

Szénhidrátok mindenütt

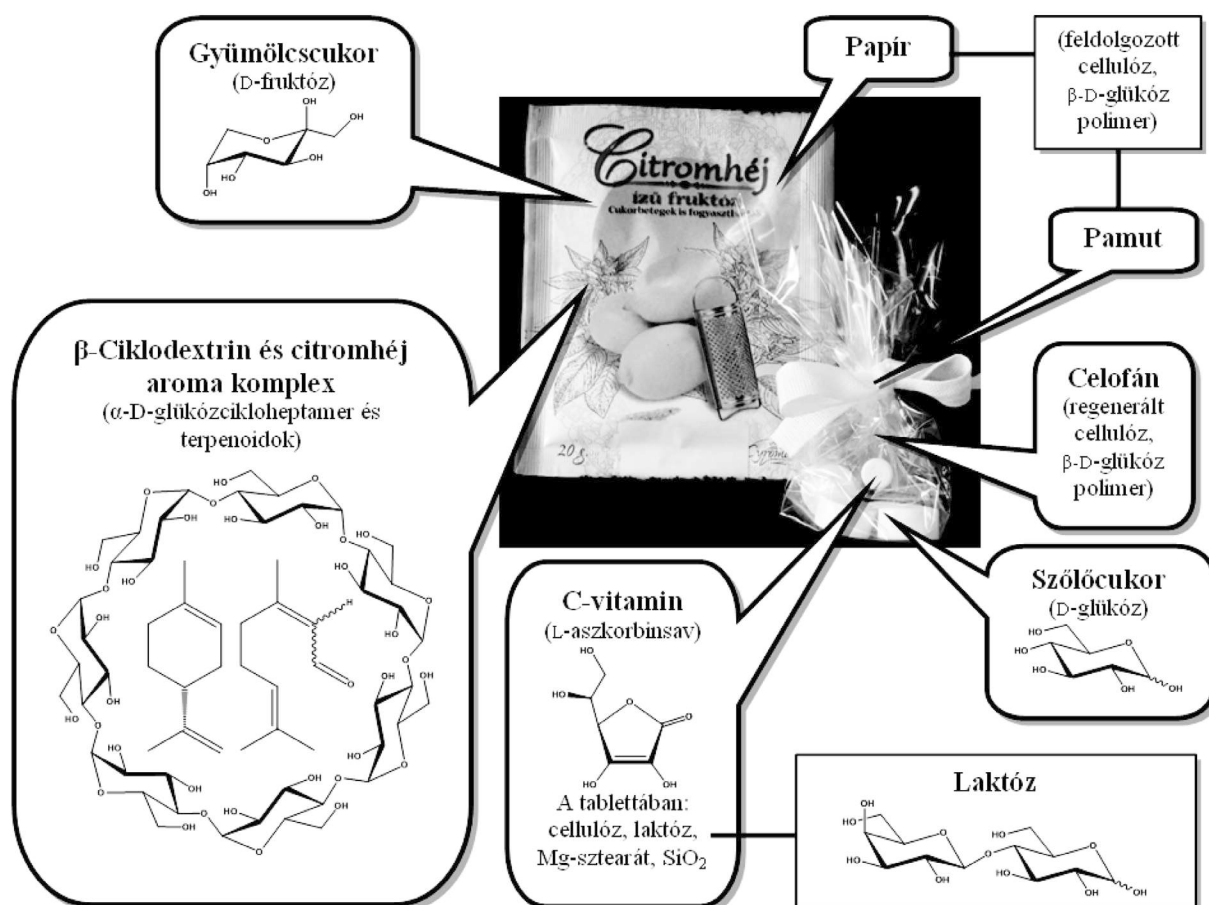
SOMSÁK László^{a,*} és PINTÉR István^b

^aDebreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Szerves Kémiai Tanszék, H-3032 Debrecen, Pf. 20.

^bEötvös Loránd Tudományegyetem, Szerkezeti Kémia és Biológia Laboratórium, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

A tudományos ülésszak hallgatóságát a székekre helyezett kis csomagok (1. Ábra) fogadták, amelyek minden alkotórészükben különféle szénhidrátokat tartalmaztak. A szervezők bevezetésként ezzel mutatták be a szénhidrátok és származékaik széles körű elterjedtségét és változatos felhasználási lehetőségeiket, aminek révén ezek az anyagok életünk minden pillanatában körülvesznek bennünket. A legerjedtebb egyszerű cukor, a D-glükóz szőlőcukor tabletták formájában került a csomagokba (és a résztvevők azonnal hasznosuló tápanyagként hamarosan el is fogyasztották). A D-glükóz β -1,4 kötésű polimerje,

a közismert cellulóz különböző feldolgozott formákban a csomagolóanyagokat alkotta (papír, pamut, celofán). A papírtasakokba cukorbetegség által is fogyasztható D-fruktóz (gyümölcscukor) került, amelyet a D-glükóz α -1,4 kötésű cikloheptamerjével, a β -ciklodextrinnel stabilizált természetes citromhéj aromával (fő komponensei terpenoidok: (+)-limonén és citrál = geraniál + nerál) ízesítettek. Egy C-vitamin tablettát egészítette ki az előbbieket, melynek hatóanyaga maga is szénhidrátszármazék (L-treohexulozono-1,4-lakton-2,3-éndiol), töltőanyagai pedig egyebek mellett cellulóz és az igen fontos laktóz (tej cukor).



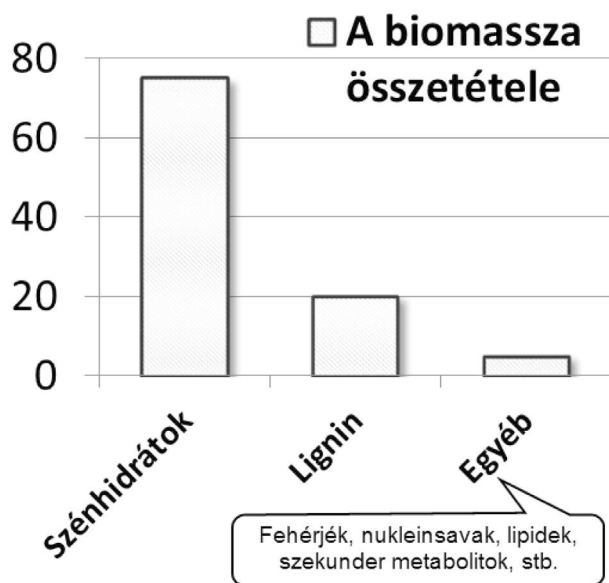
1. Ábra. Különböző szénhidrátokat tartalmazó ajándéksomag.

A szénhidrátok jelenléte és felhasználása végigkíséri az emberi történelmet annak hajnalától napjainkig. A sörfőzés, amelynek egyik fő folyamata a gabonamagvak keményítő-tartalmának lebontásából származó glükóz fermentációs feldolgozása, az ókori Mezopotámiában és Egyiptomban egyrészt áldozati, másrészt mindennapi táplálékul is

szolgáló, üdítő ital készítését jelentette.¹ Kínában már az i. e. 2. században kidolgozták a papírkészítést,² mely Európában fejlődött tovább a farostok lignintartalmának eltávolításával.³ A ma mindennaposan használt asztali cukor (kristálycukor, szacharóz) kinyerése cukornádból, később cukorrépából szintén több évszázados múltra tekint vissza.⁴

A Magyar Tudomány Ünnepe 2014. évi rendezvénysorozatában az MTA Kémiai Tudományok Osztálya „Ezerarcú szénhidrátok” címmel rendezett tudományos ülésének bevezető előadása és zárszava alapján.

* e-mail: somsak@tigris.unideb.hu



2. Ábra. A biomassza fő alkotói.

A szénhidrátok sokoldalú hasznosítása voltaképpen nem meglepő, hiszen az emberek környezetében található szervesanyag-tömeg, a biomassza mintegy 3/4 része cukorszarmazék, elsősorban poliszacharid (2. Ábra). A biomassza évente újratermelődő teljes tömege ~170-200 milliárd tonnára tehető, amely ~105 milliárd tonna szén-tartalmaz.⁵ A szénhidrát-tartalom legnagyobb részét a már említett **cellulóz és a hemicellulóz** teszi ki (az utóbbi fő komponense a **xilóz**, de számos más monoszacharid is előfordulhat benne), amelyek a növényi sejtfalak fő alkotórészei. A fás szárú növényekben a ligninnel együtt képezik az igen ellenálló vázanyagot, a **lignocellulózt**. Elterjedt vázanyag továbbá a **kيتين** (az **N-acetil-D-glükózamin** β -1,4 kötésű polimerje), amely gombákban, ízeltlábúakban, puhatestűekben, lábasfejűekben fordul elő. A poliszacharidok alapvető fontosságú típusai a változatos tartaléktápanyagok: legismertebbek a **keményítő** a növényvilágban és a **glikogén** az emberi illetve állati szervezetekben. Ezekben a D-glükóz építőkövek α -1,4 kötésekkel (amilóz), valamint α -1,6 kötésű láncelágazásokkal (amilopektin, glikogén) kapcsolódnak össze.

A nagy tömegben előforduló poliszacharidokat igen változatosan hasznosítják. A fent említett „ösi” technológiákon túl számos újabb felhasználás is már évszázados múltra tekinthet vissza, a fejlesztés pedig folyamatos:

- **cellulóz** alkalmazása regenerált formában fonalak, textíliák, csomagoló- és bevonó anyagok, szivacsok előállítására,
- **cellulóz éterekké** alakítva eldobható edényekként, gyógyszerek, ragasztók, festékek, lakkok, kencék, tinták, építési tömítőanyagok alkotórészeként,
- **cellulóz acetát** formájában textíliák, szűrőmembránok, műanyagtárgyak, filmek készítésére,
- **cellulóz nitrátok** (nitrocellulóz) robbanó- és hajtóanyagok, lakkok, celluloid (pingponglabda) előállítására;
- **keményítő** élelmiszeripari használata sűrítőanyagként, állományjavítóként, valamint jelentős ipari felhasználása kozmetikumokban, gyógyszerekben, textíliák és papíráruk

készítésekor, építőanyagok reológiai tulajdonságainak módosítására;


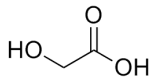
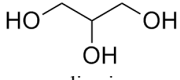
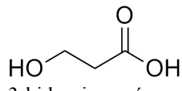
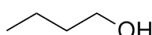
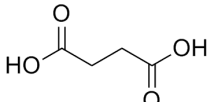
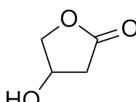
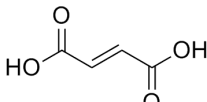
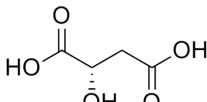
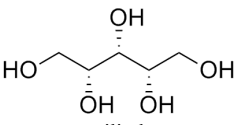
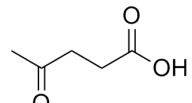
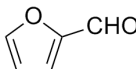
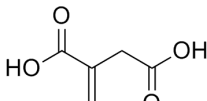
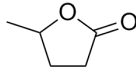
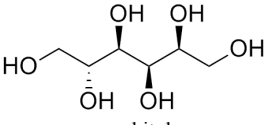
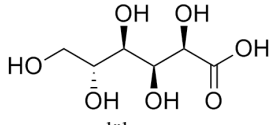
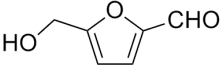
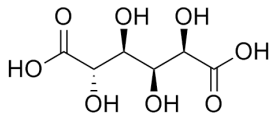
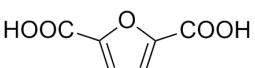
- **kيتين** alkalmazása ehető filmek, bevonatok, sűrítő és stabilizáló adalékok kialakítására, festékek, ragasztók, szövetek, papírféleségek kötőanyagaként, ipari membránok, ioncserélő mátrixok, lebomló sebészeti fonalak, sebgyógyulást segítő anyagok, csomagoló- és kötőanyagok készítésére.

Ez a lista szinte tetszőlegesen folytatható. Napjainkban is folynak olyan kutatások, amelyek újabb utakat tárnak fel pl. a cellulóz új formában történő előállítására, amelyek további alkalmazási lehetőségeket nyithatnak meg. Ilyenek a mikrofibrilláris és nanokristályos cellulóz formák, valamint a bakteriális nanocellulóz, amelyek egyebek között filmképzőként, véredény implantátumként kaphatnak szerepet.⁶

A nagy mennyiségben hozzáférhető szénhidrátok szerves nyersanyagként történő hasznosítására a múlt század utolsó negyedében már szisztematikus kutatások folytak, melyek eredményeit egy könyvsorozatban is összefoglalták.⁷⁻¹¹ Mindez ma már az ún. „biofinomító” (biorefinery) koncepció része,¹² amely az energiatermelést (mindenekelőtt a közlekedés és szállítás folyékonyüzemanyag-szükségletét) és a különböző kemikáliák előállítását a megújuló biomasszára alapozva oldja meg. Környezetkímélő alternatívát nyújt ezzel a ma uralkodó, fosszilis nyersanyagokat felhasználó „olajfinomító” technológiákkal szemben. E törekvések hajtóereje az olajfüggőség csökkentése, az üvegházgázok kibocsátásának mérséklése, a fenntartható fejlődés biztosítása és a vidékfejlesztés. A szénhidrogén alapú eljárásokban az ún. platform kemikáliák (nagy mennyiségben, olcsón hozzáférhető, kis molekulatömegű, változatosan átalakítható vegyületek) a C2-C4 olefin (etilén, propilén, butének, butadién) és a BTX aromások (benzol, toluol, xilolok). Mindezek szénhidrát bázison, pl. glükózból is előállíthatók, azonban a szénhidrát biomassza számos egyéb, oxigént is tartalmazó platform kemikáliát is kínál, amelyek továbbalakítása során nincs szükség oxidatív funkcionálizálásra, sőt a környezetet jobban kímélő redukív átalakítások kerülhetnek előtérbe.^{13,14} (1. Táblázat).

Az üzemanyag-adalékként is használható **etanol** előállítása ma is szinte kizárólag fermentációs úton történik (3. Ábra), amihez a nyersanyagot (**szacharóz és keményítő**) az emberi étellemezésre és takarmányozásra is szolgáló cukornádból és cukorrépából, illetve gabonafélékből és burgonyából nyerik. Ezek az ún. első generációs bioüzemanyag technológiák – az alapanyagok ilyen célú felhasználása miatt – szükségképpen felvetnek etikai, sőt környezeti és politikai aggályokat is. Jelentős erővel folyik ezért a második generációs eljárások kifejlesztése, amelyek **lignocellulózt** tartalmazó mező- és erdőgazdasági, valamint ipari hulladékokat/maradékokat és nem táplálkozási célra szolgáló, akár rossz minőségű termőterületeken is megülő növényeket használnak fel. Szemben az első generációs módszerekkel, amelyek a növényeknek csak viszonylag kis hányadát (pl. gyökér, szár, termés) dolgozzák fel, a második generációs eljárásokban a teljes biomassza hasznosítása lehetséges. A még a fejlesztés kezdeti fázisában levő harmadik generációs módszerekkel¹⁵ algák és mikroorganizmusok bioüzemanyaggá történő feldolgozása várható.¹⁶

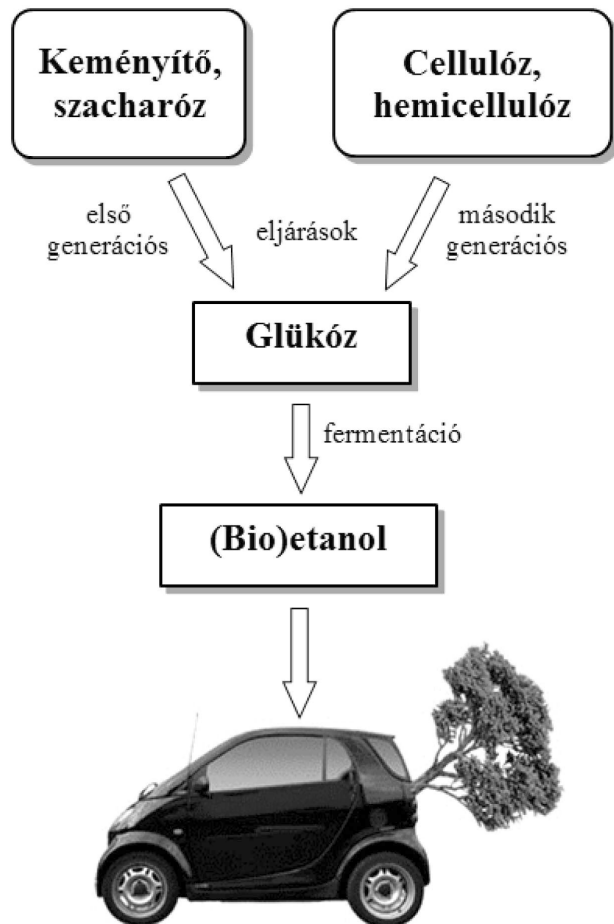
1. Táblázat. Szénhidrátokból nyerhető platform kemikáliák

Szénatom- szám	Vegyülettípus		
	(Poli)alkoholok	Karbonsavak	Gyűrűs származékok
C2	 etanol	 glikolsav	
C3	 glicerin	 3-hidroxi-propánsav	
C4	 butanol	 borostyánkősav	 3-hidroxi-butyrolakton
		 fumársav	
		 L-almasav	
C5	 xilitol	 levulinsav	 furfural
		 itakonsav	 γ -valerolakton
C6	 szorbitol	 glükonsav	 5-hidroximetil-furfural (5-HMF)
		 glükársav	 2,5-furán-dikarbonsav

A szénhidrátok nemcsak a legnagyobb tömegben előforduló szerves anyagok, hanem az élet minden területén a legerjedtebben előforduló, rendkívül jelentős molekulák is. Részt vesznek a **genetikai információ** tárolásában, átadásában és a fehérjék nyelvére történő lefordításában központi szerepet játszó nukleinsavak felépítésében. Minden élő sejt felszínét egy szénhidrátokból álló réteg, a **glikokalix** (a sejtmembránba beépülő glikoproteinek és glikolipidek kifelé mutató cukorrészeinek összessége)¹⁶ borítja. A sejtközi állomány túlnyomó részét **glikoproteinek** (fehérjék és cukorszármazékok kovalensen kötődő

konjugátumai) és **proteoglikánok** (mukopoliszacharidokkal sűrűn glikozilezett fehérjék, pl. 4. Ábra) alkotják. A citoszolban és a sejtmagban található fehérjék mintegy 90 %-a is glikozilezett (egy vagy több ponton mono- vagy oligoszacharid kapcsolódik hozzá).

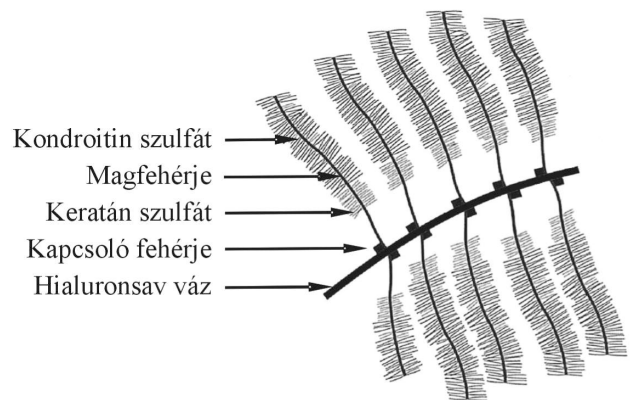
A glikobiológiai és glikomikai vizsgálatok, melyek a fenti **glikokonjugátumok** életfolyamatokban betöltött szerepét, illetve egy adott sejt vagy akár szervezet által termelt szénhidrátállomány összetételét és funkcióját tanulmányozzák, már ma is a bizonyítékok egész sorával igazolják, hogy a



3. Ábra. A második generációs bioetanol technológiák a táplálkozásra nem alkalmas növényeket, hulladékokat dolgozzák fel.

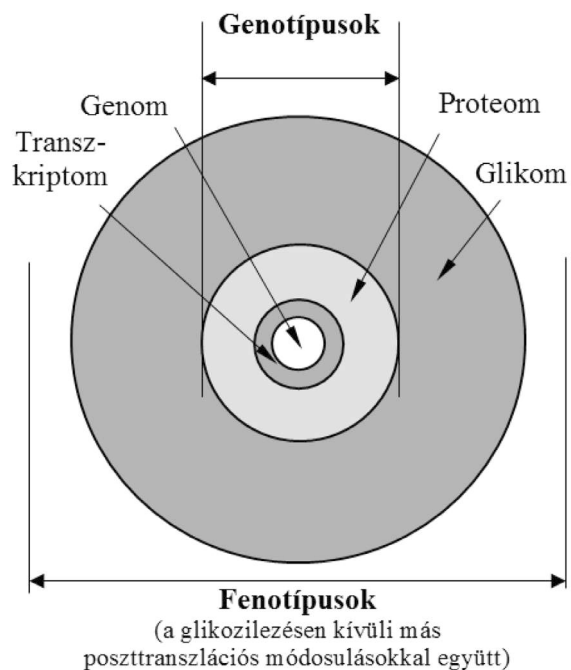
szénhidrátok lényegében minden fiziológiai és patológiai folyamatban kulcsszerepet játszanak. A sejtfelszíni oligoszacharid mintázat adja a sejtek „ujjlenyomatát”, amely képes azonosítani a sejt típusát (pl. összejt–differenciált sejt), vagy éppen állapotát (ép/egészséges–megváltozott/beteg sejt). Az ehhez szükséges információtárolási kapacitás csak a szénhidrátok által megvalósítható szerkezeti sokféleség alapján áll rendelkezésre, ezért tekintjük a szénhidrát struktúrákban foglalt információt, a **szénhidrátkódot** a **biológia harmadik nyelvének**.¹⁷ Míg az aminosavakból, illetve nukleotidokból képződő lineáris biopolimerek esetén az információ rögzítésére csak a szekvencia ad lehetőséget, a szénhidrátok a monomerek polifunkciós jellegéből következően elágazó szerkezeteket is kialakítanak. Ennek következtében már a konstitúciós izomerek száma is óriási: pl. a 4 nukleotid, 20 aminosav, illetve a 20 leggyakoribb monoszacharid részvételével létrehozható hexamerek száma 4096 hexanukleotid, 64 000 000 hexapeptid és 192 780 943 360 hexaszacharid.¹⁸ Ehhez járul a további módosítások lehetősége a szabad hidroxilcsoportok acetilezése, metilezése, szulfonilezése, foszforilezése, stb. által, amely már olyan csillagászati számú variációs lehetőségeket rejt, ami alkalmas az említett kódolásokra.¹⁹

A génkészlet nem tartalmaz közvetlen információt a szénhidrát struktúrák szerkezetére, csak a létrehozásukat és lebontásukat katalizáló enzimek szekvenciáját kódolja. Ennek következtében a **glikánok** szerkezetének, mennyiségének,



4. Ábra. Egy proteoglikán, a porcşövetben nagy mennyiségben előforduló aggregáns vázlatos szerkezete (kondroitin szulfát, keratan szulfát, hialuronsav: polianionos nyálka-poliszacharidok).

gyakoróságának kialakulásában az adott szervezet környezetének, élethelyzetének, epigenetikai tényezőknek alapvető szerepük van. Ily módon értelmezhetővé válik az a felismerés, hogy a génkészlet nagysága nem képes magyarázni az élővilág sokféleségét vagy akár csak egy adott szervezet összetettségét sem. A megfigyelhető biológiai diverzitás és komplexitás – a fenotípusos megjelenési formák jóval nagyobb száma a genotípusokhoz képest – a fehérjék poszttranszlációs módosulásai révén alakul ki, melyek között a **glikozilezés** az egyik legelterjedtebb és a legbonyolultabb (5. Ábra).

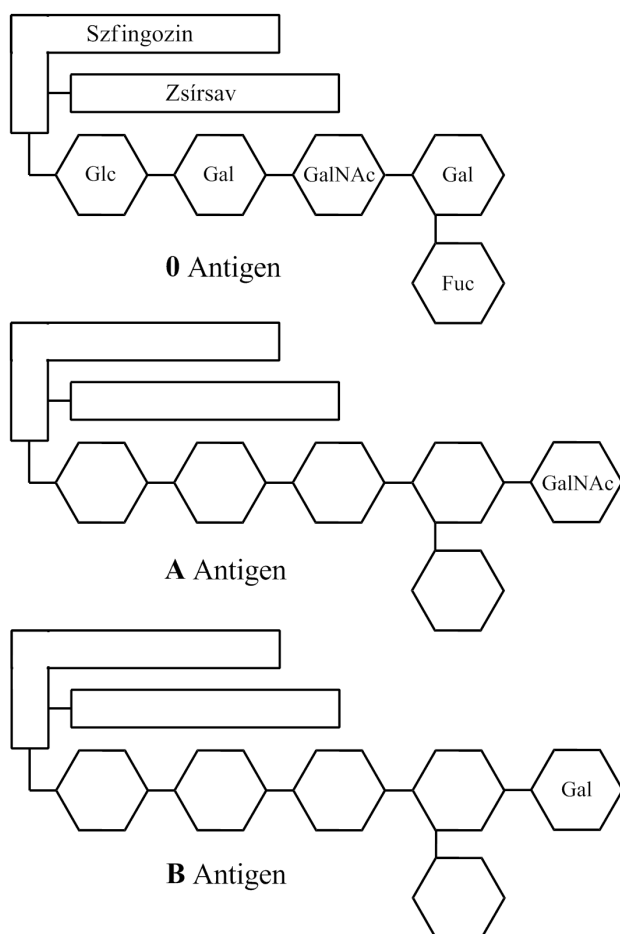


5. Ábra. A biológiai makromolekulák információhordozó kapacitása a szerkezeti sokféleség alapján (logaritmusos lépték).

A fenotípusos variációk egyik közismert esete az **emberi vércsoportok** eltérése, ami szintén szénhidrát szerkezetek különbözőségére vezethető vissza (6. Ábra).

A **sejtfelszíni glikánok** közvetítése nélkül nem történnének meg olyan alapvető biológiai jelenségek, mint a megtermékenyítés (az ivarsejtek egymásra találása), a

sejtdhézió, a sejtsztdadás kontakt gátlása, az immunválasz kialakulása, a vírusreplikáció, a parazitafertözések, a gyulladáshos folyamatok, vagy a hormonok, toxinok megkötözése a sejteken.



6. Ábra. Az ABO vércsoportokat meghatározó glikoszfinbolipid antigének vázlatos szerkezete.

A sejtplazmában lévő **fehérjék glikozilezésének** funkciói pl. proteázokkal vagy antitestekkel szembeni védelem, a natív konformáció stabilizálása, biológiai funkciók ki- vagy bekapcsolása, töltések hordozása, víz megkötözése.

Csak az utóbbi két évtizedben vonták részletesebb tanulmányozás alá a mind a sejtplazmában, mind a sejtmagban általánosan előforduló, *N*-acetyl- β -D-glükózamminnal történő monoglikozilezést (***O*-GlcNAc-ilezés**). Ez a módosulás kiegészíti a fehérjék foszforilezését, amennyiben azonos aminosav oldalláncokon megy végbe, illetve verseng is avval a szabályozó funkciók megvalósításában. Az *O*-GlcNAc-ilezés szerepét egyebek között kimutatták a transzkripciónak, a translációnak, a hősokkfehérjék működésének, a fehérjék szelektálásának és életciklusuknak a szabályozásában, stressz- és tápanyag szenzorként, valamint egyebek között diabetesben, rákban és neurodegeneratív betegségekben.²⁰

A **szénhidrátok a gyógyszerkincsben** az orvosi gyakorlatban kiterjedten alkalmazott számos természetes eredetű és szintetikus hatóanyagban megtalálhatók. A szénhidrát egység hiánya jellemzően a hatás elvesztésével jár.

A teljesség igénye nélkül sorolunk itt fel néhányat:

- **Monoszacharid származékok** – antraciklin antibiotikumok (pl. Doxorubicin, Daunorubicin és félszintetikus származékaik, amelyek citotoxikusak, rákellenes hatásúak), nukleozidok, nukleotidok (pl. a leukémia ellen javallt FludarabinePhosphate, a HIV elleni Stavudine, az antiaritmiás hatású Adenosine, az RSV vírus ellen aktív Ribavirin, a kardioprotektív Acadesine, a magyar fejlesztésű, herpeszvírus ellen alkalmazott Hevizos), az antifungális poliénmakrolid Amphotericin B, a rák kemoterápiában használt Etoposide és Pentostatin, a Lincomycin és a Clindamycin. Több monoszacharid egységet tartalmaz néhány makrolid antibiotikum, (pl. Erythromycin, Dirithromycin, Clarithromycin, Azithromycin).
- **Diszacharidok és konjugátumaik** – pl. a gasztro-intesztinális fekélyek ellen javallt Sucralfate, a bélműködést serkentő Lactulose, a glikopeptid antibiotikum Vancomycin.
- **Triszacharidok** – pl. a Tobramycin antibiotikum, a szívre ható szteroid glikozid Digoxin.
- **Oligo- és poliszacharidok** – pl. az antitrombotikus hatású heparin és szintetikus analogonjai, a baktericid Streptomycin és Neomycin, a II. típusú diabetes kezelésére alkalmazott Acarbose.²¹

A glikobiológiai ismeretek szaporodásával egyre több új, gyakran a szerkezetalapú gyógyszertervezés alkalmazásával kifejlesztett szénhidrátszármazék és **glikomimetikum** kerül gyógyszerügyi forgalomba: pl. az influenzavírus ellen alkalmazott Relenza és Tamiflu, a Gaucher-betegségben használt Zavesca, az epilepszia elleni Topamax, az osteoarthritisben javallt Orthovisc. Számos, a szénhidrát-lektin kölcsönhatásokat befolyásoló szer van a klinikai kipróbálás különböző fázisaiban, amelyek pl. kardiovaszkuláris károsodások, asztma, pikkelysömör, allergiás bőrbántalmak, mélyvénás trombózis, daganatos áttétek esetén hozhatnak újszerű megoldásokat.²²

Patogénekből származó poliszacharidok és immunogén proteinek konjugátumai (**konjugált vakcinák**) már a piacon, illetve klinikai kipróbálás alatt vannak baktériumok, gombák, vírusok, paraziták, tumorok ellen.²³

A fentiekben vázlatosan érintett ismeretek és a fejlesztések alapján a szénhidráttudomány várhatóan igen jelentősen hozzájárulhat az **egészségtudomány, egészségipar** fejlődéséhez (pl. új gyógyszercezpontok, hatásmechanizmusok, hatóanyagok felfedezésével/kifejlesztésével, vagy a személyre szabott orvoslás terén), az **energiatermeléshez** (a növényi sejtfaalakban tárolt energia felhasználása bioüzemanyagok formájában), az **anyagtudomány** és a **vegyipar** újabb irányainak létrehozásához (pl. szénhidrát polimerek felhasználásának szélesítése, szénhidrátok, mint szerves vegyipari nyersanyagok). Ennek érdekében az alábbi területeken várható és/vagy szükséges jelentős eredményeket/átöréseket elérni: **szintézis** (tetszőleges glikán előállítás, glikánszintézis automatizálása, glikoenzim inhibitorok tervezése és készítése), **analitika** (technológiák kidolgozása biológiai mintákból származó glikánok, glikokonjugátumok tisztítására, szerkezetük azonosítására), **glikoenzimek** (gének és enzimaktivitások azonosítása, hasznosításuk),

glikoinformatika (glikán adatbázisok, számítási kémia, molekulamodellezés).

Az egyre gyarapodó szénhidráttudományi felismerések csak akkor tudnak széles körben hasznosulni, ha e korszerű ismeretek az oktatásba is eljutnak. Szükséges a modern **glikotudományok integrációja** a megfelelő tantárgyakba a képzési rendszer minden szintjén (beleértve a középfokú képzést is), és **oktatásuk** a kémia/vegyészmérnöki szakokon túl a biológiai/biomérnöki, orvosi, anyagtudományi területeken is, hogy ezáltal mind a nagyközönség, mind a kutatók részéről gyorsabban megvalósulhasson a szénhidrátokkal kapcsolatos kutatási eredmények befogadása és hasznosítása.

A „szénhidrátok mindenütt” vezérmotívum jegyében álljon itt egy rövid lista a nagyvilágban és főképp Európában működő jelentős glikotudományi központokról:

- *Ausztrália* - Institute for Glycomics, Griffith University (<http://www.griffith.edu.au/science-aviation/institute-glycomics>)
- *Ausztria* - Glycobiology Division, Vienna Glycobiology, (<https://www.chemie.boku.ac.at/en/abteilung-fuer-biochemie-dchbc/glykobiologie-gruppe/>)
- *Ausztria* - Molecular Glycobiology, BOKU (<http://www.chemie.boku.ac.at/abteilung-fuer-biochemie-dchbc/glykobiologie-gruppe/gruppe-wilson/?&L=1>)
- *Csehország* - Department of Carbohydrates and Cereals (<http://sch.vscht.cz/wp/>)
- *Dánia* - Copenhagen Center for Glycomics (<http://glycomics.ku.dk>)
- *Egyesült Államok* - National Center for Glycomics and Glycoproteomics (<http://www.ncgg.indiana.edu/>)
- *Európai Unió* - European Science Foundation, EuroGlyco Forum (<http://www.egsf.org/>)
- *Finnország* - Finnish Glycoscience Graduate School (<http://www.hi.helsinki.fi/ggs/english/>)
- *Franciaország* - Centre de Recherches sur les Macromolécules Végétales (Cermav), CNRS (<http://www.cermav.cnrs.fr/en/user/1407>)
- *Hollandia* - Bio-organic Synthesis, Leiden Institute of Chemistry (<http://biosyn.lic.leidenuniv.nl>)
- *Hollandia* - Carbohydrate Competence Centre (<http://www.cccresearch.nl/en/>)
- *Horvátország* - Faculty of Pharmacy and Biochemistry, University of Zagreb (<http://lauc.pharma.hr>)
- *Írország* - National Institute for Bioprocessing Research and Training (NIBRT) (<http://www.nibr.ie>)
- *Írország* - Glycoscience Ireland (<http://www.glycoscienceireland.ie/>)
- *Japán* - Mizutani Foundation for Glycoscience (<http://www.mizutanifdn.or.jp/>)
- *Kanada* - Alberta Glycomics Center (<http://www.glycomicscentre.ca/>)
- *Lengyelország* - Laboratory of Fungal Glycobiology (<http://www.ibb.waw.pl/en/structure/ibb-departments/laboratory-fungal-glycobiology>)
- *Nagy-Britannia* - Glycosciences Laboratory (<http://www1.imperial.ac.uk/glycosciences/>)

- *Nagy-Britannia* - GlycoTRIC (<http://www3.imperial.ac.uk/glycotric>)
- *Nagy-Britannia* - Oxford Glycobiology Institute (<http://www.bioch.ox.ac.uk/glycob/>)
- *Nagy-Britannia* - York Structural Biology Laboratory (<http://www.york.ac.uk/chemistry/research/ysbl/>)
- *Németország* - Max Planck Institute of Colloids and Interfaces (<http://www.mpikg.mpg.de/en/bs>)
- *Norvégia* - Norwegian Biopolymer Laboratory, NTNU (<http://www.biotech.ntnu.no/nobipol/index.php>)
- *Olaszország* - Biotechnology and Biosciences Department, Milano-Bicocca (<http://www.unimib.it/go/888888907/Home/Italiano/Elenco-Docenti/NICOTRA-FRANCESCO-dipartimento-di-biotechnologie-e-bioscienze>)
- *Olaszország* - Chemistry for Life Sciences, University of Milan (<http://eng.chimica.unimi.it/ecm/home/research/themes-and-lines-of-research/chimica-per-le-life-sciences>)
- *Portugália* - Carbohydrate Chemistry - Center of Chemistry and Biochemistry, University of Lisbon (<http://cqb.fc.ul.pt/research/carbohydrate-chemistry/>)
- *Svájc* - Institute of Microbiology, ETH-Zurich (<http://www.micro.biol.ethz.ch/research/aebi/maebi>)
- *Svájc* - SIB Swiss Institute of Bioinformatics (<http://www.isb-sib.ch>)
- *Svédország* - GOTGLY (<http://www.biomedicine.gu.se/biomedicine/research/niclas-karlsson/gothenburg-glycosciences/>)
- *Szlovákia* - Department of Structure and Function of Saccharides, Slovak Academy of Sciences (<http://www.modlab.chem.sk/home/projects/projects.html>)

A listából kitűnik, hogy nemcsak a tudományos nagyhatalmak, hanem a Magyarországgal összevethető lélekszámú és nemzeti jövedelmű országok is fenntartanak a szénhidráttudományi területeken működő intézményeket, kutatócsoportokat, alapítványokat, hálózatokat. Hazánkban a szénhidráttudományok messze nem élveznek ilyen támogatást. A Magyar Kémiai Folyóirat 2002. novemberi számában a magyarországi szénhidrátkémiai kutatások első évszázadáról megjelent összefoglaló²⁴ mintegy 20 kutatóhelyről tesz említést. A 2012-ben az MTA Kémiai Tudományok Osztálya részére készült helyzetjelentés már csak fele ennyi aktív kutatási egységet sorolt fel, amelyek fő- vagy mellékprofilként szénhidrátokkal foglalkoznak. Közülük az *MTA TTK Szénhidrátkémiai Laboratóriuma* 2014 végén befejezte működését.

A „**Szénhidrátok mindenütt**” megközelítést kozmikus méretűre tágítja egy egészen új felismerés: az *Európai Déli Obszervatórium* ESO ALMA (European Southern Observatory Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) antennarendszerével cukormolekulákat fedeztek fel egy fiatal kettősécsillag, az IRAS 16293-2422 körül.²⁵ Ez az első alkalom, hogy egy kialakuló bolygórendszerben azonosították az élet egyik fontos alkotóelemét: **glikolaldehid** (HO-CH₂-CH=O) molekulát, vagyis egyszerű cukrot észleltek.²⁶

Hivatkozások

1. <http://www.ancient.eu/image/573/> (Dec 15, 2014)
2. http://www.ipst.gatech.edu/amp/collection/museum_invention_paper.htm (Dec 17, 2014)
3. <http://www.hrc.utexas.edu/educator/modules/gutenberg/invention/papermaking/> (Dec 14, 2014)
4. <http://books.google.co.uk/books?id=Y96agmiQP7gC&lpg=PA24&pg=PA24#v=onepage&q&f=false> (Dec 16, 2014)
5. Field, C. B.; Behrenfeld, M. J.; Randerson, J. T.; Falkowski, P. *Science* **1998**, *281*, 237-240.
6. Klemm, D.; Kramer, F.; Moritz, S.; Lindstrom, T.; Ankerfors, M.; Gray, D.; Dorris, A. *Angew. Chem. Int. Edit.* **2011**, *50*, 5438-5466.
7. Lichtenthaler, F. W., Ed. *Carbohydrates as Organic Raw Materials I*; VCH Weinheim, **1991**.
8. Descotes, G., Ed. *Carbohydrates as Organic Raw Materials II*; VCH Weinheim, **1993**.
9. van Bekkum, H.; Roper, H.; Voragen, F., Eds. *Carbohydrates as Organic Raw Materials III*; VCH Weinheim, **1996**.
10. Praznik, W.; Huber, A., Eds. *Carbohydrates as Organic Raw Materials IV*; WUV Universitätsverlag: Vienna, **1998**.
11. *Carbohydrates as Organic Raw Materials V*; http://cormv.fc.ul.pt/docs/Book_abstracts_CORMV.PDF: Lisbon, **2009**.
12. Cherubini, F. *Energ. Convers. Manage.* **2010**, *51*, 1412-1421.
13. Kobayashi, H.; Fukuoka, A. *Green Chem.* **2013**, *15*, 1740-1763.
14. Chatterjee, C.; Pong, F.; Sen, A. *Green Chem.* **2015**, *17*, 40-71.
15. Lee, R. A.; Lavoie, J.-M. *Animal Frontiers* **2013**, *3*, 6-11.
16. <http://biofuel.org.uk/third-generation-biofuels.html> (Dec 18, 2014)
17. Gabius, H. J.; Siebert, H. C.; André, S.; Jiménez-Barbero, J.; Rüdiger, H. *Chembiochem* **2004**, *5*, 741-764.
18. Werz, D. B.; Ranzinger, R.; Hergert, S.; Adibekian, A.; von der Lieth, C. W.; Seeberger, P. H. *ACS Chem. Biol.* **2007**, *2*, 685-691.
19. Turnbull, J. E.; Field, R. A. *Nat. Chem. Biol.* **2006**, *3*, 74-77.
20. Varki, A.; Cummings, R. D.; Esko, J. D.; Freeze, H. H.; Stanley, P.; Bertozzi, C. R.; Hart, G. W.; Etzler, M. E. Eds.; Cold Spring Harbor Laboratory Press: Cold Spring Harbor (NY), **2009**.
21. Klyosov, A. A. *ACS Symp. Ser.* **2012**, *1102*, 3-22.
22. Ernst, B.; Magnani, J. L. *Nat. Rev. Drug Discov.* **2009**, *8*, 661-677.
23. Astronomo, R. D.; Burton, D. R. *Nat. Rev. Drug Discov.* **2010**, *9*, 308-324.
24. Lipták, A.; Pintér, I.; Somsák, L. *Magy. Kém. Foly.* **2002**, *108*, 467-491.
25. Jorgensen, J. K.; Favre, C.; Bisschop, S. E.; Bourke, T. L.; van Dishoeck, E. F.; Schmalzl, M. *Astrophys. J. Lett.* **2012**, *757*.
26. <http://www.space.com/17345-sugar-molecules-discovered-young-star.html> (Dec 16, 2014)

Carbohydrates everywhere

This paper is based on the introductory presentation and the closing remarks of a scientific session organized by the Section of Chemical Sciences of the Hungarian Academy of Sciences in the frame of the Feast of the Hungarian Science 2014. Brief descriptions on carbohydrates are given from various viewpoints such as historical background, composition of biomass, utilization of bulk polysaccharides, sugars as organic raw materials in the biorefinery concept, production of bioethanol, glycans as the most widespread molecules in living organisms, sugar code as the third language

of biology, contribution of the glycom to the phenotypic diversity of living creatures, roles of glycans in biological recognition and signalling events, carbohydrates as constituents of drugs and vaccines. The potential of glycoscience in promoting health science, energy production and materials science is mentioned along with necessary developments in glycan synthesis and analysis, study of glycoenzymes and glycoinformatics. An impressive outlook to international development and existing centres of glycoscience called the attention to the situation of this field in Hungary showing an opposite tendency.