követő folyamatok egyre nagyobb egységek működését igénylik és egyre hosszabb idő alatt játszódnak le (4. ábra).

<u>Fotofizika</u> A fény abszorpciója. Molekulafizikai folyamatok. Energiaátadás Disszipáció	<u>Fotokémia</u> Töltésszétválasztás Redoxlánc Primer termékek: NADPH, ATP, O ₂	<u>Biokémia</u> 'Sötétreakciók': CO ₂ fixálás Jelátvitel Adaptációs folyamatok	<u>Élettan</u> Szintézis Önszerveződő egységek Regulációs folyamatok	<u>Ökológia</u> <u>Evolúció</u>
~ 10 ⁻¹⁵ – 10 ⁻⁹ s	~ 10 ⁻¹² – 10 ⁻² s	~ 10 ⁻³ – 10 ³ s	~ 10 ² – 10 ⁶ s	~ 10 ⁵ – 10 ¹⁷ s
Pigmentmolekulák Protein komplexek	Szuperkomplexek Tilakoidmembrán	Kloroplastisz	Sejt, Növény	Ökoszisztémák Bioszféra

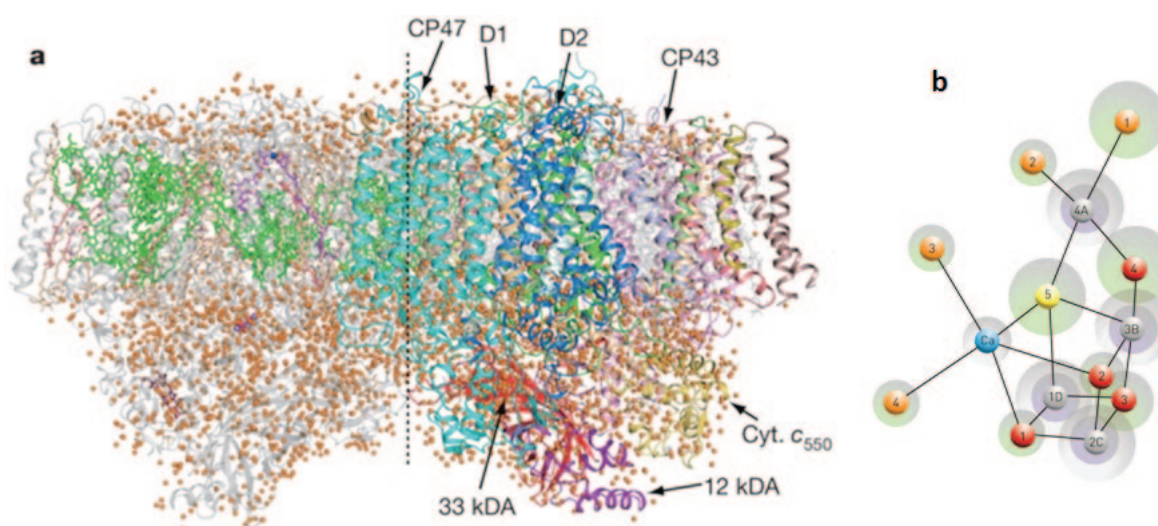
4. ábra. A fotoszintézis blokksémája. Az egyes (valamelyest önkényesen definiált) szakaszokban lejátszódó legfontosabb lépések és reakciók, a hozzá tartozó, hozzávetőlegesen megállapított időintervallumokkal és szerkezeti egységekkel.

A fotoszintézis a fény elnyelésével kezdődik az ún. fénybegyűjtő antenna komplexekben, amelyek révén a fotoszintetikus szervezetek biztosítani tudják a fotokémiai reakciócentrumaik hatékony működését. (A napfény fotonáram sűrűsége ugyanis alacsony, a fotokémiai reakciókat antenna pigmentek elnyelte fényenergiával kell táplálni.) Ezek a fotofizikai és fotokémiai folyamatok a fs-os – ms-os időskálán játszódnak le és optimális körülmények között közel 100 %-os kvantumhatásfokkal működnek, azaz szinte valamennyi beérkező foton gerjesztési energia formájában eléri a reakciócentrumot, ahol primer töltésszétválasztást generál. (NB. mindeközben a klorofill molekulák elnyelte kék fotonokból vörös fotonoknak megfelelő gerjesztési energia keletkezik, és a töltés-stabilizálódást kielégítendő, azaz a reverzibilitás valószínűségét csökkentendő, energiaveszteségek következnek be.) Mindazonáltal, egy több száz, esetenként több ezer (sőt a mélytengeri bakteriális antenna, a kloroszóma esetén mintegy 200 000 molekula) rendszerétől a közel egységnyi kvantumhatásfok rendkívül figyelemre méltó teljesítmény [8]. Ez nyilvánvalóan nagyon stabil önszerveződő mechanizmusokat tételez fel, amik önmagukban is érdekesek, és amik tanulmányozása, az ultragyors és stacionárius spektroszkópai eszközök széles

tárházának birtokában fotoszintetikus rendszerek esetén viszonylag könnyen követhető.

Az egységnyi kvantumhatásfok – extrém környezeti feltételek mellett, pl. túl magas fény, fotoszintetikusan nem hasznosítható mennyiségű gerjesztő energia esetén – károkat okozhatna a rendszernek, percek alatt fotooxidációhoz vezethetne. Ezt elkerülendő a fotoszintetikus szervezetek különböző, perces és lassabb időskálán működő egymásra épülő visszacsatolási mechanizmusokat léptetnek működésbe, amellyel biztonságos módon disszipálni tudják a felesleges gerjesztési energiát. Ez jelenleg is intenzíven kutatott területe a fotoszintézisnek [9]. Megjegyzendő, hogy a disszipáció mechanizmusa és hatása más biológiai rendszerekben is fontos – és ismereteim szerint – sokkal távolabb van a megértéstől, mint fotoszintetizáló szervezetekben.

Mintegy három évtizeddel a bakteriális reakciócentrum kristályszerkezetének meghatározását [10] követően – ami Nobel-díjjal is honorált alapvető áttörést jelentett a membránfehérjék területén – a legfontosabb antenna és reakciócentrum komplexek szerkezetét ismerjük. Ennek ellenére, az immár 1,95 Å-ös felbontás mellett szabadelektron lézerrel, funkcionális kristályon nyert szerkezet mellett [11] (és számos rendkívül technika-igényes biofizikai eszköz alkalmazásán túl) sem mondhatjuk el, hogy birtokában lennénk az oxigénfejlődés mechanizmusának (5. ábra).



5. ábra. A második fotokémiai rendszer (PSII) „core” superkomplexének szerkezete (a), benne a vízbontó Mn és Ca tartalmú enzim (b) [11-12].

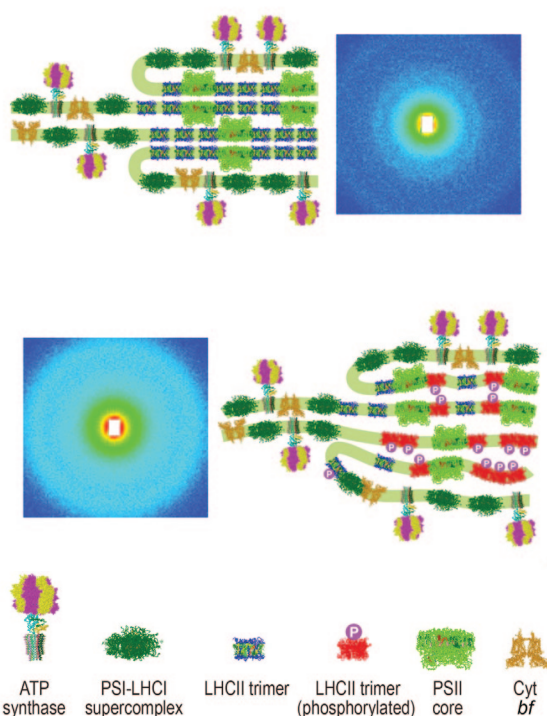
Az enzimatiskus vízbontás jelentősége többek közt azzal is indokolható, hogy a vizet fényenergiával oxigénre és protonokra hasítva eljuthatunk a tiszta

üzemanyaghoz, a szolárisan előállított H_2 -hez. Több kutatócsoport dolgozik stabil, biomimetikus hidrogéntermelésre tervezett mesterséges rendszereken – egyelőre mérsékelt sikerrel, ti. ami a rendszerek hatásfokát illeti. Megjegyzendő, hogy a fotobiológiailag előállított H_2 (és más üzemanyagok) – teljesen más mechanizmusra alapozva – algákkal is termeltethető(k); ezek hatásfokát biotechnológiai eszközökkel próbálják fokozni.

A kristályszerkezet ismerete természetesen nem garantálja a funkció megértését. Erre tipikus példa a növények fő fénybegyűjtő komplexének (LHCII) szerkezete. A megértéshez – többek között - ultragyors lézerspektroszkópai eszközök nélkülözhetetlenek. Nemzetközi együttműködésben Petar Lambrev kollégám közvetlen közreműködésével kutatócsoportom is részt vállalt ebben a munkában [13], abban a meggyőződésben, hogy a fotoszintézis ultragyors folyamatainak megismerését célzó munkánk a Szegeden épülő ELI-ALPS nagyberendezés mérőállomásain lesznek kiterjeszthetőek.

Az egyes komplexek szerkezetének ismerete ugyan nélkülözhetetlen, de számos kérdést nyitva hagy. Például, az LHCII esetén nemrégiben spektroszkópai eszközökkel kimutattuk, hogy az *in vivo* (tilakoidmembránon belüli) szerkezet és az *in vitro* (detergens-szolubilizált) szerkezet néhány fontos szerkezeti elemet tekintve jelentősen különbözik egymástól – és minden bizonnyal különbözik a kristályszerkezettől is [14]. Ennek azért van jelentősége, mert az LHCII számos regulációs folyamatban részt vesz, melynek során a szerkezet minden bizonnyal módosul. A membránfehérjék esetében vélhetőleg hasonló kisebb eltérések előfordulnak az *in vitro* és *in vivo* állapotok között. Fotoszintetikus rendszerek esetén a nagyszámú és szoros kölcsönhatásban lévő pigmentmolekula jelenlétének köszönhetően ezek a perturbációk, amik pl. az alkalmazott detergenssek jelenléte miatt lépnek föl, polarizációs és ultragyors spektroszkópai eszközökkel könnyen detektálhatók [14].

Az LHCII foszforilációja a tilakoid membránokban jelentős ultrastruktúrális változásokat is indukál. Ezek megbízható detektálása és a szerkezeti paraméterek változásának meghatározása élő sejteken nem-invazív fizikai módszerek alkalmazásával lehetséges. Munkatársaimmal kisszögű neutron-szórás és optikai spektroszkópia segítségével detektáltuk a multilamelláris tilakoidmembrán szerkezetének dinamikus változásait (6. ábra).



6. ábra. Élő *Chlamydomonas reinhardtii* zöldalga sejtek kináz-függő kromatikus adaptációja során bekövetkező szerkezetváltozásának – az ábrán is mutatott kisszögű neutronszerzés profilja és más spektroszkópiai eszközökkel kapott eredmények alapján felállított – membránszerkezet modellje [15].

A fenti példákkal azt is szerettem volna érzékelteni, hogy a fotoszintetikus folyamatok tanulmányozása nem csak önmagában érdekes (és fontos), hanem pl. ultragyors fotofizikai és fotokémiai folyamatok megértésében, a membránbiofizika, a molekuláris spektroszkópia, a szerkezetbiológia területén és a biológia sok más rokon-területén is sok izgalmas felfedezést hozott és ígér. Ebben az optikai spektroszkópia, a fény, mint eszköz nélkülözhetetlen „társunk” a kutatásban.

Irodalomjegyzék

- [1] Holland, H.D. (2006) The oxygenation of the atmosphere and oceans. *Phil Trans R Soc B*, **361**: 903–915.
- [2] Fischer, E.M., Knutti, R. (2015). Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate2617.
- [3] Orr, J.C., Fabry, V.J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S.C., Feely, R.A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R.M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R.G., Plattner, G.-K., Rodgers, K.B., Chris, S., Sarmiento, J.L., Schlitzer, R., Slater, R.D., Totterdell, I.J., Weirig, M.-F., Yamanaka, Y., Yool, A. (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, **437**: 681–686.
- [4] Falkowski, P.G., Raven, J.A. (2007) Aquatic Photosynthesis. (Princeton University Press).

- [5] Stern, N. (2007) The Economics of Climate Change: The Stern Review. (Cambridge University Press).
- [6] Solomon, S., Plattner, G.-A., Knutti, R., Friedlingstein, P. (2009) Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proc Natl Acad Sci USA*, **106**: 1704-1709.
- [7] Garab, G. (2009) Kimeríthetetlen energiaforrásunk, a napfény. *Magyar Kémikusok Lapja*, **LXIV/5**: 140-145.
- [8] Blankenship, R.E. (2014) Molecular Mechanisms of Photosynthesis. (2nd Edition, Wiley- Blackwell, United Kingdom).
- [9] Demmig-Adams, B., Adams, W., Garab G., Govindjee (szerk.) (2014) Non-Photochemical Quenching and Energy Dissipation in Plants, Algae and Cyanobacteria. *Advances in Photosynthesis and Respiration*, **40**: (Springer, Berlin, Heidelberg, New York).
- [10] Deisenhofer, J., Epp, O., Miki, K., Huber, R., Michel, H. (1984) X-ray structure analysis of a membrane protein complex. Electron density map at 3 Å resolution and a model of the chromophores of the photosynthetic reaction center from *Rhodospseudomonas viridis*. *J Mol Biol*, **180**: 385-398.
- [11] Suga, M., Akita, F., Hirata, K., Ueno, G., Murakami, H., Nakajima, Y., Shimizu, T., Yamashita, K., Yamamoto, M., Ago, H., Shen, J.-R. (2015) Native structure of photosystem II at 1.95 Å resolution viewed by femtosecond X-ray pulses. *Nature*, **517**: 99-105.
- [12] Umena, Y., Kawakami, K., Shen, J.-R. & Kamiya, N. (2011) Crystal structure of oxygen-evolving photosystem II at a resolution of 1.9 Å. *Nature*, **473**: 55-60.
- [13] Zhang, Z., Lambrev, P.H., Wells, K.L., Garab, G., Tan, H.-S. (2015) Direct observation of multistep energy transfer in LHCII with fifth-order 3D electronic spectroscopy. *Nature Communications* (nyomdában).
- [14] Akhtar, P., Dorogi, M., Pawlak, K., Kovács, L., Bóta, A., Kiss, T., Garab, G., Lambrev, P.H. (2015) Pigment interactions in light-harvesting complex II in different molecular environments. *J Biol Chem*, **290**: 4877-4886.
- [15] Nagy, G., Ünneper, R., Zsiros, O., Tokutsu, R., Takizawa, K., Porcar, L., Moyet, L., Petroutsos, D., Garab, G., Finazzi, G., Minagawa, J. (2014) Chloroplast remodeling during state transitions in *Chlamydomonas reinhardtii* as revealed by noninvasive techniques in vivo. *Proc Natl Acad Sci USA* **111**: 5042-5047.



Garab Győző az MTA SZBK tudományos tanácsadója, a Fotoszintetikus Membrán Munkacsoport vezetője. Munkacsoportjával a fotoszintetikus membránok és összetevőik szerkezetének minél részletesebb feltárására, szerkezeti dinamikájának és szabályozó funkcióinak megismerésére törekcszenek. Kutatásaik fókuszában álló témák: az általuk elsőként leírt termo-optikai (disszipáció-asszisztált) szerkezetváltozások pontos fizikai mechanizmusa és élettani szerepe; a munkacsoportban detektált nem-lamelláris lipid fázisok szerepe a tilakoid membránok felépítésében és szerkezeti flexibilitásában, valamint a multilamelláris membránrendszereken in vivo megfigyelt reverzibilis szerkezetváltozások természetének és fiziológiai

jelentőségének feltárása. Céljaik elérése érdekében különböző stacionárius és ultragyors spektroszkópiai módszereket és szerkezet-biológiai eszközöket használnak – kihasználva európai nagyberendezések és nemzetközi lézercentrumok technikai lehetőségeit is. Garab Győző több ciklusban szolgált, illetve szolgál a Nemzetközi Fotoszintézis Társaság (ISPR), a Magyar Biofizikai Társaság (MBFT), az Európai Tudományos Alap (ESF) Biophysics of Photosynthesis Programme és a Fotoszintézis – Élet a Fényből – Alapítvány vezetőségében.

PROLÓGUS

A FEBS fennállásának 50. évfordulójára az MBKE *ad hoc* bizottsága egy válogatást állított össze a FEBS Letters-ben és FEBS Journal-ben megjelent reprezentatív magyar cikkekből, amely a „*FEBS 50th Anniversary Virtual Issue: Hungary (July 2014)*” kiadványban jelent meg és a FEBS, az MBKE honlapon és az alábbi linken olvasható: <http://www.febs.org/our-publications/febs-50th-anniversary-virtual-issues/hungary/>.

Új rovatunkban egy-egy cikk szerzőit megkérjük, hogy írjanak a felfedezésük és a cikkük előzményeiről, utóéletéről, továbbá mit gondolnak a siker, a magas idézettség kulcstényezőjének.

A szerkesztőbizottság