

A természetben elrejtett információ

A tudománynak olyan húrjait szeretném megpengetni, amelyek kevésbé ismertek a nagyközönség előtt. Mi ennek az oka? Van a kémiának egy hihetetlenül szép, de ugyanakkor mélyreható tudást igénylő és fáradságos munkával elsajátítható ága: a biokémia. Talán ez az oka annak, hogy a vegyészeken kívül, sokan oly keveset tudnak az élet „építőköveiről”. A sejt miniatűr világát molekulák „népesítik be”, s mint ilyenek, a vegyületek közül kimagaslanak bonyolultságuk és különleges térbeli formájuk alapján. A biokémia az élő szervezet sejtjeit, szöveteit, szerveit felépítő, ún. biomolekulák szerkezetének felderítésével foglalkozik, illetve olyan kémiai folyamatokat tanulmányoz, amelyekben a biomolekuláknak létfontosságú szerepe van. A biomolekulák négy nagy csoportba sorolhatók: fehérjék (proteinek), szénhidrátok (cukrok), lipidek (zsírok) és nukleinsavak. Ezek közül a legszámosabbak a fehérjék. Fehérjék a fő alkotói a hajnak, körömnek, szarvnak, agancsnak, kötőszövetnek, csontszövetnek, izmoknak. Fehérje szállítja az O₂-t, CO₂-t a vérben, izomszövetben, fehérjék (immunoglobulinok) töltik be a szervezet „harcosainak” szerepét, megvédve azt a kórokozóktól. Fehérjék, mint biokatalizátorok (enzimek) nélkül lehetetlenné válna a szervezet számára az anyagcsere, energiatermelés. Ha sikerült felkeltenem az érdeklődést e vegyületek iránt, akkor megpróbálom rendhagyó módon leírni őket úgy, hogy mindenki számára érthető legyen. Céлом eléréséért egy hosszabb bevezetőt szánok annak a fogalomnak a tisztására, amire maga a cím is utal: az információ.

Egy informatikai fogalomtár a következőképpen értelmezi az információt: „*az információ olyan tény, amelynek megismerésekor olyan tudásra teszünk szert, ami addig nem volt a birtokunkban*”; egy kommunikációtudományi enciklopédia pedig így fogalmaz: „*információnak nevezetűnk mindenféle adathalmazt, és olyan szimbólumsort is, melynek értelme van*”. A kibernetika atyja, Norbert Wiener még egy fontos ténnyel egészíti ki az értelmezési sort: „*az információ sem nem anyag, sem nem energia*”. Az információ nem az anyag tulajdonsága, hanem egy szellemi tevékenység eredménye, szellemi mennyiség.

Az információnak van egy adója és egy vevője. Az információ az adótól a vevőhöz egy információhordozón keresztül jut el (1. ábra). Az adónak van egy gondolata, szándéka, akarata, amit egy tetszőleges kód- vagy jelrendszer használatával eljuttat a vevőhöz, aki véghezviszi, megvalósítja az adó szándékát.



1. ábra. Az információ útja az adótól a vevőig

Az ábra szerint egy szerző (író, költő) kifejezi gondolatait egy regényben vagy versben felhasználva a betűket jelekként és könyv formájában eljuttatja a vevőhöz (olvasóhoz).

Az információt *öt szint* jellemzi. A könnyebb megértés céljából párhuzamot vonhatunk egy szakkönyvvel.

Az első szintje az információnak a *statisztika*. Tételizzük fel, hogy rátalálunk egy ismeretlen jellel megírt szövegre. Az első kérdések, melyekre választ szeretnénk kapni valószínűleg a következők lennének: „Hány betűből, szóból, számból tevődik össze a szöveg?”, „Hány betűs az ábécé?”, „Milyen gyakorisággal fordulnak elő egyes betűk, szavak?”. Ezeknek a kérdéseknek az egyértelmű megválaszolása után áttérhetünk az in-

formáció második szintjére. Leszögezhetjük, hogy a statisztika szintjén tetszőleges karakterlánc információnak tekinthető, függetlenül attól, hogy miként keletkezett, és értelmes-e vagy nem.

Az információ második szintje a *szintaxis*. Fel kell állítani egy formai és szerkezeti szabályrendszert, ami tetszőlegesen megválasztható, de mind az adónak, mint a vevőnek ismernie kell. Tetszőleges információ tetszőleges kódrendszerben ábrázolható. A szövegünk esetében ez a szabályrendszer nem más, mint az adott nyelv nyelvtana, azoknak a szabályoknak az összessége, amelyeket úgy a szöveg írójának, mint az olvasójának ismernie kell. A szintaxis szintjén nem követelmény a tartalom megértése, csupán a szabályok helyes alkalmazása. Példának vehetünk két kijelentést: „az éhes farkas üldözi a fűrge őzet”, illetve „a zöld szabadság üldözi a vak kerítést”. Mindkét kijelentés eleget tesz a nyelvtani szabályoknak, viszont értelme csak az elsőnek van. Ettől függetlenül a két kijelentés a második szinten információnak tekinthető.

Az információ harmadik szintje a *szemantika*, azaz a *jelentés, értelem*. Ezen a szinten a jelkészlet szabályszerű használata mellett követelménnyé válik a jelentéstartalom. Megmaradva a példaként említett két kijelentésnél: „az éhes farkas üldözi a fűrge őzet”, illetve „a zöld szabadság üldözi a vak kerítést”, megállapíthatjuk, hogy az utóbbi jelentéstartalom híján, mint információ jogosan elvethető. Az információt valaki szánja, küldi valakinek, tehát értelme kell, hogy legyen. Példánk esetében, megfejtve a jelrendszer szintaxisát és szemantikáját, értelmet kap a szöveg, a benne levő információ eljut a tudatunkba. Az információ tényén nem változtat az, hogy valamilyen vevő megérti-e vagy nem az adott információt, a szükséges feltétel csak azt követeli meg, hogy a célpontként kiválasztott vevő értelmezni tudja az információt.

A negyedik szintje az információnak a helyes cselekvésre való ösztönzés, a *pragmatika*. Az információnak hatnia kell a vevőre. A hatás lehet: engedmények nélküli (piros jelzőlámpa, egy parancs), korlátozott szabadságot biztosító (egy költemény, egy festmény), illetve teljes szabadságot biztosító (közmondás, jó tanács).

Az információ ötödik, egyben legmagasabb szintje a *cél, az eredmény*. Az adó eredményt ér el a vevőnél.

Az információ öt szintje egyetemes jellegű, egyformán jellemző bármely információra. A természetben az élőlények információt közölnek egymásnak. Ezt változatos formában valósítják meg: bizonyos cél eléréséért egyes állatok különböző hangokat hallatnak (énekesmadarak éneke, szarvasbögés, kutyaugatás stb.), mások fény által jeleznek egymásnak (világító bogarak, halak, rákok stb.), vagy testbeszéd által (méhek tánca, pókok násztánca stb.).

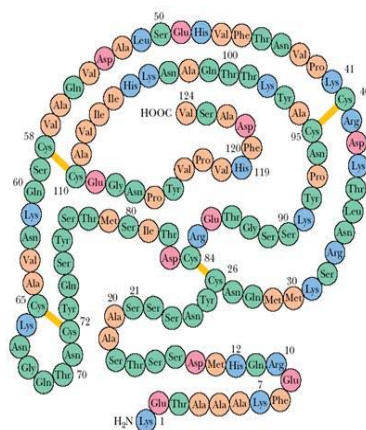
Az elmondottak fényében rendszerezhetjük a különböző információhordozókat: a hang (beszélt nyelvek, csalogató, figyelmeztető hívások az állatvilágban, zene stb.), a fény (villogó jelzések, kézmozdulatok, arckifejezés, testbeszéd, vonalkódok stb.), mágneses tér (mágneskártya, mágnesszalag), elektromágneses hullámok (telefon, rádió, tévé). Egy ötödik információhordozót is meg kell említeni, amelynek bonyolult felépítését 1953-ban fejtette meg James Watson és Francis Crick: a dezoxiribonukleinsav (DNS). Egyúttal arra is fény derült, hogy kémiai vegyületek is lehetnek információhordozók. A DNS mellett megemlíthetők még a feromonok és illatok. A DNS sokkal komplexebb információhordozó, mint az utóbbiak, amelyeknek csupán csalogató, figyelmeztető jelzések hordozásában van szerepük az állatvilágban. Ezekkel szemben a DNS inkább hasonlítható egy tudományos szakkönyvhöz, vagy inkább szakkönyv-sorozathoz. A megszokott könyveinkkel összehasonlítva a DNS végtelenül hosszúnak, hihetetlenül egysze-

rúnek, sőt – őszintén kimondhatjuk – unalmasnak tűnne. Jelkészlete mindössze négy kódból áll, melyeket a könnyű kezelhetőség kedvéért betűkkel jelölünk (A, C, G, T) és nukleotidoknak nevezünk. Ebben a „könyvben” minden egyes szó három-három betűből áll. A szókinca is eléggé szegényes, ugyanis 20 szó ismétlődik a „lapjain”, látszatra teljesen véletlenszerű sorrendben. A kódok írásjeleket is jelölnek, amelyekkel hosszabb szakaszok választhatók el. Hány betűből áll egy „DNS-könyv”? Egy baktérium DNS-e 5 millió, egy ember DNS-e pedig 6 milliárd betűből.

A DNS egy göndör hajtáncra emlékeztető láncszerkezetű molekula, amely hihetetlenül kompakt elrendezésben, ún. kromoszómákat alkotva helyezkedik el egy sejt párányi sejtmagjában. Ha kiegyenesítenénk egy emberi DNS-szálat, annak hossza közel 2 m lenne. Más megközelítésben: ha a nukleotidoknak megfeleltetett betűket a DNS-ben található sorrendben egy papírszalagra íránk, a szalag az Északi-sarktól a Déli-sarkig érne, sőt még azon is túl kb. 2000 km-rel (21770 km)! Ha egy ember elhatározná, hogy saját DNS-ét átírja az említett négy betűvel, naponta 8 órát megfeszített iramban dolgozna (kávészünet nélkül) a hét 5 napján, és évente szabadságra menne 30 napot, közel 48 évet kellene a munkamezőn töltenie ahhoz, hogy munkáját befejezze. Munkája gyümölcse 24000 kötet terjedelmű, egyenként 160 oldalas A5-ös méretű könyv lenne! Ha egy ember DNS-ének nukleotid-sorrendjét digitális adathordozón szeretnénk tárolni 1,5 GB tárhelyre lenne szükségünk. Ezzel szemben a szerves kémiában ismert megnevezések (3,5 millió), 15 karakter átlagos hosszal, 50 MB tárhelyet foglalnának el. Az emberiség által írt összes könyv számát 625 milliárdra becsülik. Ha egy átlagos könyv 100 gépelt oldalból áll, oldalanként 2000 karakterrel, akkor az összes könyv digitális tárhelye 100 000 TB (1 TB = 10^3 GB) lenne.

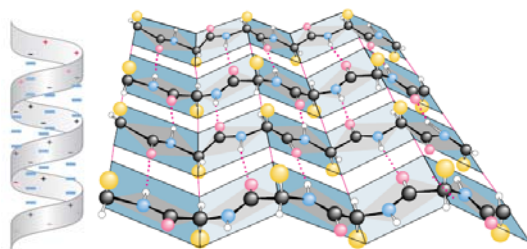
Az információ tárolására bevezették az *információsűrűség* fogalmát, melynek mértékegysége a $\text{bit} \cdot \text{cm}^{-2}$ vagy $\text{bit} \cdot \text{cm}^{-3}$ annak függvényében, hogy két- vagy háromdimenziós az információhordozó. Az első tárhelyek információsűrűsége (1956-ban) $300 \text{ bit} \cdot \text{cm}^{-2}$ volt, ehhez viszonyítva a 2000-es évek első felére ez az érték $20\text{--}60 \text{ Gbit} \cdot \text{cm}^{-2}$ -re növekedett. A legújabb típusú adathordozók, a holografikus lemezek (HVD), 3D-ben tárolják az információt, elméleti adatsűrűségük pedig $1 \text{ Tbit} \cdot \text{cm}^{-3}$. Ezzel szemben a DNS tárolókapacitása $10^9 \text{ Tbit} \cdot \text{cm}^{-3}$!

A DNS tárolja a szervezetben megtalálható összes fehérjemolekula tervrajzát. A fehérjék a DNS-hez hasonlóan a kémia betűivel íródnak, de sokkal rövidebb „alkotások”, mint a DNS. Ha a DNS több ezer kötetre terjedő műszaki szakkönyv, akkor egy fehérje molekula egy elbeszélésnek, novellának feleltethető meg. Mindössze 20 féle aminosav építi fel őket, melyek nagyon pontosan meghatározott sorrendben követik egymást. Tulajdonképpen a fehérjék az aminosav-sorrendben különböznek egymástól, úgy ahogy ugyanazokat a betűket felhasználva az írók tollából megszületnek a novellák. Az aminosavak sorban követik egymást kialakítva egy hosszú láncot (2. ábra).



2. ábra. Fehérjelánc

Ez a lánc tovább alakul, első lépésben feltekeredik, majd két jól felismerhető struktúrába rendeződik, melyek az α -hélix és a β -redőzött szerkezet nevet kapták (3. ábra). Egy fehérjemolekulában egymást követik ezek a szerkezet-típusok, melyeket rövid, rendezetlen szakaszok választanak el egymástól.



3. ábra. Az α -hélix és a β -redőzött szerkezet

A mioglobinnévű, az izomszövetbe oxigént szállító fehérjében például 8 α -hélix követi egymást, melyek végül gömbformába rendeződnek. A selyemhernyó vékony szálát a β -redőzött szerkezetek szoros illeszkedésű kétdimenziós sorozata alkotja. A pókfonalban mindkét szerkezet megfigyelhető: a szoros illeszkedésű β -redőzött szerkezetek adják a szál szilárdságát, az α -hélixek pedig a rugalmasságot biztosítják. A fehérje szerkezetének tulajdonítható a pókfonal egyedülálló képessége: szilárdsága mellett a rendkívüli rugalmassága. Egy ceruzavastagságú pókfonalból szőtt háló képes lenne megállítani egy óceánt átrepülő repülőgépet. A kutatóknak sikerült felderíteni a pókfonal összetételét, de ez még távolról sem volt elégséges ahhoz, hogy elő is tudják azt állítani. Bebizonyosodott, hogy a szál kihúzásának a lépéseit is be kell tartani. A fehérje kezdetben oldott állapotban van, majd a szövéskor a levegővel érintkezve fokozatosan megszilárdul, miközben szerkezete is átalakul. Az élőlények zsenialitását utánozni próbáló tudományágat *biomimetikának* nevezzük. A minden lépésében mesterséges pókfonal-előállítását még nem sikerült megvalósítani, de több kutatócsoport dolgozik rajta. Pókfonalat mégis sikerült előállítani, pontosabban sikerült szerezni természetes úton: a pókoktól nyert több ezer vékony szál összesodrásából.

A leglátványosabb munka a *Nephila madagascariensis* pók fonalából nyert tóga, melyet 2009-ben New Yorkban, az American Museum of Natural History múzeumban mutattak be a nagyközönségnek. A pók Madagaszkáron élő közönséges faj, különlegessége az, hogy aranysárga fonalat termel. Egy kutatócsoport nagy munkára vállalkozott: 80 helybéli 4 évig tartó szorgalmas munkájával 23000 póktól nyert fonalból egy aranysárga tógát szóttek. Az anyag hihetetlenül könnyű, rugalmas (40%-ra nyújtható anélkül, hogy elszakadna) és nagy szilárdságú, emellett szemet elbűvölő látványt nyújt (1. kép). A pók fonala csak egy a több ezer fehérje közül. Joggal mondhatjuk, hogy a fehérjék a legkomplexebb biomolekulák, és a DNS után a leggazdagabb információhordozók.



1. kép

A Nephila madagascariensis pók fonalából szőtt tóga

Szerkezetük felderítése, majd pedig mesterséges előállításuk a legizgalmasabb feladat elé állította és továbbra is állítja a biokémikusokat.

Zsigmond Andrea-Rebeka
A Sapientia EMTE
Környezettudomány Tanszékének tanára

Kémia történeti évfordulók

210 éve született és 140 éve halt meg
a XIX. század egyik leghíresebb vegyésze, Justus von Liebig
(1803. május 12-én – 1873. április 18.)

Justus von Liebig Darmstadtban született. Gyógyszerészetet kezdett tanulni, de megismerkedve a kémiával elhatározta, hogy vegyész lesz és beiratkozott a Bonni Egyetemre, hogy kora egyik legnevesebb vegyészénél, K.W.G. Kastnernél tanuljon. Tanára az Erlangeni Egyetemre távozott, Liebig követte és ott doktorált 1822-ben. Ezután állami ösztöndíjjal Párizsban tanult, ahol J. Gay-Lussac magánlaboratóriumában dolgozott. 1824-ben visszatért Németországba. A Giesseni Egyetemen kapott állást. 1826-ban kinevezték egyetemi tanárrá. Megszervezte az első olyan laboratóriumot, amelyben a fiatal vegyészeket módszeresen tanították a kémiai kutatás gyakorlatára. A laboratórium hamarosan világhírű lett, nagy szerepe volt a kémia nagyiramú fejlődésének, amely megalapozta a német vegyipar XIX. század végi vezető szerepét a világon. Európa minden tájáról érkeztek hallgatók a laboratóriumába. Tanítványai voltak: A.W. von Hofmann, E. Frankland, Kekulé, Ch.A. Wurtz és mások. Liebig 1852-től haláláig a Müncheneri Egyetem kémia professzora volt (1845-ben bárói címet kapott).

A szervetlen és a szerves kémia számos területén tevékenykedett. Néhány vizsgálata a kémia későbbi fejlődése szempontjából is kiemelkedő volt. A cianátok és fulminátok izomériájának tanulmányozása nagy hatást gyakorolt a kortársakra, és a fiatal Liebig figyelmét a szerves kémiára irányította. Ezeknek a vizsgálatoknak a kapcsán ismerkedett meg egy másik kiváló vegyészsel, F. Wöhlerrel, akivel barátsága egy életre szól. A két férfi sok közös kutatást folytatott. Ezek legfontosabbika a keserűmandula-olaj (benzaldehyd) vizsgálata volt. Kiderítették, hogy a vegyület sok különböző reakciójában ugyanaz a kémiai csoport – más néven gyök – változatlan marad. Ezek a megfigyelések alapozták meg a gyökelméletet, amely először tett érdemi kísérletet a szerves kémia rendszerezésére. Szerves kémiai vizsgálataihoz egyszerű módszert dolgozott ki a szén és a hidrogén analitikai meghatározására. Egy másik eljárása a halogének analitikai meghatározását szolgálta. Jelentős dolgozatot közölt a több-bázisú szerves savakról, hozzájárult a savak hidrogéntartalmára vonatkozó elmélet igazolásához. Használta és népszerűsítette, de nem ő találta fel a róla elnevezett Liebig-hűtőt, amelyet ma is gyakran használnak a vegyi laboratóriumokban folyadékkeverékek desztillációval való elválasztására. Liebig 1838 után az általános szerves kémia helyett inkább a növények és állatok kémiájával foglalkozott. Számos szövetet és testnedvet elemzett, tanulmányozta az állati szervezetből kiválasztott nitrogéntartalmú vegyületeket. Később mezőgazdasági problémák keltették fel a figyelmét (még gyermekkorában, 13 évesen szerzett tapasztalatai, az 1816-os vulkánkitörés következtében az északi félteken „nyár nélküli év” volt). 1840-ben jelent meg *A szerves ké-*