

Biológiai alapú kémia

SEVELLA Béla*

a BME Mezőgazdasági Kémiai Technológia Tanszék, Szt.Gellért tér 4.1111 Budapest, Hungary

1. Bevezetés

Ma a világon a kemikáliáknak több mint 90%-át a kőolajipar által szolgáltatott alapanyagok átalakítása útján nyerjük, ez a szám az USA-ban 98%. Könnyű megérteni azt hatalmas elánt, amellyel az alternatívák keresésébe kezdtek a múlt század végén, amikor elemzők kimutatták, hogy 2025-re olajuknak 70 %-át már importálni lesznek kénytelenek. A fosszilis energiailletve nyersanyag készletek lassú (de lehet, hogy gyors) kimerülése elodázásának szándéka tehát az alternatív, megújuló alapanyag és energiai források kutatásának fő hajtóereje. Mielőtt a szén- illetve kőolaj alapú vegyipar kialakult volna, a mezőgazdasági biomassza alapú mikrobiális fermentációk jelentették a magától értetődő forrását egy sor kémiai tömegterméknek, szerves vegyületnek. E technológiák a már évezredek óta használt és a 19.sz-ban tudományos alapot nyert régi-régi élelmiszeripari fermentációkból (sör, bor, ecet, sajt) fejlődtek ki.

Ma ezek újralfedezésének lehetünk tanúi, egyre nagyobb figyelem fordul kémiai alapanyagok előállításának területén a mikroorganizmusok tevékenységét kihasználó un. *bioalapú ipari eljárások* felé, elterjedt a „biorefinery” koncepció¹ illetve kifejezés, aminek alapján megújuló alapanyag bázison (gabona, fa, olajos magvak) kémiai alapanyagok tucatjai majd ezekből további vegyipari termékek százai állíthatók elő.

2. A biotechnológiák jellemzői

A 21. század a biotechnológia százada, és sokak szerint ma már az un „biotársadalom” kialakulásának lehetünk tanúi. A biotársadalom fogalma azt jelenti, hogy az élet valamennyi területét átszövi a biotechnológia: a felhasznált nyersanyagok, alapanyagok, a felhasznált energia és az alkalmazott technológiák jelentős része is valamiképpen kapcsolódik a biotechnológiákhoz. E biotechnológiákat manapság három fő csoportba sorolják, az egyik az un piros v. vörös biotechnológia, ez az emberi és állati egészséggel összefüggő biotechnológiai termékekre és szolgáltatásokra utal, a második a zöld biotechnológia, amely a mezőgazdasági és élelmiszergazdasági biotechnológiai felhasználásokat jelenti és végül a fehér biotechnológia az ipar (beleértve az energiaipart is) biotechnológiája. Ezen „színes” területek közül itt csupán a *fehér biotechnológiát* érintem, azon belül is csupán a kémiai ipari vonulattal, a bioenergiáról nem szólva. Mielőtt azonban erre rátérnénk, magukkal a biotechnológiák jellemzőire illetve a nyersanyagbázisra vessünk egy pillantást. A bio-iparok és így a jövő kémiai iparainak is alapvető nyersanyaga a biomassza, ez az évenként megújuló és a napfény kimeríthetetlen energiáját csapdába ejtő és kémiai energiává alakító fotoszintetikus növényi biomassza, ami évente sokmillió tonnányi mennyiségben áll rendelkezésre akár elsődleges növényi termék keményítő vagy növényi olaj vagy másodlagos, lignocellulóz tartalmú

mezőgazdasági hulladékok formájában.

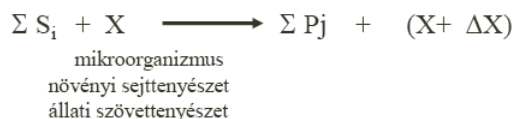
A cukor- illetve növényolaj-alapú kemikáliák előállításának rendkívül kedvezőek a társadalmi hatásai, ezek közül néhányat az alábbiakban lehet összefoglalni:

- A mezőgazdaság és erdőgazdaság számára ma még kiaknázatlan termelési lehetőségeket nyújt,
- környezeti illetve klimatikus hatása kedvező, hiszen nem termel plusz szén-dioxidot,
- csökkenti az olajtól való függőséget, ezáltal nagyobb politikai/gazdasági biztonságot nyújt,
- funkcionálisan magasrendű, nagy hozzáadott értéket képviselő termékeket állít elő,
- és feltehetően a génmanipuláltságot is elnézőbben fogadja a közvélemény, mint az élelmiszercélú mezőgazdasági termények esetén.

Fontos felismerni, hogy a kémiai alapanyagokat előállító, a környezetvédelemmel foglalkozó és a humán vagy egyéb gyógyszereket gyártó vállalatok (vagyis a valamennyi színű: piros, fehér, zöld termékeket előállítók is) ugyanazt a biotechnológiát (rekombináns technikát, genomikát, proteomikát stb., valamint biomérnökialapokat) alkalmazzák, egy egységes biotechnológiai tudományos háttér és mérnöki alkalmazási metodológia alakult ki.

A biotechnológiai eljárások alapvetően kétfélék, *de novo* fermentációk és biotranszformációk (1. ábra), mindkettő felhasználása jellemző a fehér biotechnológiára is.

De novo FERMENTÁCIÓK



BIOTECHNOLÓGIAI ELJÁRÁSOK

BIOTRANSZFORMÁCIÓK



1. Ábra. A biotechnológiai eljárások két típusa

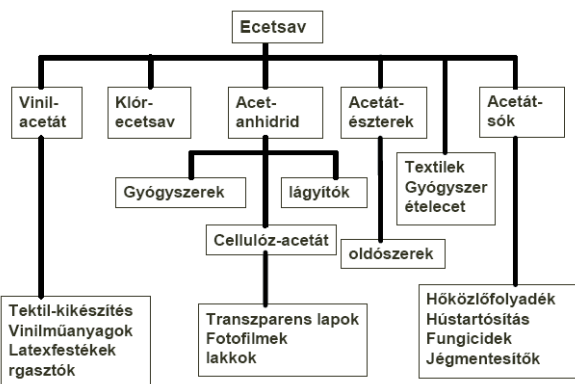
Ezek a technológiák többek között az alábbiakkal jellemezhetőek:

- Egyetlen fermentációs lépésben komplex, szintetikus csak több lépésben előállítható molekulák termelhetők.
- Az előállítások nagymértékben specifikusak: pl. tiszta optikai izomerek állíthatók elő.
- A reakciókörülmények tipikusan enyhék: un. fiziológiás körülmények között zajlanak, rendszerint vizes oldatokban. (De enzimekkel pl. extrém körülmények is megvalósíthatóak: szerves oldószer, magas hőmérséklet stb).
- Nagy hozam, kisebb energiaigény jellemzi ezeket az eljárásokat.

3. Biotechnológiai eredetű platformok

Általánosságban elmondható, hogy a biotechnológiai alapú vegyipar alapvetően a mikroorganizmusok ún. primer anyagcseretermékeinek *de novo* szintézisére épül és ebben a legegyszerűbb két anyagcsere-folyamat, a glikolízis és a citrátkör játszanak fő szerepet. Átugorva az **etanolt** legyen egyik példának az **ecetsav**, mint a glikolízis ezer évek óta ismert és előállított egyik lehetséges anyagcsereterméke. Ezen egyszerű szerves sav egy sor további vegyület, illetve termék alapanyaga lehet (2. ábra).

A három-szénatomú alapvegyületek közül a **tejsav** példáját szükséges megemlíteni, mert ez az egyik már jelenleg is hatalmas vegyipari jelentőségű anyagcseretermék. A tejsav platformnak olyan jelentős elemei vannak, mint az akrilsav (polimer alapanyag), a tejsavészterek (az etil- és butil-laktát), amelyeket zöld oldószerekként tartanak számon illetve legjelentősebbnek a dimer laktid tűnik, amelyből a politejsav (PLA) állítható elő. Ez maga már egy 1932-es DuPont szabadalomról ismert, de igazi termelési technológiát az amerikai Cargill (ami egy kukorica termeltető és feldolgozó vállalat) a Dow Chemical-lel közös vállalatban fejlesztett ki és egy 140 000 t/év kapacitású PLA üzemet valósított meg 1997-ban a Nebraska állam béli Blair-ben. A PLA egy fantasztikus perspektívájú polimer, amely termoplasztikus

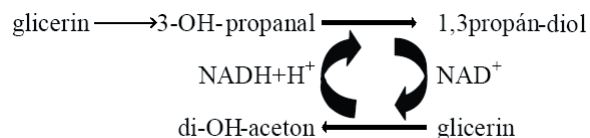


2. Ábra. Az ecetsav platform

csomagoló műanyagként, textilipari szálanyagként, és mivel biokompatibilis, implantátumokként illetve DDS (Drug Delivery System)-ként használható. Rendkívül kedvező tulajdonságai vannak, többek között összeolvastás után újra használható vagy komposztálható (=biodegradábilis!). Előállítása is kedvezőbb egy sor hagyományos műanyagnál, pl. fosszilis energiaigénye

30-50 %-kal kisebb mint a polisztirolé illetve a PET-é. Továbbá, amit szintén fontosnak tarthatunk, fermentációja során nem képződik szén-dioxid, azaz a fotoszintézissel a légkörből kivont CO₂ mindaddig nem kerül oda vissza, amíg a tejsav le nem bomlik.

A három szénatomos glicerín kétféleképpen is képbe kerül, ha a fehér biotechnológia lehetőségeit vizsgáljuk. Egyrészt a glicerín maga fermentációs úton, cukor alapon előállítható. Ez azonban ma már, amikor a bioenergia egyik letéteményese a biodízel, lényegében jelentőségét veszítette. A biodízel előállításakor ugyanis nagy mennyiségű glicerín képződik a növényi trigliceridek átszterezeésekor, tehát a probléma inkább az, hogy milyen hasznos termékeké alakítható át ez a glicerín felesleg. Ismert, hogy az 1,3-propándiol tereftálsavval képzett kopolimerje a poli-trimetilén-tereftalát egy igen ígéretes műanyag, amelyet a Shell (Corterra[®]) is és a DuPont (Sorona[®]) is nagymennyiségben gyárt. Az 1,3PD-t ezek a vállalatok részben szintetikus, részben ma már biotechnológiai úton, glükózból kiinduló *de novo* fermentációval állítják elő. Laboratóriumunk egy olyan eljárás kidolgozását célozza meg, amely az 1,3PD-t enzimes úton glicerínből állítja elő oly módon, hogy az alapanyag glicerín egyidőben két különböző terméké diszproporcionálódik: az 1,3PD mellett ekvimolárisdihidroxi-aceton is képződik (3. ábra).



3. Ábra. Az 1,3-propán-diol enzimes előállítása

A biotechnológiában tehát – akár a *de novo* eljárások akár a biotranszformációk tekintetében - nagy lehetőség rejlik a hagyományosan petrokémiai alapon gyártott egyes alapanyagoknak a cukoralapú előállításában. Egy ilyen alapvegyület egy egész kémia-fejezetnyi intermedier illetve végtermék előállítását teszi lehetővé.

A bioalapú eljárások területén nagyon gyors fejlődés várható, aminek következtében a kémiai ipar jelentősen át fog alakulni és a ma technológiáinak meghatározó része bioipari technológiává fog válni. A vizsgált eljárások zöme már ma is adott, csupán gazdasági kérdés, hogy mikor kerülnek bevezetésre. Ezt a gyors fejlődést az teszi lehetővé, hogy a biotechnológiában hihetetlen sebességgel keletkeznek új tudományos eredmények, a genomikai és proteomikai technológiák új enzimekhez, biokatalizátorokhoz vezetnek, amelyeket alapanyagok, intermedierek és termékek előállítására lehet felhasználni. Rekombináns technológiával és a genetikai mérnökség eredményeinek felhasználásával új mikrobákat állítanak elő, illetve extremofileket és más új exotikus mikrobákat vonnak be az ipari, illetve környezeti eljárásokba, amelyekkel kémiai alapanyagok, polimerek, enzimek, üzemanyagok állíthatók elő. A várható fejlődési ütemet jelzi, hogy az USA egy kormányzati bizottsági jelentése szerint a ma kb. 5%-nyi biomassza részeseledést a kemikáliák és „anyagok” területén 2010-re 12, 2020-ra 18 és 2030-ra 25%-ra kívánatos emelni.^{2,3}

Hivatkozások

1. NREL: What is a Biorefinery? <http://www.nrel.gov/biomass>
2. M. Gavrilescu, Y. Chisti : *Biotechnology Advances* **23** (2005) 471–499.
3. Vision 2002: Vision for Bioenergy and Biobased Products in the US, Biomass Technical Advisory Committee, Washington DC, Oct 2002

Biobased chemistry

Recently more than 90% of the chemicals are produced from mineral oil or earth gas. The possible increase in the shortage of fossil raw materials is the driving force of looking for alternative, renewable raw materials and energy sources. Before the oil based chemical industry became general, agricultural origin biomass and microbial fermentations were the main sources of a series of bulk chemical products. These biotechnologies have been developed from the brewing industrial fermentations that are known since thousands of years.

Today we are facing to a new renaissance and rediscovery of these technologies: biotechnology is an “old wine in a new barrel”.

Fortunately biochemical activity of microorganisms serves an almost unlimited possibility to produce simple (but platform forming) chemicals (acetic acid, lactic acid etc.) from which hundreds of further chemicals can be synthesized. This fact and the unforeseeable and enormously fast upraise of new biotechnical (genetics, bioinformatics) methods result in a fast increase in the proportion of bio-based chemicals of the whole chemical industry that may be as much as 25% in 2030.

This short paper shows some important features of the biotechnologies in the territory of “white chemistry” and through several examples focuses onto the huge possibilities of these kinds of biomass chemical raw → material conversions.