

# Klorofill-mérések in vivo

SZÉKELY ÁKOS

A jóléti erdőgazdálkodás egyik alapkérdése a változatos, sokszínű, a fény és árnyékhatásokat jobban kihangsúlyozó, a színek kontrasztjával ható erdők, f csoportok kialakítása. A színek, színhatások ismeretében közelebb jutunk az erdő esztétikájának az értéséhez.

## *A klorofill topokémiája analitikai szempontból*

Az élő szervezetekben végbemenő átalakulásoknál minden részfolyamatot, más és más enzim katalizálja. A sejtekben előfordulnak azonban olyan körülmények is, melyek több részfolyamat, sokféle enzimjét tartalmazzák. A növényekben levő képződmények közül a kloroplasztok és a mitokondriumok a legfontosabbak.

A kloroplasztok tartalmazzák mindazokat az enzimeket, melyek a széndioxid asszimilációjához szükségesek. A kloroplasztokban a jellegzetes festékpigmentekben (klorofill, karotinoidok) kívül, főbb légző enzimek (citokróm) is találhatóak. A kloroplasztok lemezes szerkezetűek. A lemezek egymástól való távolsága 70 Å körül mozog. A kloroplasztokon belül a klorofill molekulák bizonyos rendezettséget mutatnak. A kloroplaszt lemezek kettős fehérjerétege között, lipid réteg foglal helyet. A klorofill molekulák a lipid és fehérje rétegek között vannak, azokkal komplex kapcsolódásban.

Mindezen topokémiai részeket azért bocsátottuk előre, hogy bármilyen szerves oldószert is alkalmazunk a klorofill kivonására, fehérje és zsírszerű lipid részek is kivonódnak. A nem kívánt anyagok kivonódása fotometrálsai és meghatározási hibát okoz.

Még meglehetősen szelektív klorofill kivonás esetében is, kolloid opalizáló hiba jelentkezik, tekintettel arra, hogy maga a klorofill molekula, különösen agregálódás következtében, közelítheti a kolloid nagyságrendet. A klorofill molekula porfirin része kb.  $15 \times 15$  Å nagyságú, míg a fitol rész 20 Å. Tehát maga az egész molekula 35 Å agregálódás nélkül. (1.)

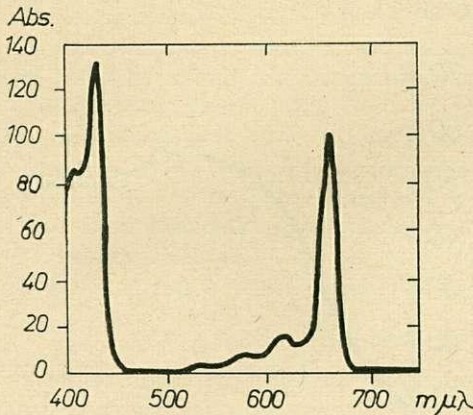
A klasszikus klorofill meghatározás, a klorofill kivonás előtt, éppen mivel a pigmentfesték szemcsék a sejtrészekhez kötődnek, homokkal való eldörzsölést alkalmaz. A kvarc negatív töltésű, tehát a nagymolekulájú szerves festékek közül a kationos részt köti, illetve, az ion milliótól függően, a kvarc töltése át is hangolódhat, így az aniónos részt is kötheti. (2., 3.)

A legnagyobb eltéréseket mégis, tapasztalataink szerint a klorofiláz-enzim okozza a fotometrikus méréseknél. (4.) A klorofiláz aktív, vizes alkoholos és acetonos oldatban is. Az enzim viszonylag nagyon rövid idő alatt — növényfajtától függően — színteleníti a kivonatot.

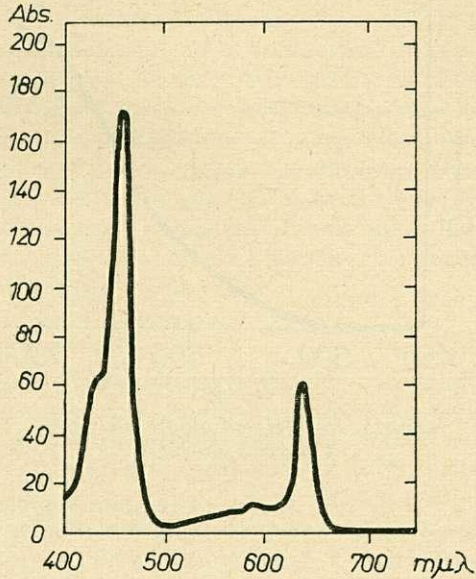
Finomabb méréseknél, különösen a fehérje-lipoid és festék bomlás nyomónkövetésére — az in vivo — utat dolgoztak ki pl. Faludiné. (5.)

## *Klorofill-spektrumok vizsgálata*

A fény és az anyag közötti kölcsönhatás egyik megnyilvánulási formája az elemek és vegyületek szelektív fényabszorpciója. Az abszorbeált fényenergia kizárólag az atom, illetve molekulaszerkezet függvénye. Így a folytonos elektromágneses sugárzás elnyelt hullámhossz értékek — az anyagok minőségének és



1. ábra. Klorofill A



2. ábra. Klorofill B

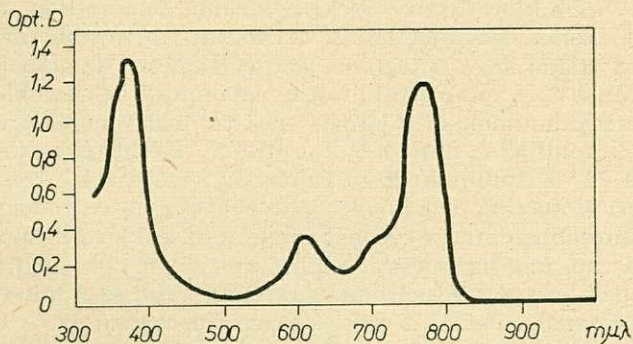
felépítésének jellemző állandói. Az abszorpciós spektrumvizsgálatokat a gyakorlatban két nagy csoportra oszthatjuk, melyek a klorofill vizsgálataira is vonatkoznak:

### 1. Szerkezetkutatás (spektrometria)

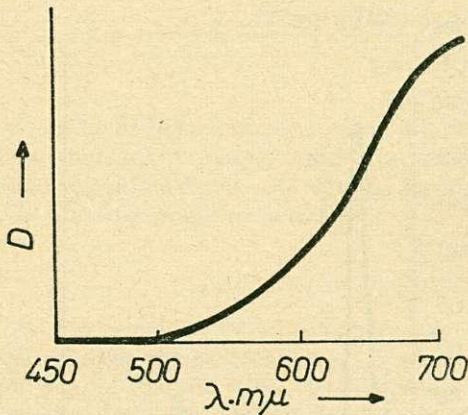
A fotometrikus mérések során megállapítjuk a vizsgálandó anyag abszorpciós tulajdonságait, a látható sávban, illetve az ultraibolya (UI) vagy infravörös (IV) tartományban, a hullámhossz függvényében. Az abszorpciós tulajdonságok jellemző adatai lehetnek: abszorpciós maximum, inflexiós pont, az elnyelés mértéke stb. Elméletileg számított értékekkel vagy modellvegyületek megfelelő adataival összehasonlítva — a szerkezetre következtethetünk.

### 2. Koncentráció mérése (spektrofotometria)

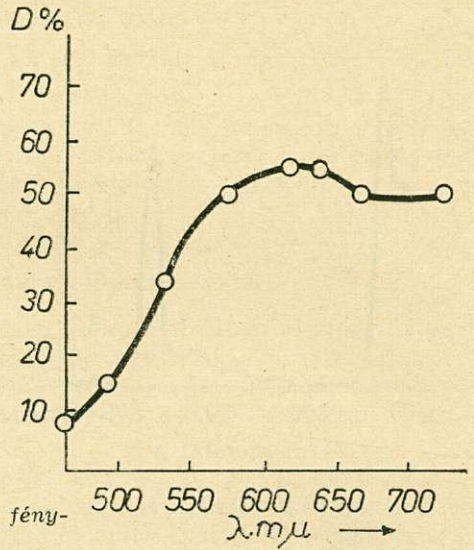
Meghatározzuk az ismert szerkezetű anyag abszorpciós maximumánál az elnyelés mértékét, az adatból a Bouguer—Lambert—Beer törvény alkalmazásával az anyag mennyisége számítható.



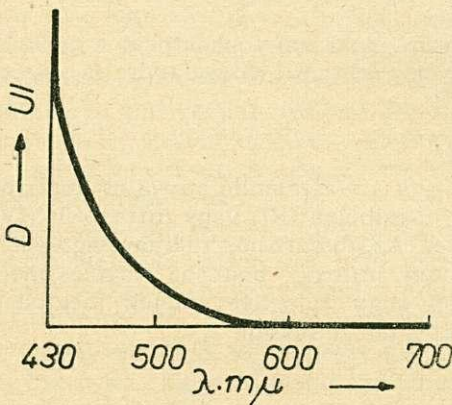
3. ábra.  
Bakterioklorofill



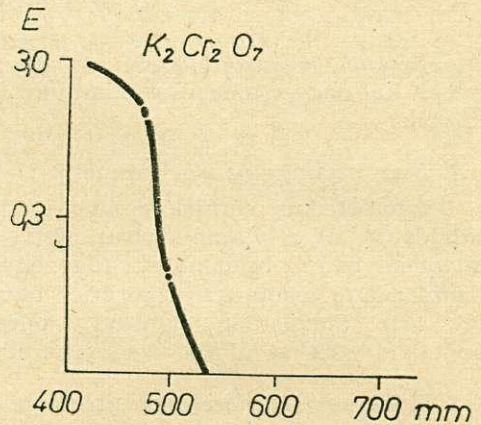
4. ábra. Réz (II)-só oldatának fényelnyelési görbéje



5. ábra. A rézamin-komplex fényelnyelési görbéje



6. ábra. A káliumkromát oldat fényelnyelési görbéje



7. ábra. Káliumbikromát abszorpciós spektruma

A főbb klorofill félésegek spektrumai ismertek és irodalmi adatok alapján 4.) mellékeltet közöljük (1., 2., 3. ábrák). A további munka számára a spektrumok adatai közül a legfontosabb értékelések az alábbiak:

Mind az A mind a B klorofill, valamint a bakterioklorofill jellegzetes abszorpciós maximumokkal, a látható spektrumban rendelkeznek. Az abszorpciós maximumok mind az A mind a B klorofillnál első megközelítésben 400 és 500, valamint 600 és 700 millimikron hullámhossz közé esnek. Azért is első megközelítésben, mert a maximumok helyei változhatnak az extrakciós oldószer minőségétől is. Pontosabban éteres kivonás mellett, az A klorofill maximuma 420 millimikronnál van, míg ugyancsak hasonló kivonás mellett a B klorofillé 450 millimikron hullámhossznál. A második maximum mind az A mind a B klorofillnál 650 millimikronnál adódik. A bakterioklorofill csúcsai az A és B klorofilltól eltérően 300—400, 600 és 700—800 millimikron között vannak.

### Klorofill standard oldatok

A klorofill mennyiségi és minőségi meghatározásai több nehézségbe ütköznek, melyeket részben a bevezetőben a topokémiai részben már vázoltunk. Fokozza a nehézségeket, hogy tiszta mérő anyagról, melyre vonatkoztathatnánk a mérendő anyagokat, nincsen, legfeljebb dúsított preparátumokról beszélhetünk.

Ezért az újabb időkben mesterséges klorofill mérő oldatok alkalmazása felé fordultak. (6.) A leírt módszerek főleg a klorofill minőségi — A és B klorofill elkülönítésére voltak alkalmasak. A kivonási azaz extrakciós hibák kikerülésére voltak alkalmasak. A kivonási azaz extrakciós hibák kikerülésére pedig a növényi anyagot nem roncsoló módszerek jelentek meg. (7.)

### Mesterséges mérő oldatok

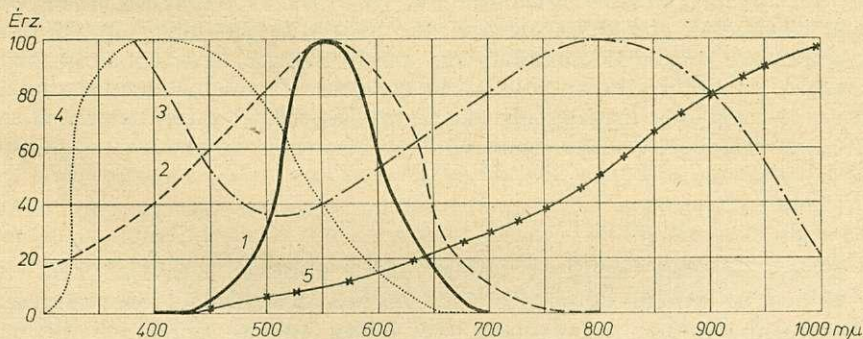
1965-től főleg az erdészet kívánalmainak kielégítésére a felsorolt irodalmi támpontok alapján olyan hordozható, helyszínen alkalmazható klorofillometert szerkesztettünk, melyet az erdőállományok mérésén túlmenően, jól tudtak alkalmazni gyümölcsösökben, szőlőszetben valamint a termésbecslések több területén.

Munkáink ezen részét abban lehetne röviden összefoglalni, hogy olyan mesterséges színtartó vegyületeket kerestünk, melyek fotométerrel bemért abszorpciós adatai megegyeztek a klorofilléval.

A között 4. ábrán látható a rézszulfát (0,1 M) oldatának fényabszorpciós spektruma. A spektrumnak maximuma a láthatóban nincsen, feltehetően csak az infravörösben. Van mód ellenben arra, hogy a rézsók oldatai maximumot képezzenek a láthatóban, ha ugyanis azok ammin-komplexeit állítjuk elő (5. ábra). A koncentrációk változtatásával el tudjuk érni, hogy a maximum a klorofilléhoz hasonlóan a kívánt 650 millimikronnál legyen.

Másrészt a káliumkromát oldat (0,1 M) abszorpciós spektrumának maximuma várhatóan az ultraviolettben van (UI) (6. ábra). A káliumkromát oldat abszorpciós maximuma, megfelelő körülmények között, behozható a láthatóba, (7. ábra) úgy hogy a maximum, a klorofill által kívánt 400 és 500 millimikron hullámhossz közé essen (8.). A két leírt oldat segítségével, a klorofil, jó közelítéssel bemodellezhető.

A főbb fotocella-típusok és a szem érzékenységét szemlélteti összevetően a 8. ábra. Az ábrából világosan előtűnik, hogy a szem a látható tartományban különösen a zöld színre nagyon érzékeny. Így a szem a zöld szín érzékelését meny-



8. ábra. Fotocellák érzékenységi tartományai: 1. szem; 2. szelén; 3. cézium; 4. RCA 931 elektronsokszorozó; 5. ezüst.

nyiségileg és minőségileg is viszonylag érzékenyen érzékeli, tehát helyszíni mérésekre nagyon alkalmas. Így szerkesztettünk egy hordozható helyszíni klorofilometert, melynek részletes adatait és készítését, esetleges újdonságrontás miatt nem közöljük.

#### IRODALOM

1. Whittingham, C. P.: The Chemistry of Plant Processes. Methuen CoLTD. London 1956.
2. Buzágh, A.: A kolloidika praktikuma. Tankönyvkiadó, Budapest, 1962.
3. Clay Minerals. 1967. 7. 1. 24—30.
4. Bonner J.—Varner, J. E.: Plant Biochemistry, Academic Press, London, 1965.
5. Nagy H. A.—Faludi—Dániel, A.: On the Nature of the Binding Forces Stabilizing Carotenoid — Protein and Chlorophyll — Protein Complexes in vivo. Photosynthetic 1. (1—2) 69—75. 1967.
6. Paek, K.—Tracey, M. V.: Modern Methods of Plant Analysis. Vol. IV. Springer. Verl. 1955. Berlin.
7. Benedict, H. M.: Non destructive Method for estimating Chlorophyll. Science. 1961. 133. 3469. 2015—2016.
8. Székely A.: Humusz fotometriás meghatározása. OMMI Évkönyv, Vol. VI. 1964. 177—184.

Сикей А.: ИЗМЕРЕНИЯ „ЖИВОГО“ ХЛОРОФИЛЛА.

Одним из основных вопросов ведения лесного хозяйства на службу народу — это лес, действующий контрастом цветов. Основные знания о спектральной окраске листьев для этого могут быть очень полезными. Автор показывает отдельные положения из исследований такого направления.

Székely, A.: MEASUREMENT OF CHLOROPHYLL IN VIVO

One of the basic task of the forest management directed to the benefits of the public is to develop forests and groups of trees, which are of a high landscape value with their contrasting colours. Basic knowledge of the leaves' spectral colour elements could be very useful in this respect. The author gives excerpts of his research directed on this problem.

## A többcélú hasznosítás tervezési kérdései

HARSAY GYULA

A többoldalú hasznosítás célja a lehető legnagyobb összérték biztosítása az egész társadalom érdekeit nézve. Bár e feladat tervszerű megoldása igen bonyolult, számos próbálkozás — különösen az Egyesült Államokban — azt bizonyítja, hogy nem lehetetlen vagy legalábbis megközelíthető. A megoldáshoz leggyakrabban a lineáris programozást vagy a dinamikus programozást alkalmazzák, de egyéb eljárások is ismeretesek (RIPLEY és YANDLE, 1969). A kidolgozott módszerek gyakorlati bevezetését erősen lassítja, hogy általában nem áll rendelkezésre elegendő alapadat, ami pedig nélkülözhetetlen a megbízható programhoz. Itt néhány olyan jól ismert tervezési problémát érintek, amelyek a gyakorlati megoldás legnagyobb akadályát képezik. Fontos helyen áll ezek között egyes közjóléti értékek számszerű felmérése és a tervszerű fejlesztésbe történő beépítés.

### A többoldalú erdőszemlélet

Dr. Keresztesi Béla „Magyar erdők” című könyve (KERESZTESI, 1968) olyan alapos és átfogó képet fest a közjóléti erdőgazdálkodás kérdéseiről, amelynél tökéletesebbet a tudomány mai állása szerint aligha lehetne összeállítani. A legújabb kutatási eredményekkel bőségesen alátámasztott munka egyértelműen igazolja, hogy az erdők és fák sokrétű szerepet játszanak az em-