

**Kémia az erdőben**  
**Növények biokémiája**

**Évfolyamdolgozat**

**Készítette: Farkas Adrienn**

**Szak: Kémia BSc**

**Beadás ideje: 2011.01.10.**

# Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	3
2.	Vízforgalom.....	3
2.1.	Növényi sejtek vízfelvétele.....	4
2.2.	Az ozmózisnyomás .....	4
2.3.	A növények vízfelvétele.....	5
2.4.	Vízáramlás a növényben.....	6
2.5.	Transzspiráció.....	7
3.	Fotoszintézis .....	8
3.1.	A klorofillok.....	8
3.2.	A karotinoidok .....	10
3.3.	A CO <sub>2</sub> fixálásának C <sub>3</sub> útja – A Calvin ciklus .....	11
4.	Nitrogén- és kénautotrófia .....	12
4.1.	A nitrogén körforgalma .....	13
4.2.	A nitrát asszimilációja.....	15
4.3.	A kén körforgalma .....	16
4.4.	A kénvegyületek asszimilációja .....	17
5.	A lipidanyagcsere.....	18
5.1.	Komplex acil-lipidek.....	18
5.2.	Növények lipidösszetétele.....	19
5.3.	Lipidek bioszintézise .....	20
6.	Összefoglalás .....	22
7.	Felhasznált Irodalom .....	23
8.	Ábrajegyzék .....	23
9.	Rövidítések jegyzéke.....	24

## **1. Bevezetés [1]**

Minden több milliárd évvel ezelőtt kezdődött. Élet viszont csak akkor keletkezett a Földön, amikor a kialakulásához szükséges feltételek, a víz, az ósóceán és a benne lezajló kémiai evolúció létrejöttek. A ma ismert fotoszintézis az energianyerés sokféle más átmeneti módja után kb. 3,5 milliárd éve alakult ki a kékeszöld moszatokban. Ezek voltak az első, már valódi fotoszintetizáló, oxigént termelő egysejtű élőlények. A növényvilág ókori evolúciójának csúcsa a karbonban volt.

A Föld északi részén a nyitvatermők legfejlettebb csoportja, az ősi fákból származó fenyők már a karbon közepén megjelentek, de virágkorukat csak a jura végén és a kréta elején élték. Ettől kezdve, valószínűleg a zárvatermő virágos növények globális eluralkodása miatt, hanyatlani kezdtek.

A déli tájakat a földtörténet folyamán először csak a nagyfokú alkalmazkodásra képes egy- és kétszikű zárvatermők tudták benépesíteni. Így váltak az utolsó, mintegy 130 millió év alatt a zárvatermő virágos növények Földünk jelenlegi, „utolsó” uralkodó növény csoportjává.

A harmadidőszak végén hazánk növényzete és klímája lassan a maihoz kezdett hasonlónak válni. A zárvatermő növényzet sajátos kialakulása felgyorsult. Ez számos különböző környezeti igényű zárvatermő csoport kialakulásához vezetett.

A növények életeinek okát kutató tudomány a növényélettan. Az életjelenségek anyagi okait, külső-belső feltételeit, törvényszerűségeit megfigyelések alapján határozzák meg. A növények szoros kapcsolatban vannak a környezetükkel. Innen veszik fel a szükséges tápanyagokat: a vizet, ásványisókat, valamint a CO<sub>2</sub>-ot is. A növényeknek az élő szervezetekre jellemző életjelenségeik is vannak, ilyen például az anyagcsere.

## **2. Vízforgalom [2,3,4,5]**

Az élet biofizikai és biokémiai folyamatok sorozata, amely csak vizes közegben valósulhat meg, ezért a növény testét felépítő kolloidok csak akkor tudnak működni, ha felületükön vízburok képződik, ha hidrogénkötések kapcsolják a mátrixhoz. A kolloidok

felületi töltése és a vizes mátrix az anyagcsere szempontjából döntő, mert a hidratáció elengedhetetlen mind az oldatban lévő molekulák, mind az enzimek és szubsztrátumok gyors reaktiválódásához. Ez a magyarázata annak, hogy a vízzel telt szövetek friss súlyának 80-90%-a víz.

## **2.1. Növényi sejtek vízfelvétele**

Az élő sejt legnagyobb része víz. Az egész növény hidrosztatikusan összefüggő rendszert alkot, mivel a sejtfalak is át vannak itatva vízzel. A primer (elsődleges) sejtfal térfogatának legalább 50%-a, az aktív plazma 95%-a, a vakuólum (sejtnedvüreg) 98%-a víz.

A víz a szállítóközeg a sejtről-sejtre és az egyik szervből a másikba történő anyagmozgásnál. A sejtnedvüregben lévő víz tartja fenn a sejt vízzel telítettségi állapotát (turgorát), a lágy szárú növényeknél az egész növény szilárdságát. A vakuólum víztartalom-változása az oka néhány növényi mozgásnak: a gázcsere nyílások (sztómák) nyitódásának és záródásának, a hüvelyeseknél a levelek éjszakai összecukódásának, a virágok hőmérséklettől és fénytől függő nyitódásának és csukódásának.

A vízmolekulákban az elektromos töltés asszimmetrikus, a molekuláknak állandó dipólusmomentumuk van. Ennek oka, hogy minden vízmolekulának két, nagy elektronsűrűségű régiója van, az egyik az oxigénatom körül (negatív régió), a másik a hidrogénatomok mellett (pozitív régió). A vízmolekula tehát poláros.

Vizes oldatokban az ionok körül orientált vízmolekulákból álló réteg képződik. A hidratáció mértéke függ az ion felületi töltésétől. A víz fizikai állapotát az oldott anyagok erősen befolyásolják. A víz strukturáltságát a kicsi ionok és a több vegyértékűek növelik, ezzel szemben a nagy egyértékű ionok a vízstruktúra „szétesését” indukálják és ezért növelik a víz fluiditását. A kationok és az anionok különbözően viselkednek a vízmolekulákkal szemben. Az anionok hidratáltsága jóval kisebb mértékű, mint a kationoké, az anionok mellett a vízmolekulák szabadabban rotálnak.

## **2.2. Az ozmózisnyomás**

Az olyan membránokat vagy hárttyákat, amelyeken az oldott anyagok és az oldószer nem egyenlő mértékben lépnek át, szemipermeabilisnak nevezzük. Gyakran a bejutás a membrán fizikai-kémiai tulajdonságaitól is függ.

Bennet-Clark szerint „az oldatok ozmózis nyomása azzal a hidrosztatikus túlnyomással egyenlő, amit az oldatokra kell gyakorolni, hogy az oldószer kémiai potenciálja az oldatban azonos legyen a tiszta oldószer kémiai potenciáljával, azonos hőmérsékleten”.

Ideális oldatok esetében tehát:

$$RT \ln a_w = - V_w \Pi,$$

$$\text{vagyis, } \Pi = - (RT \ln a_w) / V_w$$

ahol az  $a_w$  = a víz kémiai aktivitása,  $V_w$  a molnyi víz térfogata.

Híg oldatokban az oldott anyagok miatt a víz aktivitása csökken. Mivel a tiszta vízben az  $a_w = 1$ -gyel, ezért oldatokban az  $\ln a_w$  értéke negatív, az ozmózisnyomás pedig pozitív érték.

A növényi sejtben, ha a vízfelvétel lehetősége fennáll, jelentős hidrosztatikus nyomás alakul ki, mivel a növényi sejtet korlátozottan táguló sejtfa veszi körül. Ezt a hidrosztatikus nyomást, ami megakadályozza a további vízmozgást a sejtfaon és a membránon keresztül, turgornyomásnak nevezzük. Az ozmózisnyomás és a turgornyomás értékét is MPa-ban adjuk meg.

A vízpotenciál és az ozmotikus potenciál fogalmát Taylor és Slatyer 1967-ben vezették be a növényi szövetek vízviszonyainak leírására. E szerint a vízpotenciál ( $\Psi$ ) egyenlő a víz kémiai potenciálja és a tiszta víz kémiai potenciálja közötti különbséggel a rendszer bármely pontján, azonos hőmérsékleten és légköri nyomáson (0,1 MPa), osztva a víz parciális molális térfogatával ( $V_w$ ).

$$-\Psi = (\mu_w - \mu_w^0) / V_w$$

### **2.3. A növények vízfelvétele**

A növényben történő vízszállítás kétféle technikával vizsgálják: tanulmányozzák a levágott gyökérnek és a sértetlen, vagyis intakt növénynek a vízfelvételét és a vízleadását. Általában az a feltételezés, hogy a levágott gyökérben történő vízmozgás és az ép növényben történő vízmozgás azonosnak tekinthető, ha a növény nem párologtat, azaz transzspirál.

A levágott gyökérnél és a nem transzspiráló növénynél a vízmozgást a gyökérnyomás biztosítja. A gyökérnyomást a xilém-elemekben lévő nedv és a külső oldat ozmotikus nyomáskülönbsége hozza létre. A xilém vagy más néven farész, a két szállítószövet egyike a szövetes növényekben. Legfőbb feladata a víz szállítása, de más tápanyagokat is szállít. A gyökér vízfelvételének sebességét ( $J_v$ ) meghatározza a gyökér élő sejtjeinek vízvezető képessége ( $L_p$ ), a xilém-elemekben lévő nedv ozmotikus koncentrációja ( $C_s^x$ ) és a közeg koncentrációja közötti különbség ( $C_s^o$ ), valamint a szállított anyagok reflexiók együtthatója (koefficiense) ( $\sigma$ ). A képletben található „aktív vízfelvétel” ( $\Phi_w^o$ ) módszertani problémákból adódó feltételezés.

$$J_v = L_p \sigma RT (C_s^x - C_s^o) + \Phi_w^o$$

A nedvkiválasztás jelensége a növényvilágban nagyon elterjedt. A lágyszárú növények többsége, a hajtás eltávolítása után könnyezik. A gyökérnyak vágásfelületén kiválasztott nedv a farészből származik. A könnyezési nedvnek általában nagyon kicsi a koncentrációja, mégis a kiválasztott nedv felülmúlja a 0,1 MPa-t. A könnyezést nemcsak a közeg ozmotikus nyomása, hanem iontartalma és ionösszetétele is befolyásolja.

## 2.4. Vízáramlás a növényben

A víz a gyökérből a hajtásba a vízmozgással szembeni legkisebb ellenállást jelentő xilém-elemekben áramlik. A facsövek (tracheák) és a vízszállító sejtek (tracheidák) anatómiája biztosítja a nagy mennyiségű víz gyors mozgását. Főként a zárvatermőknél található facsövek, lényegében elhalt sejtekből kialakuló kapillárisok, amelyeknek harántfalai perforálódtak. A harasztoknál, a nyitvatermőknél megtalálható tracheák hosszúra megnyúlt sejtek, amelyek egymással a harántfalakon keresztül érintkeznek, ahol a másodlagos sejtfal eltűnik, az elsődleges sejtfal vékony és porózus. A trachea- és a tracheidastruktúra lehetővé teszi a gyors vízszállítást. Fás növényekben 16-45 m h<sup>-1</sup> (4-13 μm s<sup>-1</sup>) értékeket mértek 100-200 μm sugarú xilém-elemeknél. A vékonyabb (25-75 μm) sugarú xilém-elemekben 1-6 m h<sup>-1</sup> volt a szállítás sebessége.

A nyomásgradiens nagyságát a Poiseuille törvénnyel lehet leírni. Ha a vízszállítás sebességét 4 x 10<sup>-3</sup> m s<sup>-1</sup>-nek tételezzük fel, és a xilém rádiusza 40 μm, akkor

$$J_v = (\pi r^4 \Delta P) / (8 \eta \Delta x)$$

ahol  $r$  a xilém rádiusza,  $\eta$  a folyadék viszkozitása,  $\Delta P/\Delta x$  a nyomásgradiens.

Feltételezve, hogy nagyon alacsony koncentrációjú xilém-nedv viszkozitása a vízével azonos ( $10^{-3}$  Pa s), a nyomásgradiensnek  $0,02$  MPa  $m^{-1}$ -nek kell lennie. Ez a nyomásgradiens, ami egy ideális edényben a  $4$  mm  $s^{-1}$  sebességű vízmozgást létre tudja hozni. A valóságban azonban a xilém-elemek belső fala sima, az egyes trachea elemek között perforáció van, a vízszállító sejteknél pedig a pórusos lemez miatt nagyobb lesz az ellenállás a vízmozgással szemben az ideálisnál. A legmagasabb tülevelű fa (mammutfenyő) elérheti a  $100$  m-t is. Száz méter magas vízoszlopnak a gravitáció miatti ellenállása  $1$  MPa, a xilém-elemek súrlódási ellenállása  $2$  MPa, tehát a vízellátáshoz legalább  $3$  MPa értékű gradiensnek kell lennie a fatörzs alja és a legfelsőbb ágvégek között. A gyökérnyomás ehhez nem elégséges és transzspiráló növénynél a farész-nedv felhígulása miatt nem is jöhet számításba. A transzspiráló növény a gázcseré nyílásain keresztül állandóan vízmolekulákat juttat a környezetébe a levegő relatív páratartalmának függvényében. Mivel a növény a gyökércsúcsoktól a hajtáscsúcsokig hidrosztatikus egység, az elpárologtatott víz a sejtfalak felületéről, majd a levél alapszövetéből pótlódik, a sejtek vizet vesznek fel a levélerekből.

A növényekben egy teljesen összefüggő vízrendszer van a víz gőzállapotúvá válásától a talajig. A vízmolekulák kohéziós ereje és a xilém-elemek morfológiája lehetővé teszik, hogy a legmagasabb fák vízellátása is zavartalan legyen.

## **2.5. Transzspiráció**

A szabad vízfelület párologtatását evaporációnak, a növény vízleadását transzspirációnak nevezzük. A transzspiráció abban különbözik az evaporációtól, hogy a növénynél egy struktúrával rendelkező felületről párolog el a víz, amit a gázcserenyílások aktív működése is szabályoz. Kétféle transzspirációt különböztetünk meg: a kutikuláris és a sztómákon keresztül történő vízleadást. A kutikula egy viasszerű anyag által alkotott vízzáró réteg, ami véd a fizikai és kémiai behatások ellen. A kutikuláris transzspiráció az elsődleges bőrszövetek (epidermiszsejtek) felületét borító kutikulán keresztül történő vízleadás. Viszonylag alacsony érték a gázcserenyíláson keresztül történő vízleadáshoz képest.

### 3. Fotoszintézis [2,5,7,8,9]

Fotoszintézisen azoknak a folyamatoknak az összességét értjük, amelyeknek segítségével a növények a fényenergiát a CO<sub>2</sub>-nak szerves vegyületeiké való redukciójára használják fel. A fotoszintézis alapvető bioenergetikai jelentősége belátható az alábbi egyenletből:



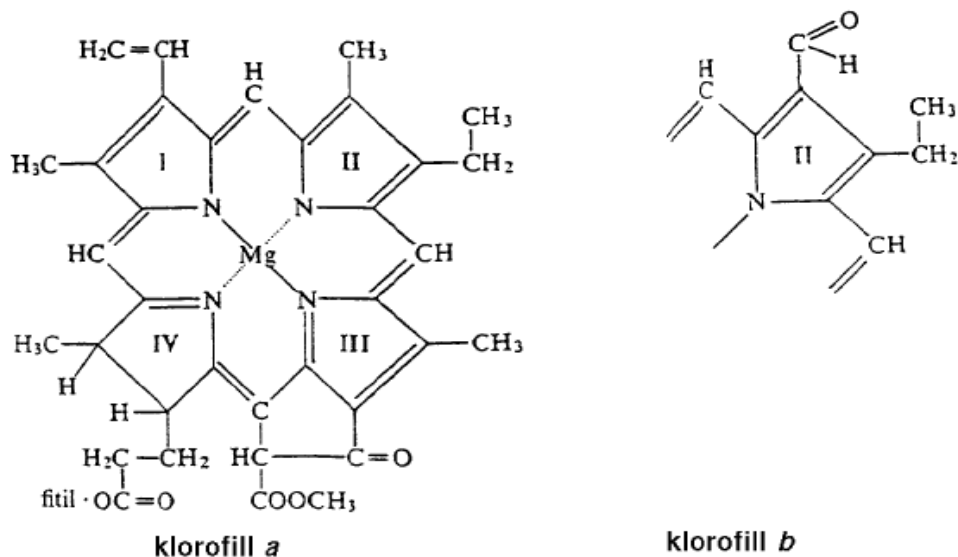
„A Föld atmoszféráját évente  $56 \cdot 10^{23}$  J energia éri el a napból. Ennek körülbelül fele elnyelődik az atmoszférában, másik fele a Föld felszínére jut. A felszínre érkező sugárzásnak szintén körülbelül fele esik olyan hullámhossztartományba, amely a fotoszintetikus folyamatokban hasznosulhat (ez kb.  $15 \cdot 10^{23}$  J/év). A fotoszintézis során mintegy  $2 \cdot 10^{11}$  tonna szerves anyag keletkezik évente, ami  $3 \cdot 10^{21}$  J energiának felel meg.”

Tekintettel arra, hogy a fotoszintézis igen különböző szervezetekben képes végbemenni, a konkrét reakcióutak is eltérőek lehetnek. Ezért, ha általános reakcióegyenlet formájában akarjuk a fotoszintézis lényegét megfogalmazni, akkor azt kell szem előtt tartanunk, hogy a fotoszintézis egy redoxfolyamat, melynek során valamilyen elektrondonorról úgy jut át az elektron egy akceptorra, hogy ahhoz a szükséges energiát a fény szolgáltatja.

#### 3.1. *A klorofillok*

A magasabb rendű növények kloroplasztiszaiból acetonnal könnyen kioldhatók a klorofillok, melyeket kromatográfiával két frakcióra lehet szétválasztani, klorofill-a-ra és klorofill-b-re.





**1. ábra: Klorofill-a és klorofill-b**

A magasabb rendű növények színanyaga az a- és b-klorofill. A klorofilok porfirinszármazékok. A porfirinek olyan ciklusos tetrapirrolmagot tartalmazó vegyületek, amelyekben a tetrapirrolgyűrű különböző helyeken és módon helyettesítve van.

A klorofilok négy pirrolgyűrűt tartalmaznak, melyek egymással porfirinvázat alkotnak. A porfirinyűrű közepén Mg-atom helyezkedik el. A négy pirrolgyűrű mellett egy öttagú ciklopentanon gyűrű is található a molekulában. A IV. pirrolgyűrűben a 7. sz. szénatomhoz kapcsolódó propionsavat ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ) egy 20 C-atomos alkohol, a fitol ( $\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}$ ) észteresíti. A klorofill-a és -b között csak annyi a különbség, hogy az utóbbinál a II. pirrolgyűrűben a 3. sz. C-atomhoz nem metil-, hanem formilcsoport kapcsolódik.

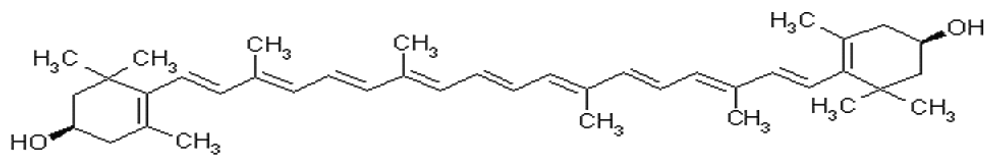
Az a-klorofill a magasabb rendű növények fő fotoszintetikus pigmentje, a kisebb mennyiségben jelenlévő b-klorofillal együtt. Ez utóbbi a zöldmoszatokban is általánosan elterjedt. A fotoszintetizáló baktériumok fotoszintetikus pigmentje egy további, az előbbiektől kémiai szerkezetében eltérő tetrapirrolszármazék, a bakterioklorofill.

Ezek a legismertebb fotoszintetikus pigmentek. A fotoszintézisben szerepet játszó festékek köre azonban ennél tágabb. Így a barnamoszatokban pl. c-klorofill fordul elő. A b- és c-klorofill különböző algákban az a-klorofill mellett pigmentként jelenik meg. Ezen klorofilok szerepe abban áll, hogy az a-klorofillon kívül ezek is a fotoszintézis számára hasznosítható fényenergiát nyelnek el, amelynek egy részét az a-klorofillnak adják át.

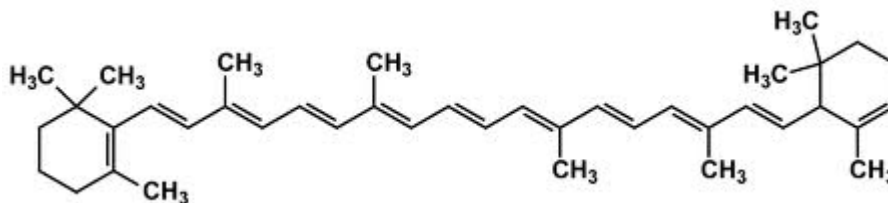
### 3.2. A karotinoidok

Minden fotoszintetizáló szervezetben megtalálható kísérőpigmentek. A karotinoidok ( $C_{40}H_{56}$ ) 40 C-atomos poliizoprének. A karotin narancssárga színű pigment, ami fontos szerepet játszik a fotoszintézisben.

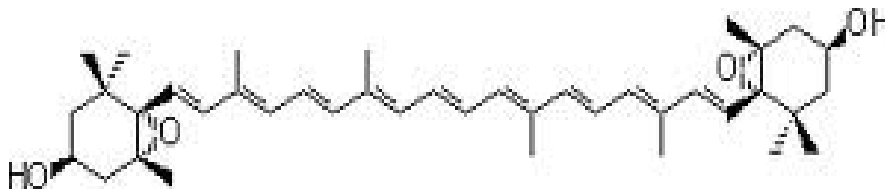
A karotinoidoknak két nagy csoportja van: az egyik a karotionok csoportja, amelyek szénhidrogének, a másik a xantofiloké, amelyek a karotinok oxigént is tartalmazó származékai. A karotinoidok többsége sárga színű, mivel a spektrum kék tartományában elnyelődnek (abszorbeálnak), de sok piros és narancsszínű karotinoid is ismeretes. Szerepük a fotoszintézisben elsősorban az elnyelt fényenergiának a klorofilok felé történő továbbításában van, ezen kívül közismert az a funkciójuk is, hogy védik a fotoszintetikus berendezést (apparátust) a fotooxidatív hatásoktól.



2. ábra: Lutein



3. ábra:  $\beta$ -karotin

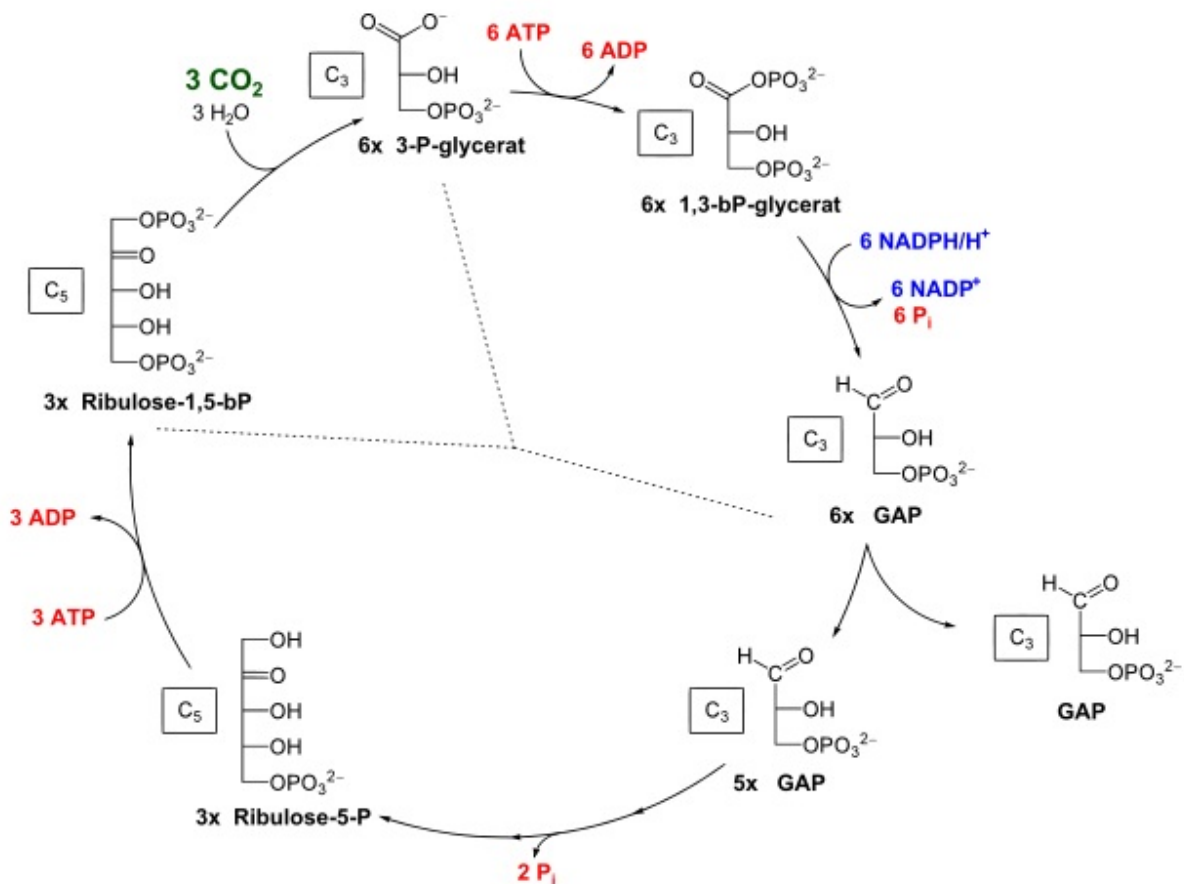


4. ábra: Violaxantin

### 3.3. A CO<sub>2</sub> fixálásának C<sub>3</sub> útja – A Calvin ciklus

Calvin és munkatársai a CO<sub>2</sub>-fixáló és –redukáló útját szénben jelölt hidrokarbonát (H<sup>14</sup>CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) felhasználásával *Chlorella pyrenoidosa* és *Scenedesmus obliquus* egysejtű zöldalgákon tisztázták. A módszer lényege abban állt, hogy nagy specifikus aktivitású H<sup>14</sup>CO<sub>3</sub><sup>-</sup>-at alkalmazva az algákat rövid idejű megvilágításnak tették ki, majd forró metanolban azonnal fixálták őket. A jelölt termékeket kioldották, majd kétdimenziós papírkromatografálás után audiodiagramot készítettek. Vizsgálták a jelölt termékek egyes szénatomjainak aktivitását is.

Egyperces expozíció után sokféle molekulában jelent meg a jelölt szén. A szaharóz, UDP-glukóz, glicerinsav-3-foszfát, foszfoenol-piruvát, több cukorfoszfát, karbonsavak és aminosavak jól jelölődtek. Az expozíciós idő rövidítésével csökkent a jelölt termékek száma, 5 s-os fotoszintézis után elsősorban a glicerinsav-3-foszfát és kis mértékben cukorfoszfátok, valamint foszfoenol-piruvát és az almasav jelölődött. Egészen rövid idejű megvilágítást alkalmazva sikerült kimutatni, hogy a fotoszintetikus CO<sub>2</sub>-fxáció első stabil terméke a glicerinsav-3-foszfát. A jelölt szén a karboxilcsoportban volt található.



5. ábra: Calvin-ciklus

Rövid időtartamú kísérletekben a foszfo-glicerinsav után a cukor-foszfátok tartalmazzák a legtöbb <sup>14</sup>C-t. A szedoheptulóz 7-szénatomos ketocukor jelölésének molekulán belüli eloszlása jellegzetes. Rövid ideig tartó expozíció esetén a 3., 4., és 5., C-atom jelölődik egyforma mértékben, a többi szénatom radioaktivitása igen alacsony.

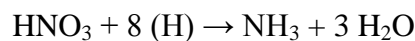
#### 4. Nitrogén- és kénautotrófia [2,5,10,11]

A nitrogén és a kén fontos szerepet játszik az élő szervezetek felépítésében. A nitrogén az aminosavak, fehérjék, hormonok és koenzimek fontos építőeleme. A kén a kéntartalmú aminosavakban, fehérjékben, egyes koenzimekben, valamint a szerves vegyületek szulfátésztereiben fordul elő.

Az élő szervezetekben található összes nitrogén és kén szerves eredetű. A természetben nagyrészt oxidált állapotban előforduló S- és N-vegyületek az autotróf élőlények jelentős energiafelhasználással redukálják és szerves vegyületekbe építik be. A

heterotróf szervezetek is ezeket a redukált N- és S-vegyületeket hasznosítják. A zöld növények, valamint az algák, a baktériumok és a gombák egy része, ha környezetükben redukált S- és N-vegyületek nem állnak rendelkezésre, teljesen autotrófok. A heterotróf élet megalapozása szempontjából a növényi szervezetek alapvető szerepet játszanak a szervetlen N- és S-vegyületek szervessé alakításában.

A nitrogén autotrófiát biztosító egyik biokémiai mechanizmus a nitrátredukció. A szervezet csak akkor tudja a nitrát nitrogénjét szerves formában beépíteni, ha az redukálva van. A nitrátredukció folyamatát általánosságban az alábbi egyenlet írja le:

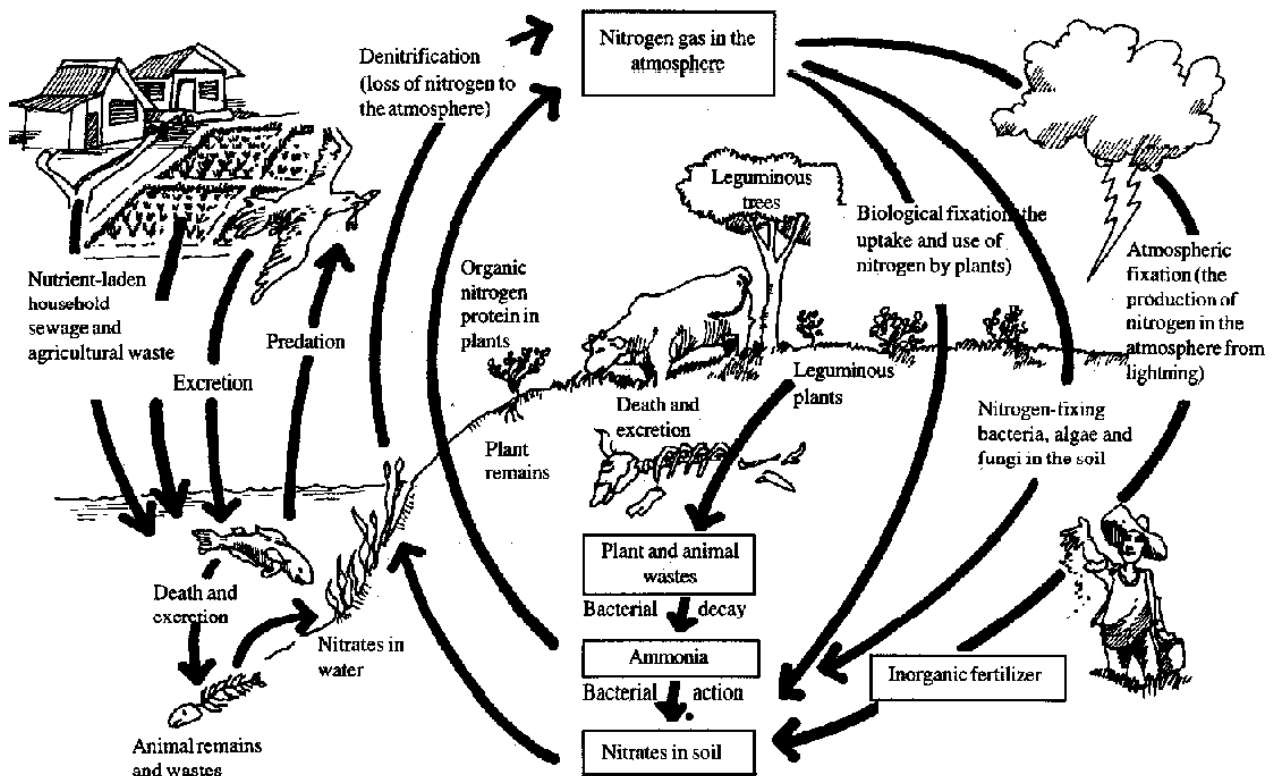


Az egyenletből látható, hogy a redukció során 8 hidrogénatom, illetve elektron szükséges a nitrátszintről ammóniaszintig történő redukcióhoz. A redukció során felhasználódó elektronokat az anyagcsere oxidoredukciós folyamatai szolgáltatják.

#### **4.1. A nitrogén körforgalma**

A nitrogén körforgalma összetettebb, mint a bioszféra egyéb elemeié. A stabil N-vegyületekben bármilyen -3 és +5 közötti oxidációs számú nitrogén előfordul. Ezek különböző folyamatokban redukálhatók és oxidálhatók. A N<sub>2</sub> maga és vegyületei közül is sok gázállapotú, az atmoszféra fontos szerepet játszik a nitrogén körforgalmában.

Az élő szervezetekben lévő -3-as oxidációs számú amino-nitrogén az atmoszferikus N<sub>2</sub>-ből származik, ami a talajba nitrogénfixációs folyamatok útján jut.



6. ábra: A nitrogén körforgalma

Az atmoszférában lejátszódó ionizációs történések hatására a vízgőzből és a levegő  $O_2$ -jéből képződő reaktív atomok és gyökök a  $N_2$ -ből nitrogénoxidokat hoznak létre, amelyek az esővel nitrát formájában a talajba jutnak. A természetben azonban a nitrogénfixáció 90%-a biológiai úton történik. A szabadon élő és szimbióta nitrogénkötő szervezetek  $N_2$ -t ammóniává redukálják, és beépítik szerves anyagaikba.

A nitrogén körforgalma során a fixációs folyamatokat a fixált nitrogénformák egymás közti átalakulásai követik, majd a nitrogén visszajut az atmoszférába. Az élőlényekben lévő N-vegyületek szerves hulladék formájában, illetve az élőlények elpusztulása után a talajba kerülnek, ahol azt a mikroorganizmusok ammóniává alakítják. A talajban lévő ammónia nagy része nitráttá alakul, a savas, anaerob talajokban azonban  $NH_4^+$  formájában marad. Az autotróf élőlények a nitrát mellett kismértékben az ammónia felvételre és hasznosítására is képesek, a zöld növények azonban előnyben részesítik anitrátot az ammóniával szemben. A nitrátot a növények, egyes gombák és mikroorganizmusok ammóniává redukálják, majd szerves anyagaikba építik be. A talajban lévő nitrátot az eső kimossa, és így az a talajvizekbe kerülhet.

A nitrát egy részét anaerob (oxigénhiányos állapotban is életképes) baktériumok nitráttá,  $\text{N}_2\text{O}$ -dá, majd  $\text{N}_2$ -né redukálják. Így a nitrogén egy része visszajut az atmoszférába.

A növényvilágban a szerves nitrogén beépítése legnagyobb részt biológiai nitrogénfixációval vagy a nitrát asszimilációja útján történhet. Míg a nitrogénfixáció képessége egyes prokariótákra, illetve néhány növény és prokarióta szimbiotikus asszociációjára korlátozódik, a nitrát asszimilációja alapvető folyamat a zöld növényekben és az algákban, valamint számos gomba és baktérium esetében is.

## **4.2. A nitrát asszimilációja**

A nitrátasszimiláció folyamata a nitrát felvételét, más szervekbe való transzportját, tárolását, redukcióját és a képződött ammónia szerves vegyületekbe való beépítését foglalja magában.

A nitrát felvétel energiaigényes és aktív folyamat. A nitrát felvételét általában megnövekedett kation-, elsősorban  $\text{K}^+$ -felvétel kíséri. Az elektroneutralitást (a rendszerben lévő pozitív illetve negatív töltések száma megegyezik) a nitrátfelvétellel kapcsolt anionleadás biztosítja. A kicserélhető anionok a nitrátredukció folyamatában képződő, közeglúgosodást okozó  $\text{OH}^-$ , vagy a levélsejtekben szintetizálódó és a hancsrészben, azaz a floémában a gyökérbe szállítódó malát dekarboxilációjából eredő  $\text{HCO}_3^-$ .

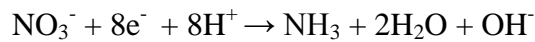
A felvett nitrát a xilémben a hajtásba szállítható, redukálható a gyökérben vagy a hajtásban, de eredeti formájában is tárolható a sejtek nedvüregeiben. A növények nitráttartalma változó. Általában a száraz tömeg 0,5-5,0%-a.

Ha megfelelő mennyiségű nitrát áll rendelkezésre a talajban, akkor számos növény gyűjti össze a nitrátot. A száraz környezetben élő növények gyakran tárolnak nitrátot a leveleikben. Ezekben az eső után felvett nagy mennyiségű nitrát a száraz időszakra is elegendő, amikor a felvételhez több energia lenne szükséges. Ilyenkor a nitrát ozmotikumként is hasznos.

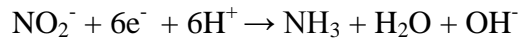
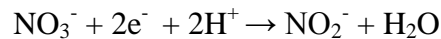
Ha lehetőség van nitrátfelvételre, akkor a vakuólumokban tárolt nitrát általában közvetlenül nem redukálható. A növények a nitrát mellett az  $\text{NH}_4^+$  felvételére is képesek. Az ammóniumion felvétele egy telíthető, lényegét alkotó (konstitutív), uniporttal történik. („Egy molekula vagy ion transzportja a membránon keresztül szállító mechanizmus segítségével,

anélkül, hogy bármely más molekulához vagy ion szállításához kötődne”). A felvett  $\text{NH}_4^+$  általában már a gyökérben beépül. A nitráttal ellentétben, az  $\text{NH}_4^+$ -felvétel a rhizoszférát (gyökérhez közel eső talaj) savanyítja, ami gátolja a foszfát-,  $\text{Ca}^{2+}$ -,  $\text{Mg}^{2+}$ - és  $\text{K}^+$ -felvételét és így a savanyú talajokhoz nem adaptálódott növények növekedését.

A nitrátredukció a nitrát átalakulása 8 elektron felvételével ammóniává:



Ez két lépésben zajlik le. A nitrát 2 elektron felvételével járó redukcióját nitritté a nitrát-reduktázok, míg a nitrit 6 elektron felvételével járó redukcióját ammóniává a nitrit-reduktázok katalizálják:

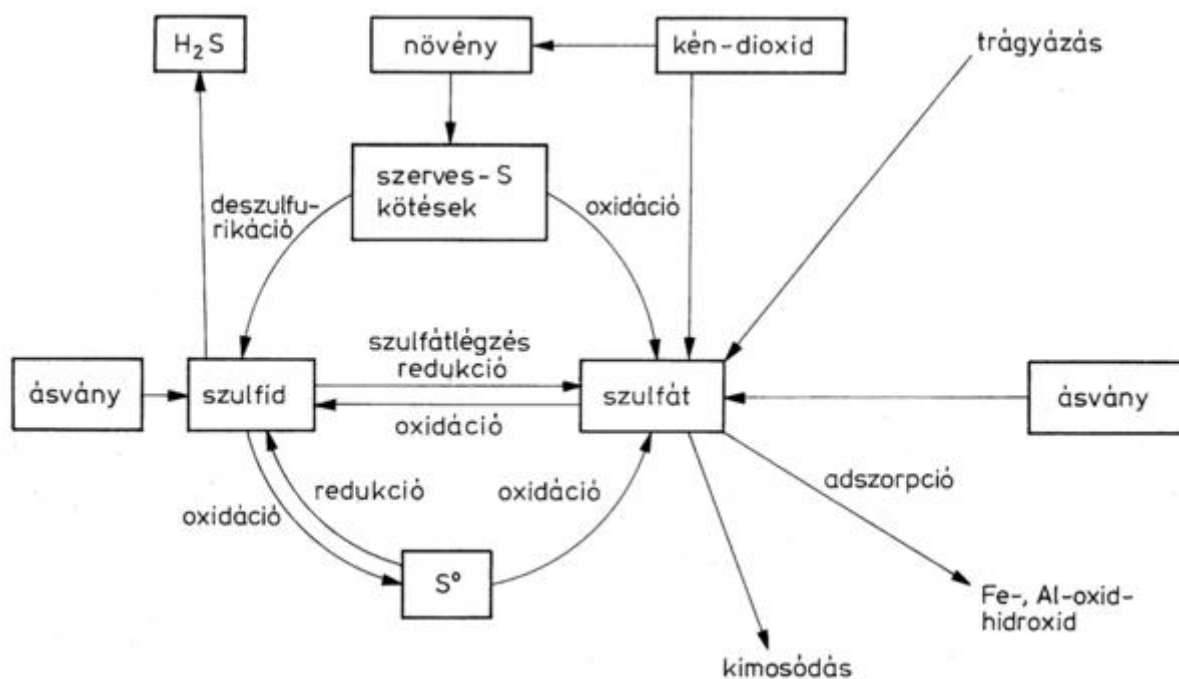


### **4.3. A kén körforgalma**

S-vegyületek az atmoszférában is találhatóak, legnagyobbbrészt azonban a talajokban és vizekben szulfát formájában fordulnak elő. Az illékony S-vegyületek, mint például a  $\text{SO}_2$ , az égési folyamatok során, a  $\text{H}_2\text{S}$  pedig biológiai és geotermiális működés következményeként képződik. A szulfát a kéntartalmú ásványok, elsősorban a vasszulfidok oxidatív lebomlása, az illékony vegyületek oldódása, valamint a szerves S-vegyületek oxidációja által kerülhet a talajba.

A kén körforgalma lényegében a környezetben rendelkezésre álló stabil, oxidált S-vegyületek redukcióját, valamint az instabil, redukált S-vegyületek oxidációját foglalja magában. Ezekben a folyamatokban fontos szerepet játszik az élővilág.





7. ábra: A kén körforgalma

Általában minden élő szervezet képes arra, hogy szulfátot szerves vegyületekbe, szulfátészterekbe és szulfonsavakba építse be. Számos élőlény, így például egyes mikroorganizmusok és gombák, az algák és a növények a szulfátot szulfid szintre redukálják, majd aminosavakba és fehérjékbe építik be. Egyes anaerob mikroorganizmusok a szulfátot a légzési lánc elektronakceptoraként használják, azaz energianyerés közben szulfiddá alakul. Ez a folyamat a szulfátlégzés.

#### 4.4. A kénvegyületek asszimilációja

A növények szempontjából kiemelkedő fontosságú folyamat a kénasszimiláció, ami magában foglalja a S-vegyületek felvételét, tárolását, áttelepítését, redukcióját és a redukált kén beépülését különböző szerves vegyületekbe.

A növények fő S-forrása a szulfát, de SO<sub>2</sub>-ot és H<sub>2</sub>S-t is képesek hasznosítani. A szulfát és H<sub>2</sub>S minden esetben megfelelő S-forrás, a SO<sub>2</sub> azonban csak egy bizonyos, növényfajonként változó küszöbérték alatt hasznosítható, ennél magasabb külső koncentrációnál SO<sub>2</sub>-toxicitás lép fel.

A szulfát felvétele aktív, energiaigényes átvitel, speciális szállítók segítségével történik. Légzésgátlók, szétkapcsolók, valamint „szubsztrátanalógok”, mint például a

molibdát, kromát, wolframát, szelenát is gátolják. A felvétel mechanizmusa  $H^+ : SO_4^{2-}$  kotranszport 3:1-es sztöchiometriával, ami 3ATP/  $SO_4^{2-}$  felhasználást jelent. Az illékony kénvegyületek a gázcserenyílásokon keresztül jutnak be a növényekbe. A  $SO_2$  a kutinban jól oldódik, a kutikulán keresztül is nagy mennyiségekben is bejuthat. Ezek a vegyületek szulfáttá oxidálódva vagy szulfit és szulfid formájában léphetnek be a szulfátasszimiláció folyamatába.

A felvett szulfát legnagyobb része a xilémen keresztül a levélsejtekbe transzlokálódik. A növényi szervezetek általában feleslegben veszik fel a szulfátot, és a vakuólumokban szulfát formájában, vagy redukció után, glutationként tárolják. Mindkét forma a háncsrészenen keresztül a növény bármely részbe transzlokálható.

## 5. A lipidanyagcsere [2,4,5,12]

A lipidek az élő szervezetben előforduló, változatos kémiai szerkezetű vegyületek. Vízben rosszul, szerves oldószerekben jól oldódnak. Összetett molekuláik felépítésére a hosszabb szénláncú apoláros és a poláros jellegű vegyületkomponensek egyaránt jellemzőek. Közöttük a kapcsolat főként észter típusú kötésen keresztül jön létre. Az élő szervezet felépítésében és működésében több szempontból is fontos szerepet töltenek be. A lipidek kémiai felépítésük alapján az alábbi csoportokba sorolhatók: neutrális lipidek, összetett lipidek, viaszok, kutin, szuberin, terpenoidok és speciális poliketidek.

A növényekben jelentős szerepet játszó lipidcsoportok a következők: komplex acil-lipidek, terpenoidok és szterolok.

A szterolok terpenoid származékok, ezen kívül még zsírsavdalláncokat is hordozhatnak, viszont sajátos jelentőségük miatt külön csoportba tartoznak.

### 5.1. ***Komplex acil-lipidek***

#### a) Glicerolszármazékok

##### 1. Acil-glicerolok

A lipidek jelentős részét a glicerol zsírsavakkal alkotott észterei teszik ki. A szerint, hogy a glicerolnak egy, kettő vagy három alkoholos hidroxilcsoportja van-e „észterifikálva”, mono-, di- és triacil-glicerolokról beszélünk. A

növényi raktározó szervekben előforduló zsírok és olajok triacil-glicerolok. A szobahőmérsékleten folyékony, nagy számú kettőskötést tartalmazó glicerol-észtereket olajoknak nevezzük.

## 2. Foszfo-lipidek

A foszfo-lipidek alapvegyülete, a foszfatidsav olyan triglicerol, amelynek két alkoholos hiroxilcsoportját zsírsav, egy hidroxilcsoportját pedig foszforsav észterifikálja.

## 3. Galakto-lipidek

A cukortartalmú lipidekben a glicerinhez zsírsavmaradékokon kívül valamely cukor is kapcsolódik. A növényekben a glikolipidek közül elsősorban a galaktózsármazékok jelentősek, mint pl. a diacil-galaktozil-glicerol és a diacil-digalaktozil-glicerol, amelyek a kloroplasztiszmembránok fő alkotórészei.

### b) Terpenoidok

A növények nagy számban állítanak elő olyan vegyületeket, amelyeknek közös vonása, hogy  $C_5$  egységekből épülnek fel. Többségük sajátos növényi anyagcseretermék. A terpenoidok fő csoportjai a hemi- ( $C_5$ ), mono- ( $C_{10}$ ), szeszkvi- ( $C_{15}$ ), di- ( $C_{20}$ ), tri- ( $C_{30}$ ), tetra- ( $C_{40}$ ), oligo- és politerpének.

### c) Szterolok

A szterolok egy izoprénszármazéknak, a szkvalénnek enzimatisz ciklizációja révén keletkeznek. A szteril-lipidek magvakban, gumókban, gyümölcsökben és a levelekben egyaránt előfordulnak.

## **5.2. Növények lipidösszetétele**

A magvak és a raktározószövetek lipidösszetételére általános érvényű séma nem adható meg, és sok más komponensként jelenlévő lipid jelentős mennyiségben is előfordulhat, a leggyakoribbak azonban a triacil-gliceridek és néhány foszfolipid.

Főbb glicerolipiek megoszlása az egyes membránfeleségek között

a) Plazmamembrán (sejthártya)

A membránt kb. 50%-ban glikolipidek, valamint foszfolipidek (PC, PE, PI), szabad szterolok és neutrális zsírok alkotják

b) Mitokondrium

Alapvetően (90%) foszfolipidek (PC, PE) fordulnak elő kb. azonos megoszlásban a külső és belső membrán között. Karidolipin főként a belső, PI a külső membránban van

c) Kloroplasztisz

Főként glikolipideket (MGDG, DGDG, SQDG) és PG-t tartalmaz, de a borítómembrán és a tilakoidok között jelentős eltérés van.

d) Etioplasztisz

Alacsonyabb a galaktiolipidek és a szulfolipidek aránya és kevesebb a PG is

e) Mikroszóma frakció

Magas a foszfolipidek aránya (70%), több a neutrális lipid és a szabad szterol

f) Sejtmag membrán

Magas a foszfolipid/galaktolipid arány, neutrális lipidek is vannak itt

### **5.3. Lipidek bioszintézise**

A növényekben eltérően a prokariótáktól és az állati szervezetektől, a zsírsavak szintézise a kloroplasztiszokban, illetve a csírázó magvak proplasztiszaiban folyik.

a) Triacil-glicerolok és foszfo-lipidek bioszintézise

A növények olajat raktározó szerveiben a lipidek gömb alakú részecskékben, az ún. szferoszómákban és oleoszómákban találhatóak.

A foszfatidsav bioszintézisének egyik útja a diacil-glicerol + ATP → foszfatidsav + ADP reakciósor. A foszfatidsavból a következő módon jöhetnek létre a jelentősebb foszfatidsavszármazékok:

1) Foszfátidsav + CTP  $\rightarrow$  CDP-diacil-glicerol

2) Kolin + ATP  $\rightarrow$  kolin-foszfát + ADP

Kolin-foszfát + CTP  $\rightarrow$  CDP-kolin + PP<sub>i</sub>

CDP-kolin + diacil-glicerol  $\rightarrow$  foszfatidil-kolin + CMP

3) Etanol-amin + ATP  $\rightarrow$  etanol-amin-foszfát + ADP

Etanol-amin-foszfát + CTP  $\rightarrow$  CDP-etanol-amin + PP<sub>i</sub>

CDP –etanol-amin + diacetyl-glicerol  $\rightarrow$  foszfatidil-etanolamin + CMP

b) Telítetlen zsírsavak bioszintézise

A sztearinsav  $\rightarrow$  olajsav átalakulását a kloroplasztiszon belül egy membránhoz kötött enzim, a szteariol-ACP-deszaturáz katalizálja. A deszaturálási lépés ebben az esetben még a hordozó-proteinhez kapcsolva következik be. A reakció elektrondonora a fotoszintetizáló plasztiszokban a ferredoxin, a proplasztiszokban pedig a NADPH<sub>2</sub>.

c) Telített zsírsavak bioszintézise

A telített zsírsavak szintézise a növényekben nagy vonásokban megegyezik az állati szervezetekben tisztázott úttal, amennyiben a zsírsavak itt is aktivált acetátmolekulákból, pontosabban azok karboxilációs termékéből, a malonil-CoA-molekulákból kondenzálódnak.

1. Az acetyl-CoA ATP jelenlétében szén-dioxidot vesz fel malonil-CoA képzőése mellett. Ezt a reakciót egy biotintartalmú enzim, az acetyl-CoA-karboxiláz katalizálja.
2. A malonil-CoA egy alacsony molekulatömegű SH-proteinnel reagál és CoA válik szabaddá. A keletkezett termék malonil-S-ACP
3. Egy második acetyl-CoA molekulából + ACP-ből acetyl-S-ACP jön létre, miközben CoA szabadul fel.
4. A malonil-S-ACP az előbbi módon létrejött acetyl-S-ACP molekulával reagál és CO<sub>2</sub>, valamint ACP lehasadása mellett aceto-acetyl-S-ACP jön létre.
5. Az aceto-acetyl-S-ACP egy NADPH<sub>2</sub>-specifikus dehidrogenáz  $\beta$ -hiroxil-butiril-S-ACP-vé redukálja.

6. A következő lépés enzimatiskus vízvesztés, ami krotonil-S-ACP keletkezéséhez vezet.
7. A krotonil-S-ACP-t egy ugyancsak NADPH<sub>2</sub>-specifikus dehidrogenáz rendszer butiril-S-ACP-vé redukálja.
8. Ezt követi a CoA-val való transzacilálás, amelynek során a vajsav butiri-CoA formájában leszakad az ACP felületéről.

## 6. Összefoglalás [2]

A növényélettannak nagyon fontos területe a növényi anyagcsere vizsgálata, amit növényi biokémiának nevezünk. Az utóbbi évtizedekben a növényi biokémia és a molekuláris biológia fejlődése igen sok új eredménnyel tette gazdagabbá ismereteinket a növényi anyagcseréről.

A növényi anyagcsere számos jellegzetességgel rendelkezik, ami a növényi szervezetek autotrófiájával kapcsolatos. Bár a növények eukarióták, mégis az autotrófia egy prokarióta eredetű sejtorganelumnak, a kloroplasztisznak köszönhető. A kloroplasztisz teszi lehetővé a növények számára a fényenergia hasznosítását, és olyan mértékű szerves anyagok „produkcióját”, ami ellátja szerves anyaggal a növény nem fotoszintetizáló sejtjeit és szöveteit.

A növények által produkált szerves vegyületek szolgáltatnak tápanyagot a heterotróf szervezetek számára is. A növényi sejtek másik különlegessége, hogy sejtfa és sejtmedvére (vakuóluma) is van, ami mind az anyagfelvétel, mind a transzportfolyamatok szempontjából fontos tényező.

## 7. Felhasznált Irodalom

- [1]: Természet Világa, 140. évfolyam, 5. szám, 2009. május
- [2]: Láng Ferenc: Növényélettan – A növényi anyagcsere 1. Eötvös Kiadó 2002
- [3]: Szalai István: A növények élete, ahogyan ma látjuk
- [4]: Dr. Szalai István: Növényélettan
- [5]: Farkas Gábor: Növényi Biokémia Akadémiai Kiadó, Budapest 1984
- [6]: A szénhidrátok szintézise  
(<http://eki.sze.hu/ejegyzet/ejegyzet/biologia/molbio/node16.htm>)
- [7]: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Fotoszint%C3%A9zis>
- [8]: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Klorofill>
- [9]: [http://plantphys.info/plant\\_physiology/calvincycle.shtml](http://plantphys.info/plant_physiology/calvincycle.shtml)
- [10]: [http://www.copperwiki.org/index.php/Sulphur\\_Cycle](http://www.copperwiki.org/index.php/Sulphur_Cycle)
- [11]: [http://www.visionlearning.com/library/module\\_viewer.php?mid=98](http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=98)
- [12]: <http://www.rapidlearningcenter.com/chemistry/biochemistry/lipid-metabolism.html>
- [13]: <http://szinonimaszotar.hu/>
- [14]: <http://www.idegen-szavak.hu/>

## 8. Ábrajegyzék

### 1.ábra: Klorofill-a és klorofill-b

<http://kfg.hu/~peti/biolfilm/biok%20mia/fotoszint%20zis/klorofill-a-b.gif>

### 2.ábra: Lutein

[http://www.worldofmolecules.com/antioxidants/lutein\\_zeaxanthin.htm](http://www.worldofmolecules.com/antioxidants/lutein_zeaxanthin.htm)

### 3.ábra: $\beta$ -karotin

[http://www.lugositas.info/etrendkiegeszitok\\_beta-karotin](http://www.lugositas.info/etrendkiegeszitok_beta-karotin)

### 4.ábra: Violaxintin

<http://kutatas.delta.hu/jedlik1/EREDM%C3%89NYEINK/Eredm%C3%A9nyeink2007/tabid/856/Default.aspx>

**5.ábra: Calvin ciklus**

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Calvin\\_cylce.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Calvin_cylce.svg)

**6.ábra: Nitrogén körforgása**

<http://www.nzdl.org/gsd/collect/envl/archives/HASH0192.dir/p027.gif>

**7.ábra: A kén körforgalma**

[http://www.tankonyvtar.hu/site/upload/2008/09/kepek\\_38-eoko.jpg](http://www.tankonyvtar.hu/site/upload/2008/09/kepek_38-eoko.jpg)

## 9. Rövidítések jegyzéke

ACP = acil-karrier protein

ADP = adenzin-difoszfát

ATP = adenzin-trifoszfát

CDP = citidin-difoszfát

CMP = citidilsav

CTP = citidin-trifoszfát

CoA = koenzim A

DGDG = digalaktozil-diacil-glicerid

MGDG = monogalaktozil-diglicerid

$\text{NADPH}_2 = \text{NADPH} + \text{H}^+$  = redukált nikotin-amid-adenin-dinukleoti-foszfát

PC = foszfatidilkolin

PE = foszfatidil-atanolamin

PG = foszfatidil-glicerin

PI = foszfatidil-inozit

PP = pirofoszfát

SQDG = szulfokinovozil-diacil-glicerid



Nyilatkozat

“Én, Farkas Adrienn e dolgozat szerzője fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy dolgozatom a saját, önálló munkám, abban mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.”

2011.01.10.

Farkas Adrienn