

# Kémiai Panoráma

2023. évfolyam 27. szám

**ORVOSI-ÉLETTANI NOBEL-DÍJ 2023 - KARIKÓ KATALIN  
ÉS DREW WEISSMAN ELISMERÉSE**

**AZ ELEKTRONSPIN ÉS A BIOMOLEKULÁK  
HOMOKIRALITÁSA**

**ALBERT JAKOB ESCHENMOSER (1925-2023) - REAKCIÓK  
NÉVADÓJA**

**HETVEN ÉVE HUNYT EL A VILÁGEGYETEM MEGFIGYELŐJE,  
EDWIN HUBBLE**

**AKI KÍVÁNCSI KÉMIKUS - A XIII. KUTATÓTÁBOR**

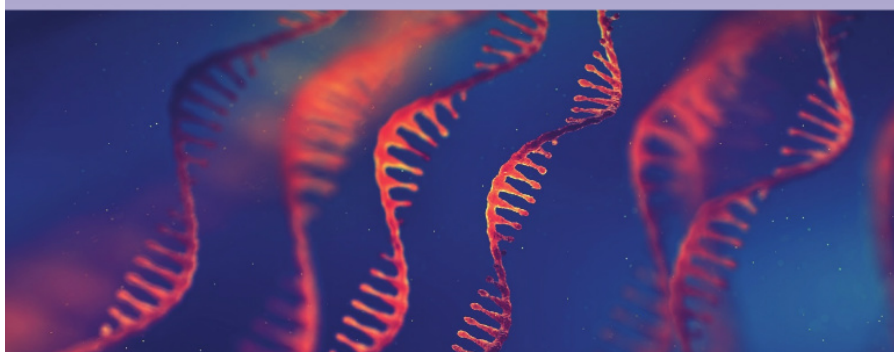
**GYÓGYÍTÓ MOLEKULÁK NÖVÉNYEKBE - AZ ORVOSI  
ZSÁLYA**

**SZIBÉRIAI JÉGBE FAGYOTT FONALFÉRGEK 46 000 ÉV UTÁN  
ÚJRAÉLEDTEK**

**REKORD MELEG JÚLIUSBAN**

**TUDOMÁNYOS KALEIDOSZKÓP**

**HOGYAN NAVIGÁLNAK A VÁNDORMADARAK?**



mRNS

## KEDVES OLVASÓNK!

Egészen mostanáig, 2023-ig a magyar tudománytörténet Szent-Györgyi Albertet és kutatásait említhette csak úgy, mint az egyetlen olyan magyar kutatót, aki a hazájában végzett tudományos munkássága elismeréséért vehette át a Nobel-díjat: 1937-ben a C-vitaminnal kapcsolatos kutatásaiért.

Szerencsére 2023 ősze óta ez az „állandó jelző” immár három kiváló gondolkodónkra is igaz. Ugyanis Karikó Katalin orvoskutató, biokémikus pályája egy részében, Krausz Ferenc fizikus pedig folyamatosan részben Magyarországon végzett munkásságáért kapta meg e legrangosabb tudományos elismerésként számon tartott medált.

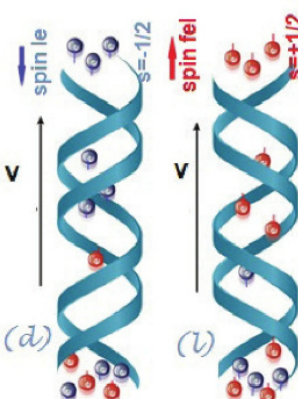
Természetes, hogy a friss Nobel-díj nem maradhat ki új lapszámunkból: Karikó Katalin elismerésének kémiai összefüggéseit mutatjuk be Olvasóinknak. De ezen túl is kínálunk számtalan izgalmas új tudományos eredményt, életrajzi áttekintést, eseménybeszámolót – egy-egy kiemelkedő elismerés, mint amilyen a Nobel-díj, jó esetben ugyanis egy tudományterületen belül csak a jéghegy csúcsa. Alatta, mintegy szilárd alapként ott van egy tudományág mindig új eredményekkel szolgáló pezsgő szellemi közege...

Ebbe a gazdag kutatói világba kívánunk ezúttal is negyven lapoldalnnyi betekintést nyújtani.

**A Szerkesztőség**

### 4-6

**Orvosi-élettani Nobel-díj  
2023**  
Karikó Katalin és Drew  
Weissman elismerése  
Szerkesztőség

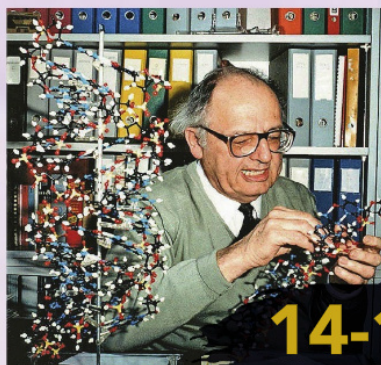


R.Naaman et, DH Waldeck  
Annu.Rev.Phys.Chem. 66 263 (2015)  
**Királisan Indukált spinszelektivitás**

### 7-13

**Enantio-szelektív fizikai  
jelenségek**

Az elektronspin és a bio-  
molekulák homokiralitása  
Pálinkás Gábor



### 14-17

**Albert Jakob  
Eschenmoser (1925-  
2023)**  
Reakciók névadója  
Simonyi Miklós



A szerkesztőség köszönetet mond az HUN-REN Természettudományi Kutatóközpontnak, az MTA Folyóirat-pályázatának, továbbá az MTA Kémiai Osztályának a támogatásáért.

A Kémiai Panoráma magazin az ÚMFT TÁMOP 4.2.3 KMR/1/2008-0006 pályázat keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap és az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával (3-6.



számok), továbbá az MTA Kémiai Osztálya (4-6. számok) és a Servier Gyógyszerkutató Intézet (5-6. szám) támogatásával valósult meg.



## 18-20

**Edwin Hubble**

Hetven éve hunyt el a Világegyetem megfigyelője  
Ménés András



## 21-22

**AKI Kíváncsi Kémikus**

A XIII. kutatótábor,  
2023

Dr. Tompos András –  
Nagyné Dr. Bereczki  
Laura



## 23-26

**Gyógyító molekulák  
növényekben**

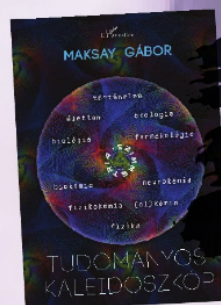
Az orvosi zsálya  
Kőszegi Lília



## 27-30

**Hírek**

Szibériai jégbe fagyott  
fonalférgek 46 000 év után  
újraéledtek  
Rekord meleg júliusban  
Szerkesztőség



## 31-32

**Érdekes ismeretek**

Maksay Gábor: Tudos-  
mányos kaleidoszkóp  
Hudecz Ferenc

## 33-36

**Bella József:**

**Magnetorecepció**  
Hogyan navigálnak  
a vándormadarak?



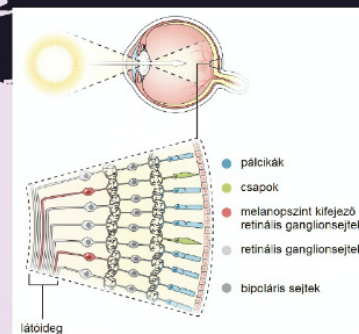
## 37

**Ajánló**  
Kémikusok Lapja



## 38-40

**Az Élet és  
Tudomány** írta  
Gózon Ákos



# KARIKÓ KATALIN ÉS DREW WEISSMAN

## elismerése



Ebben az évben az orvosi-élettani Nobel-díjat Karikó Katalin and Drew Weissman nyerte el (nobelprize.org, Press release)

**Az** elismerést a kutatók a módosított nukleozidokkal kapcsolatos felfedezéseikkel érdemelték ki, amelyek lehetővé tették a Covid-19 elleni hatékony mRNS-vakcinák kifejlesztését.

A két tudós úttörő felfedezései alapvetően megváltoztatták az mRNS immunrendszerünkkel való kölcsönhatásáról alkotott ismereteinket és hozzájárultak mRNS-oltóanyagok példátlan ütemű kifejlesztéséhez a COVID-19 pandémia megjelenésének idejében.

Az oltás stimulálja az immunválasz kialakulását egy adott kórokozóval

szemben. Ez későbbi expozíció esetén előnyt jelent a szervezet számára a betegségek elleni küzdelemben. Az előlt vagy legyengített vírusokon alapuló vakcinák régóta rendelkezésre állnak, erre példa a gyermekbénulás, a kanyaró és a sárgaláz elleni vakcinák. 1951-ben Max Theiler fiziológiai és orvosi Nobel-díjat kapott a sárgaláz elleni vakcina kifejlesztéséért.

### A pandémia előtti vakcinák

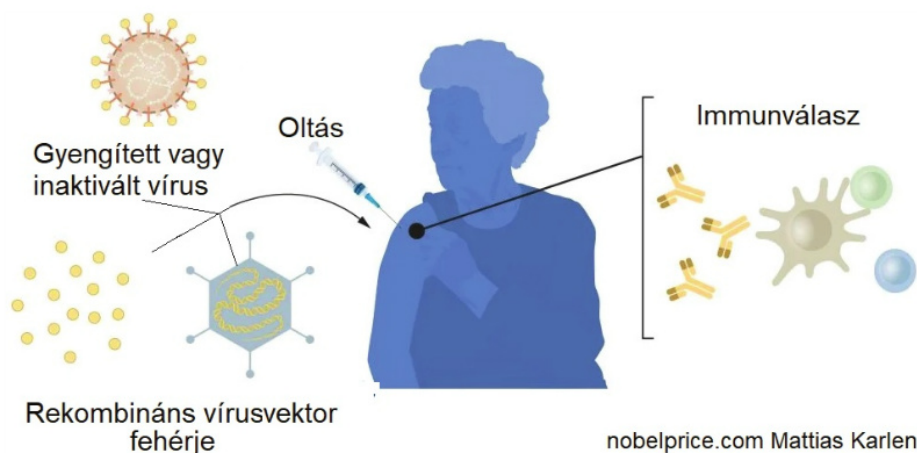
Az elmúlt évtizedekben a molekuláris biológia fejlődésének köszönhetően a teljes vírusok helyett egyedi víruskomponenseken alapuló vakcinákat

fejlesztettek ki. A vírus genetikai kódjának részei, amelyek általában a vírus felszínén található fehérjéket kódolnak, olyan fehérjék előállítására szolgálnak, amelyek serkentik a vírusblokkoló antitestek képződését. Ilyenek például a hepatitis B vírus, a humán papillomavírus és a sárga láz elleni vakcinák. Alternatív megoldásként a vírus genetikai kódjának egy része áthelyezhető egy ártalmatlan hordozó vírusba, egy „vektorba”. Ezt a módszert az Ebola vírus elleni vakcinákban alkalmazzák. A vektorvakcinák befecskendezésekor a kiválasztott vírusfehérje ellen antigén termelődik sejteinkben, stimulálva ezzel a megcélzott vírus elleni immunválaszt.

A teljes vírus-, fehérje- és vektor-alapú vakcinák előállításához nagy léptékű sejtenyésztésre van szükség. Ez az erőforrás-igényes folyamat korlátozza a gyors vakcinagyártás lehetőségeit a járványok esetén. Ezért a kutatók régóta próbálkoznak a sejtenyésztéstől független vakcinástechnológiák kifejlesztésével, de ez kihívást jelent.

### mRNS vakcinák: Ígéretes ötlet

Sejteinkben a DNS-ben kódolt genetikai információ átkerül a hírvívő RNS-be (mRNS), amelyet templátként használnak a fehérjetermeléshez. Az 1980-as években hatékony módszereket vezettek be a sejtenyésztés nélküli





**KARIÓ KATALIN** 1955-ben született Szolnokon, Magyarországon. 1982-ben szerzett PhD fokozatot a Szegedi Tudományegyetemen, majd 1985-ig a Szegedi Biológia Központban végzett posztdoktori kutatást, ezt követően a philadelphiai Temple Egyetemen és a Bethesda Egészségtudományi Egyetemen folytatta posztdoktori kutatásait. 1989-2013 között Pennsylvanai Egyetem adjunktusa. Majd a BioNTech RNA Pharmaceuticals vállalat alelnöke lett. 2021 óta a Szegedi Tudományegyetem professzora és a Pennsylvanai Egyetem Perelman School of Medicine adjunktusa.

mRNS előállítására, az úgynevezett in vitro transzkripciót. Ez a döntő lépés több területen is felgyorsította a molekuláris biológiai alkalmazások fejlődését. Az mRNS-technológiák vakcinázási és terápiás célú felhasználására vonatkozó ötletek is megszülettek, de útlezárások vártak rájuk. Az in vitro átírt mRNS-t instablnak és kihívást jelentőnek ítélték

a szállításhoz, ami kifinomult hordozó lipidrendszerek kifejlesztését tette szükségessé az mRNS kapszulázásához. Ezenkívül az in vitro előállított mRNS gyulladásoos reakciókat váltott ki. Ezért kezdetben korlátozott volt a lelkesedés az mRNS technológia klinikai célú fejlesztése iránt.

Ezek az akadályok nem szegték kedvét Karió Katalin magyar biokémikusnak, aki az mRNS terápiás felhasználási módszereinek kidolgozásával foglalkozott. Az 1990-es évek elején, amikor a Pennsylvanai Egyetem adjunktusa volt, hű maradt elképzeléséhez, miszerint az mRNS-t terápiás szerként kell megvalósítani, annak ellenére, hogy nehézségekbe ütközött a kutatás finanszírozóinak meggyőzése projektje jelentőségéről. Karió új kollégája egyetemen Drew Weissman immunológus volt. Érdekeltek a dendritikus sejtek, amelyek fontos szerepet töltenek be az immunrendszer felügyeletében és a vakcina által kiváltott immunválaszok aktiválásában. Az új ötletek hatására hamarosan gyümölcsöző együttműködés kezdődött kettejük között, amelynek középpontjában a különböző RNS-típusok és az immunrendszer közötti kölcsönhatások állnak.

## Az áttörés

Karió és Weissman észrevette, hogy a dendrites sejtek idegen anyagként ismerik fel az in vitro átírt mRNS-t, ami aktiválódásukhoz és gyulladásoos jelátviteli molekulák felszabadulásához vezet. Kíváncsiak voltak, hogy az in vitro átírt mRNS-t miért ismerik fel idegennek, miközben az emlőssejtekből származó mRNS nem váltotta ki ugyanazt a reakciót. Karió és

Weissman rájött, hogy néhány kritikus tulajdonságnak meg kell különböztetnie az mRNS különböző típusait.

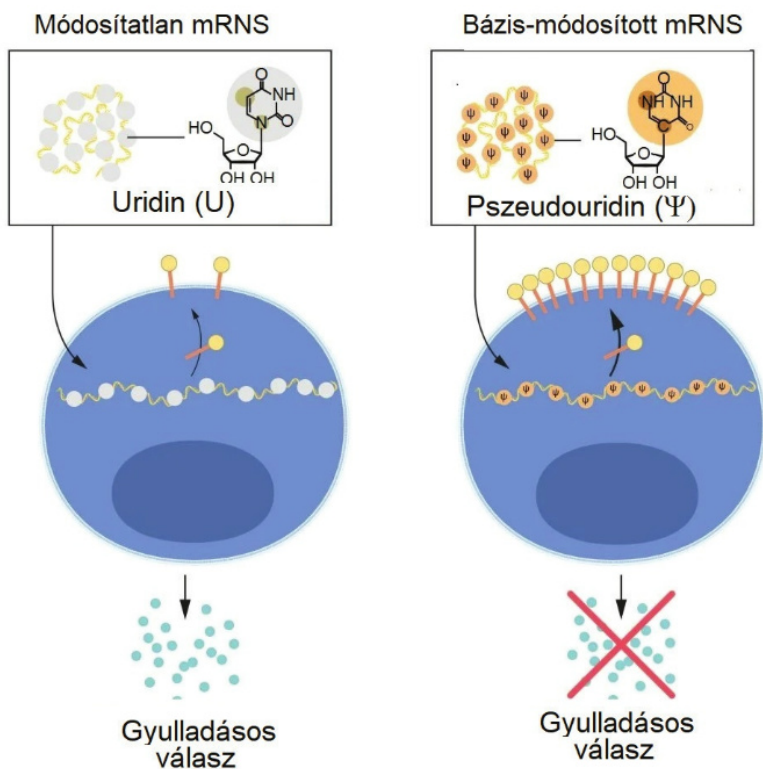
Az RNS négy bázist tartalmaz, rövidítve A, U, G és C, amelyek megfelelnek a DNS A, T, G és C genetikai kód betűinek. Karió és Weissman tudta, hogy az emlőssejtekből származó RNS-ben lévő bázisok gyakran kémiaiilag módosulnak, míg az in vitro átírt mRNS nem. Arra voltak kíváncsiak, hogy magyarázhatják-e a nem kívánatos gyulladásoos reakciót az in vitro átírt RNS-ben lecserélt bázisok. Ennek vizsgálatára különböző mRNS-változatokat állítottak elő, amelyek bázisaiban egyedi kémiai változások voltak, amelyeket dendritikus sejtekhez juttattak. Az eredmények megdöbentőek voltak: a gyulladásoos



**DREW WEISSMAN** 1959-ben született Lexingtonban, Massachusetts államban, az Egyesült Államokban. 1987-ben szerzett MD, PhD fokozatot a Bostoni Egyetemen. Klinikai képzését a Harvard Medical School Beth Israel Deaconess Medical Centerében végezte, posztdoktori kutatásait pedig a National Institutes of Health-ben végezte. 1997-ben Weissman létrehozta kutatócsoportját a Pennsylvanai Egyetem Perelman Orvostudományi Karában. Ő a Roberts család vakcinakutatási professzora és a Penn Institute for RNA Innovations igazgatója.

*Az akadályok nem szegték kedvét Karió Katalin magyar biokémikusnak, aki az mRNS terápiás felhasználási módszereinek kidolgozásával foglalkozott.*





The Nobel Committee for Physiology or Medicine. Ill. nobelprice.com Mattias Karlén

válasz szinte megszűnt, amikor bázismódosításokat vittek be az mRNS-be. Ez paradigmaváltás volt annak megértésében, hogy a sejtek hogyan ismerik fel és reagálnak az mRNS különböző formáira. Karikó és Weissman azonnal megértette, hogy felfedezésük mélyreható, jelentőséggel bír az mRNS terápiaként történő alkalmazásában. Ezeket az alapvető eredményeket 2005-ben tették közzé, tizenöt évvel a COVID-19 világjárvány előtt.

## Az mRNS vakcinákban rejlő lehetőségek megvalósulása

Kezdt megélni az érdeklődés az mRNS technológia iránt, és 2010-ben több cég is dolgozott a módszer kifejlesztésén. A Zika-vírus és a MERS-CoV elleni vakcinák kidolgozására került sor; ez utóbbi szorosan összefügg a SARS-CoV-2-vel. A COVID-19 világjárvány kitörése után pedig rekordsebességgel kifejlesztettek két, a SARS-CoV-2 felszíni fehérjét kódoló bázismódosított mRNS-oltóanyagot.

Körülbelül 95%-os védőhatásról számoltak be, és mindkét vakcinát az egészségügyi hatóságok már 2020 decemberében jóváhagyták.

Számos más módszereken alapuló SARS-CoV-2 elleni vakcinát is gyorsan kifejlesztettek, és összesen több mint 13 milliárd adag COVID-19 vakcinát adtak be világszerte. Az oltások milliók életét mentették meg, mi több súlyos betegségeket előztek meg, lehetővé téve a társadalmak visszatérését a normális körülményekhez. Mindezt az idei Nobel-díjasok az mRNS bázismódosításainak fontosságára vonatkozó alapvető

## FIZIKAI NOBEL-DÍJ 2023



A Svéd Királyi Tudományos Akadémiai 2023-ban a Fizikai Nobel-díjat Pierre Agostininek (Ohio Állami Egyetem, Columbus, USA), Krausz Ferencnek (Max Planck Kvantumoptikai Intézet, Garching és Ludwig-Maximilians-Universität, München) és Anne L'Huilliernek (Lund Egyetem) ítélte oda egyenlő arányban megosztva, az elektronok atomon belüli mozgásának vizsgálatát megvalósító attosekundumos fényimpulzusokat előállító kísérleti módszerek kidolgozásáért. A három tudós olyan rendkívül rövid idejű fényimpulzusok ( $10^{-18}$  másodperc) létrehozásának módját dolgozta ki, amelyek segítségével mérni lehet az elektronok mozgása és energiaváltozása során lejátszódó folyamatokat.

*A díjazottak munkásságáról következő számunkban olvashatnak.*

felfedezései tették lehetővé korunk egyik legnagyobb egészségügyi válsága idején.

Az mRNS-vakcinák kifejlesztésének lenyűgöző rugalmassága és gyorsasága utat nyit az új platform más fertőző betegségek elleni vakcinákhoz való felhasználásához is. A jövőben a technológiát terápiás fehérjék szállítására és bizonyos ráktípusok kezelésére is felhasználhatják.

## ALAPVETŐ PUBLIKÁCIÓIK

- Karikó, K., Buckstein, M., Ni, H. and Weissman, D. Suppression of RNA Recognition by Toll-like Receptors: The impact of nucleoside modification and the evolutionary origin of RNA. *Immunity* 23, 165–175 (2005).
- Karikó, K., Muramatsu, H., Welsh, F.A., Ludwig, J., Kato, H., Akira, S. and Weissman, D. Incorporation of pseudouridine into mRNA yields superior nonimmunogenic vector with increased translational capacity and biological stability. *Mol Ther* 16, 1833–1840 (2008).
- Anderson, B.R., Muramatsu, H., Nallagatla, S.R., Bevilacqua, P.C., Sansing, L.H., Weissman, D. and Karikó, K. Incorporation of pseudouridine into mRNA enhances translation by diminishing PKR activation. *Nucleic Acids Res.* 38, 5884–5892 (2010).



# AZ ELEKTRONSPIN ÉS A BIOMOLEKULÁK homokiralitása

A kiralitás az élő rendszerek szinte minden területén jelentős szerepet játszó természetes szimmetria. Az egyszerű kémiai reakciók racém keveréket, egyenlő mennyiségű jobb- (d) és balkezes (l) enantiomer molekulát eredményeznek.

**A** természet azonban csak egyet választ ezek közül a „királis” molekulák közül a sejtek felépítéséhez. A homokiralitás a Föld biomolekuláinak alapvető jellemzője. A DNS, az RNS és a cukrok építőkövei mind jobbkezesek (d), míg az élő anyagot felépítő aminosavak és fehérjék túlnyomó többsége balkezes enantiomer. Egy királis gyógyszermolekula ellentétes enantiomerjei rendkívül eltérő biológiai hatást fejthetnek ki.

*Királisnak nevezzük azokat a molekulákat, amelyek tükörképei (enantiomerpárok) nem hozhatók fedésbe egymással. Hasonlóak a jobb és bal kezünkhöz, mivel kezeink is tükörképei egymásnak, de nem hozhatók fedésbe. Az enantiomerpárok összegképlete megegyezik, korábbi ismereteink szerint fizikai és kémiai tulajdonságaik is megegyeznek, kivéve azt, hogy oldatuk a síkban polarizált fény síkját más irányba, balra (l) vagy jobbra, (d) forgatja el, és más királis molekulákkal eltérő módon reagálnak. A királis vegyületek külön csoportja a hélixek (helikális kiralitás), amelyek tükörképeikkel a jobb- és balmenetű*

*csavarhoz hasonlóak. (lásd Kiralítás, Simonyi Miklós, Kémiai Panoráma 4. sz, (2010) és 5.sz, (2011)). A nukleinsavak és az oligopeptidek mind elsődleges szerkezetük, mind másodlagos hélix szerkezetük miatt is királisak.*

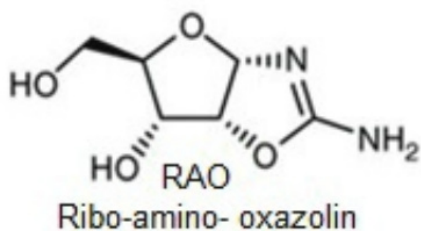
*Érdekes, hogy balkezes aminosavakból jobbmenetes  $\alpha$ -hélix épül könnyen, jobbkezes-aminosavakból pedig balmenetes. A fehérjék jellemzően jobbkezes alfa-hélixekből állnak, míg a balkezes alfa-hélixek ritkák a természetben. Azért jobbmenetes az alfa-hélix az L aminosavak esetében, mert ilyen geometriai elrendeződés mellett tud a legtöbb hidrogénkötés ébredni a molekulák között. Tehát adott spirális szerkezet kialakulásának kulcsa a számos hidrogén-híd lehetősége.*

A homokiralitás kialakulásának oka, pontos mechanizmusa még nem ismert, bár feltárása hosszú ideje foglalkoztatja a kutatókat. Az világos volt, hogy egy vagy több, a teljes prebiotikus hálózatban ható környezeti hatásra van szükség a homokiralitás létrehozása és fenntartása érdekében is. Több javaslat is született, melyekben környezeti hatásként elsősorban a kozmikus sugárzást vagy polarizált fényt jelölték meg az első biomolekulák homokiralitásának kialakulásáért. Bár kísérletek igazolták, hogy mindkét sugárzás okozhat kezdeti szimmetriatorzítást, amely bizonyos mértékben akár a jobb-, akár a balkezes molekulákat részesíti előnyben, de arra nem adtak magyarázatot, hogy a kezdeti gyenge aszimmetria milyen mechanizmussal erősödött meg olyan mértékben, hogy létrejöjjön az első sejtek létrehozásához szükséges nagyszámú homokirális molekula.

Ebben az évben, S.F.Ozturk, Z.Liu, J.D.Sutherland és D.D.Sasselov a Harvard University (Cambridge USA) kutatói

” Valószínűleg a korai Földön gyakori magnetit ásványok mágneses tere volt az a környezeti hatás, amely felelős a biomolekulák különös kiralitásáért.

”



megjelent munkájukban arra a következtetésre jutottak, hogy valószínűleg a korai Földön gyakori magnetit ásványok mágneses tere volt az a környezeti hatás, amely felelős a biomolekulák különös kiralitásáért. Az első megjelent biomolekulák aztán pozitív visszacsatolással biztosították, hogy továbbra is ugyanaz a kedvezett királis enantiomer szintézise részesüljön előnyben a teljes prebiotikus hálózatban. („Origin of biological homochirality by crystallization of an RNA precursor on a magnetic surface, SCIENCE ADVANCES 7 Jun 2023, Vol 9, Issue 23 DOI: 10.1126/sciadv.adg8274

A kutatók egy RNS-prekursor, a racém ribo-amino-oxazolin (RAO) kristályosodását vizsgálva magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) felületeken körülbelül 60%-os enantiomer-felesleget értek el. A kezdeti dúsítást követő többszöri újra kristályosítást követően teljesen homokirális (100%) RAO kristályokat nyertek. Eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a korai Föld sekély tavaiban, ahol gyakoriak voltak az üledékes magnetit kristályok, racém kiindulási anyagokból többszöri újra kristályosodással játszódhatott le a rendszerszintű homokiralitás elérésére.

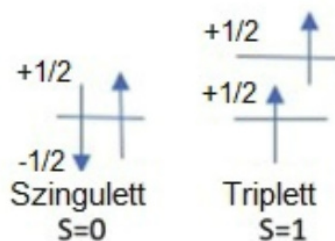
Az elmúlt két évtizedben ismereteink jelentősen bővültek a királis molekulák, különösen a nukleinsavak, aminosavak és oligopeptidek elektromos és mágneses térben történő viselkedésének kísérleti vizsgálatait követően. A jelenségek feltárásában jelentős szerepe volt Ron Naaman (Weizmann Institute of Science), J.D. Sutherland, (MRC Laboratory of Molecular Biology, Cambridge), és D.D. Sasselov (Department of Astronomy, Harvard University, Cambridge) által vezetett kutatócsoportoknak. A kutatók feltárták

az elektronspin szerepét királis molekulák közötti intramolekuláris erőkből.

*A spin a klasszikus leegyszerűsített modellben az elektronok perdületének (saját impulzusmomentumának) felel, meg, amely két egymással ellentétes irányt vehet fel, az óramutató járásával megegyező és az azzal ellentétes irányt. Az elektron spinjéhez mágneses momentum tartozik. Az elektronspin iránya külső mágneses térben lehet pozitív (+) vagy negatív (-), annak megfelelően, hogy iránya a tér irányával egyező vagy azzal ellentétes, „spin fel és spin le” néven is említik. A klasszikus modelltől eltérően azonban az elektron spin kvantált, és két értéke  $+1/2$  és  $-1/2$  lehet.*

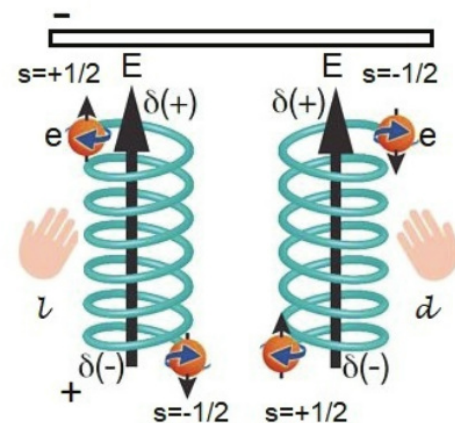
*Az elektronspin a Pauli-kizárási elvnek köszönhetően fontos szerepet játszik az anyag szerkezetének kialakulásában. A Pauli-elv szerint egy atompályán vagy molekulapályán legfeljebb csak két elektron helyezkedhet el és csak ellentétes spinekkel. Ez a szingulett állapot zérus eredő spinnel  $S=0$ . Ez a szimmetriamegkötés az alapja az elemek periódusos rendszere felépülésének is.*

*Az elektronszín pár egyik elektronja gerjesztett állapotban megfordíthatja a spinjét, létrehozva így az ún. tripllett állapotot, amelyben két elektronnak azonos irányú a spinje és így az eredő spin  $S=1$ . Pauli kizárási elv alapján ezeknek azonban különböző pályákon kell lenniük. A tripllett állapot energetikailag jóval kedvezőtlenebb, mint a szingulett. állapot.*



A kísérletekben kiderült, hogy bár a királis molekulák alapállapotban nem polarizáltak, – nem rendelkeznek elektromos dipólussal vagy mágneses

momentummal – azonban elektromos tér hatására átmeneti polarizációra tehetnek szert, indukált elektromos dipólusmomentumot és spinpolarizációt és az ezzel együtt járó indukált mágneses momentumot nyerhetnek. A spinpolarizáció az elektronok belső impulzusmomentumainak, a spinjüknek, és a spinhez tartozó mágneses momentumuk az egy adott irányhoz történő igazodása.



Bal- és jobbkézes enantiomerek töltés- és spinpolarizációja elektromos tér hatására

Az ábra két enantiomer molekula elektromos mező ( $E$ ) által keltett, töltés és a spinpolarizációját szemlélteti. A piros golyók spinjeikkel jelzik az elektronokat (kis függőleges fekete nyilak).

A történet 1999-re nyúlik vissza, amikor Ron Naaman, a Weizmann Institute of Science kémiai fizikusa által vezetett kutatócsoport kimutatta, a királis molekulákon keresztül történő elektrontranszport spin-függő. A molekula kiralitásától függően, adott spinű elektronjai könnyebben haladnak át a molekulán az egyik irányba, mint a másik irányba. Ellentétes spinű elektronoknál ez az irány megfordul. A királis molekulák spinszűrőként viselkednek. Ezt a hatást királisan indukált spin szelektivitásnak (CISS) nevezték el. Azóta számos királis szerves molekuláról és biomolekuláról kimutatták, hogy spinszűrőként működnek, amelyek közül a

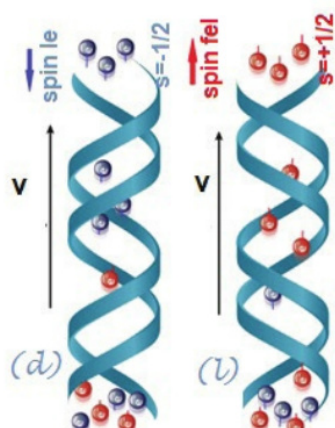




legszelektívebb spinszűrők a peptidok és a nukleinsavak.

## Spinpolarizáció

Naaman és munkatársai a kísérletekben Au rétegből kilépő lineárisan polarizált fényrel kiváltott polarizálatlan spinű elektronok áthaladását vizsgálták királis l- és d-sztearoil-lizin ( $C_{24}H_{48}N_2O_3$ ) többrétegű Langmuir-Blodgett önszerveződött filmekben. Úgy találták, hogy az öt réteg l-oligopeptid filmen áthaladó és az abból kilépő elektronokból

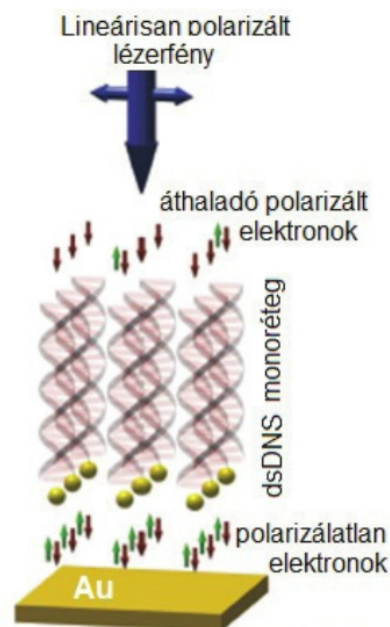


R.Naaman et, DH Waldeck  
Annu.Rev.Phys.Chem. 66 263 (2015)  
**Királisan Indukált spinszelektivitás**

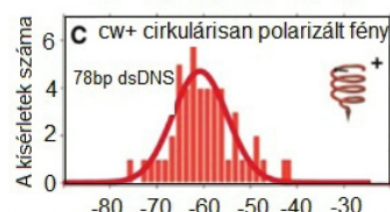
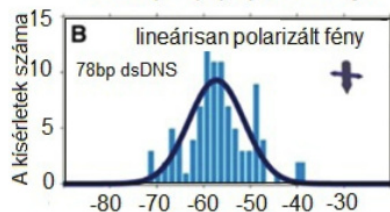
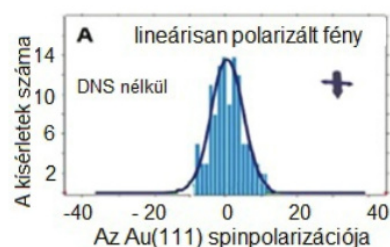
kétszer annyinak lett a haladási irányukkal megegyező spinje (+1/2, spin-fel), mint azzal ellentétes (-1/2, spin-le). A d-poli-peptid esetében pedig éppen a fordított polarizáció valósult meg. A vizsgált oligopeptid molekulák spinszűrőként viselkedtek. Az, hogy melyik spin részesült előnyben, függött az enantiomer kiralitásától és az elektronsebesség irányától. A CISS-effektus az anyag két alapvető tulajdonságát, a kiralitást és az elektronspint köti össze.

A képen bal- és jobbkezes kiralitású molekulán mozgó ellentétes spinű elektronok láthatók (piros gömbök az elektronok haladási irányával egyező irányú  $s = +1/2$ , a kék gömbök azzal ellentétes irányú  $s = -1/2$  spinnel). Amikor az elektronok egy balkezes kiralitású elektromos potenciálon belül mozognak, spin orientációjuk előnyben

részesíti a sebességükkel ( $v$ ) egyirányú, jobbkezes kiralitás esetében pedig az azzal ellentétes irányt. Az eredetileg rendezetlen spinű elektronok rendeződnek a királis molekula belsejében, a királis elektromos potenciál



B.Göhler et al., Science 330 18 (2011)  
**dsDNS monoréteg spinszűrő**



G.Göhler et al., Science 331, Issue 6019 (2011)

és a mozgó elektronok által indukált mágneses tér hatására.

2011-ben a kutatók megismételték kísérletüket kettős szálú DNS molekulákkal. Az aranyhordozóból lineárisan polarizált fény hatására kilépett polarizálatlan elektronok spinjei, a királis nukleinsav molekulákon áthaladva szintén polarizálódtak. A jobbkezes duplaszálú DNS (dsDNS) rétegből kilépő elektronok többségének spinje a sebességükkel ellentétes irányban igazodott.

A kutatók polikristályos Au-filmen és egykristályos Au(111)-n önszerveződő kettős szálú dsDNS monorétegeket állítottak elő standard eljárásokkal úgy, hogy a dsDNS-t az egyik szála 3'-végén tiolálták az arany szubsztrátumon, majd a lemezt merőlegesen beeső lineárisan polarizált UV lézer fényimpulzusokkal világították meg. Mott polariméterrel mérték a vékony arany lemeztől kilépő polarizálatlan fotoelektronok spinpolarizációját, az önszerveződő DNS rétegen történt áthaladásukat követően. **A kísérletet négy különböző hosszúságú (26, 40, 50 és 78 bázispár) dsDNS-el végezték el.**

Az (A) görbe az ábrán az Au(111)-ből DNS nélkül lineáris fényrel gerjesztett elektronokkal megfigyelt spinpolarizáció. A (B) és (C) görbék a 78 bázispárú DNS monorétegen keresztül áthaladó elektronoknál megfigyelt spinpolarizáció lineárisan polarizált fény és cirkulárisan polarizált fény esetében. Mindhárom kísérlet többször megismételték. Az átlagos polarizációk  $-(57 \pm 6) \%$ , illetve  $P = -(61 \pm 6) \%$ , szinte függetlenek a fénypolarizáció típusától. Mindkét esetben a polarizáció negatív előjelű függetlenül a fény polarizációtól. **Az elektronok közül átlagosan négyszer több olyan elektron haladt át a DNS molekulákon, melynek spinje a haladási irányval ellentétes (-1/2), mint az azzal egyirányú spinű (+1/2) elektron. Ezért nevezik a nukleinsavat spinszűrőnek.**

*A spinpolarizáció számszerű P(%)*

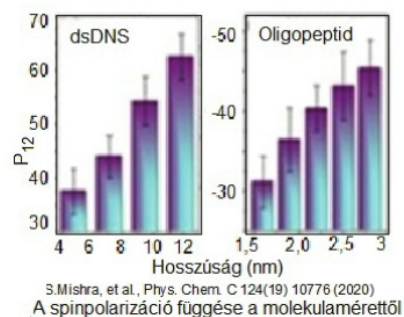
jellemzése az alábbi összefüggéssel történik:

$$P_{12} = \frac{(I_{\uparrow}) - (I_{\downarrow})}{(I_{\uparrow}) + (I_{\downarrow})}$$

ahol  $I_{\uparrow}$  és  $I_{\downarrow}$  az adott spin-állapotú elektronok számával  $N_{\uparrow}$  és  $N_{\downarrow}$  arányos mennyiségek (pld. elektronáram), ahol a nyílak  $\uparrow$  és  $\downarrow$  az elektronok spinállapotát és az ehhez tartozó mágneses momentum irányát jelölik, annak megfelelően, hogy ezek az elektronok haladási irányával egyirányban vagy azzal ellentétesen irányítottak ( $s = +1/2$ , spin fel, és  $s = -1/2$ , spin le). Ha  $P_{12}$  értéke negatív, akkor az elektronok többségének a haladási irányukkal ellentétes irányú a spinje. A Mott polariméter az elektronsugarak spinpolarizációjának legelterjedtebb detektora.

Azóta számos különböző királis szerves molekuláról, aminosavakról, kimutatták, hogy spinszűrőként működnek, amelyek közül a legszelektívebb spinszűrőknek a nukleinsavak és a peptidok bizonyultak.

A vizsgálatok kimutatták azt is, hogy a



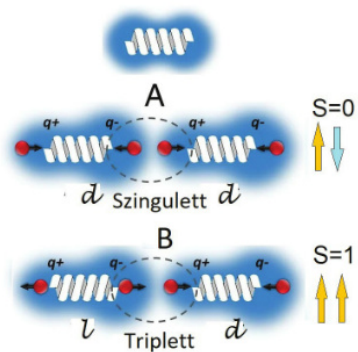
spinpolarizáció mértéke monoton módon növekszik a molekulahosszal a vizsgált hosszúságtartományon belül. Egységnyi hosszban azonban az oligopeptidek jobb spinszűrőknek bizonyultak, mint a DNS. Különbség az is, hogy a DNS és az oligopeptidek spinpolarizációja ellentétes előjelű.

A kutatók később 2017-ben, a mágneses tér mérésére alkalmas Hall-effektuson alapuló kísérleti eszközt kifejlesztve, kimutatták elektromos térbe helyezett l- és d-oligopeptidek

spinpolarizációját kísérő mágneses tér megjelenését is. R.Naaman et al., PNAS 114 (10) 2474 (2017)

## Királis molekulák kölcsönhatása

Később az is kiderült, hogy nem csak külső tér, hanem egy másik molekula elektromos tere is létrehozhatja a spinpolarizációt. Amikor egy királis



molekula közelít a szubsztrátumhoz vagy egy másik molekulához, a molekulán töltés újraelosztás, töltéspolarizáció játszódik le. Az elektronok mozgását a molekulában az elektromos pólusain tranzien spinpolarizáció kíséri. A kölcsönhatás megszűntével a polarizáció is megszűnik. Kiderült az is, hogy a polarizáció jelentős hatással van a királis molekulák kölcsönhatásának enantioszelektivitására is.

Az (A) ábra két azonos kiralitású molekula (jobbkezes) kölcsönhatásának esetét mutatja. Mindkét molekula spinpolarizációja, ugyanabba az irányba hat; a molekulák csúcsain az elektronok spinjei kifelé mutatnak a spirális tengely mentén (amelyet piros körben lévő fekete nyíl ábrázol). A többlet töltéssűrűség tartományát a kör mutatja, és ebben a tartományban a két molekula spin-polarizációs iránya antiparallel (szingulett állapot). A (B) ábra két különböző enantiomer (egy balos és egy jobbos) kölcsönhatását mutatja, és ebben az esetben a spinek párhuzamosak egymással (mint egy triplett állapot). Az utóbbi

energetikailag kedvezőtlenebb.

A kémiai adszorpció során is akkor jön létre stabilabb térbeli pálya, ha a felületi elektron spinje ellentétes a molekula pólus spinjével. Másszóval, az ellentétes irányú spinekkel történő (egy a felületen, egy a molekulán) adszorpció stabilabb.

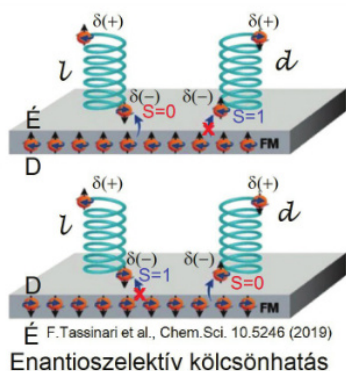
## Adszorpció ferromágneses felületeken

A következő jelentős lépés az volt, amikor 2018-ban a kutatók több kísérletben kimutatták, hogy a spin-különbségek miatt a királis molekulák eltérő módon lépnek kölcsönhatásba a mágneses anyagokkal is. Aminosavak, oligopeptidek és DNS kölcsönhatása merőlegesen mágnesezett ferromágneses felületekkel is enantiospecifikus [1].

*A gondolat nem volt új. Már a 19-században és a 20. század elején neves tudósok is hozzászóltak a kiralitás és a mágneses tér kapcsolatának kérdéséhez. Mivel Pasteur feltételezte, hogy a korai Föld mágneses tere okozhatott aszimmetrikus indukciót a királis biopolimerek megjelenésekor, kísérleteket végzett, hogy enantioszelektív reakciókat hozzon létre erős mágneses térben, azonban eredménytelenül. Faraday kísérletei ezt követően kimutatták, hogy a mágneses mezők önmagukban nem hoznak létre enantioszelektivitást. Curie is hozzászólt a kérdéshez és úgy gondolta, hogy a mágneses tér és az elektromos tér szuperpozíciója hozott létre homokiralitást, azonban P.D. de Gennes bebizonyította, hogy a két tér szuperpozíciója sem eredményezte azt.*

A közelmúltban (2018, 2019) elvégzett kísérletek eredményei szerint azonban az egyik enantiomer előnyösebben adszorbeálódik, ha a ferromágnes mágneses dipólusa felfelé mutat, míg a másik gyorsabban adszorbeálódik ha a szubsztrát mágnesezettsége ellentétes irányú. A jelenséget ebben az esetben is a molekulák töltés és spin-polarizációja okozta.

A vizsgált balkezes oligopeptid és



aminosav előnyösen adszorbeálódott a felfelé mágnesezett (FM) mágneses felületen, míg a jobbkezesek jelentősebb mértékben adszorbeálódtak a lefelé mágnesezett (LM) hordozókon. A DNS esetében pedig éppen a fordított helyzet valósult meg.

A kölcsönhatások erősebbek, ha az FM spinjei a királis molekula spinjével ellentétes irányban helyezkednek el (szingulett állapot  $S=0$ ). Ezért az erősebb kölcsönhatású enantiomer hosszabb tartózkodási idővel tartózkodik a mágneses helyen, és nagyobb eséllyel fog adszorbeálódni.

A kölcsönhatást nem önmagában a mágneses tér szabályozza, hanem az érintkezési pontban a szubsztrát és a molekula elektronspinjeinek kölcsönhatása, kölcsönös orientációja. A kutatók közleményükben megjegyezték, hogy a felismert jelenség lehetőséget teremthet az enantiomerek szétválasztásának (egy új módszernek) a kidolgozására.

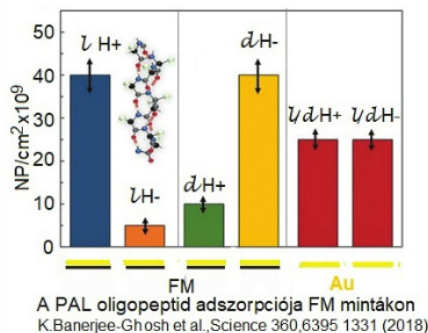
A kísérleteikben használt ferromágneses felületeket szilikonra párologtatott, Co (1,8nm) vagy Ni(120nm) filmek képezték, melyeket néhány nanométer vékony arany filmmel (5nm) vontak be, a ferromágneses filmek oxidációjának elkerülésére. (Az Au filmek 10 nm-ig nem befolyásolják a mágneses és a spin tulajdonságokat.)

## Oligopeptidek

A kísérletekben tiol (SH) végcsoporttal ellátott l- és d-polialanin (PAL) oligomerek oldataikból történő adszorpcióját vizsgálták:

SH-CAAAKAAAAKAAAAKAAAAKAA

AAKAAAAKAAAAK, ahol C, A és K jelentése cisztein, alanin és lizin). Az oligomer egy stabil spirális szerkezetű oligopeptid és az aranyon történő adszorpcióját korábban már vizsgálták. A lánc végi tiol csoport, az aranyfilmen történő adszorpciót segíti. Az adszorbeált PAL-hoz  $\text{SiO}_2$  nanorészecskéket csatoltak a monorétegek adszorpció sűrűségének markerként, a pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatokhoz.



A kísérletek során vizsgált adszorpció idő 1 másodperctől 10 percig terjedek. Közvetlenül az adszorpció után a mintákat mágneses tér alkalmazása nélkül abszolút etanolban öblítették, hogy eltávolítsák az adszorbeálatlan molekulamaradékokat, majd nitrogénnel szárították. Az adszorpció mértékét pásztázó elektronmikroszkóppal határozták meg.

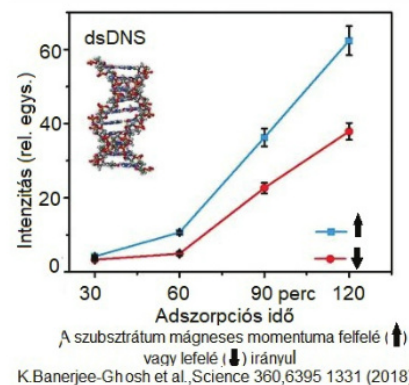
A kísérletek eredményeit, az l- és d-enantiomerek merőlegesen felfelé (+) és lefelé (-) mágnesezett ferromágneses felületeken megvalósult adszorpció sűrűségeit, az adszorbeált nanorészecskék (Nps) SEM-el mért felületegységre eső számát, az alábbi ábra tünteti fel.

Az ábrán a PAL oligopeptid pásztázó elektronmikroszkóppal mért adszorpció sűrűségei (nanorészecskék száma/cm<sup>2</sup>) láthatóak, a szubsztrát felületéhez képest felfelé (+) vagy lefelé (-) mágnesezett mágneses dipólusú FM mintákon. Mind az l-PAL és a d-PAL adszorpció ideje 2 másodperc volt felfelé és a lefelé mágnesezett hordozón is. Az ábra kiegészítésként feltünteteti a nanorészecskék adszorpció sűrűségét a ferromágneses réteg nélküli külső

mágneses térbe helyezett aranyrétegen (piros sávok).

A kísérletek eredményei egyértelműen mutatják az adszorpció folyamat enantioszelektivitását. A felfelé mágnesezési irányban az l-PAL adszorpció sebessége ~8-szor gyorsabb, mint a d-PAL-é, míg a másik mágnesezési irányban a d-PAL adszorpció sebessége ~4-szer gyorsabb, mint a l-PAL-é. Megjegyzendő, hogy a d-PAL tisztítási szintje azonban alacsonyabb volt, mint az l-PAL-é, és valószínűleg ez okozta az adszorpció arányok eltérő mértékét. Az ábrán látható, hogy ferromágneses felület nélkül nincs enantioszelektivitás.

## dsDNS

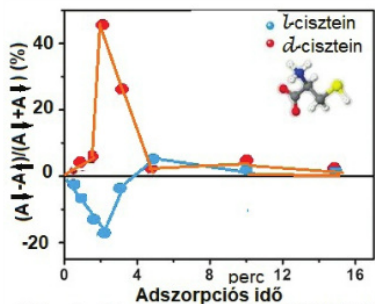


A kutatók az enantioszelektív adszorpció kinetikáját 20 bázispár hosszúságú kétszálú DNS (dsDNS) oligonukleotidok Ni/Au felületen történő adszorpciójuk mérésével is megvizsgálták. A dsDNS 3'-helyzetét (citozin) Cy-3 (cianin) festékkel megjelölve az adszorbeált molekulák mennyiségét fluoreszcenciájuk intenzitásával jellemezték. A méréseket különböző adszorpció időkre és mindkét Ni-mágnesezési irányra megmérték.

Az ábrán az adszorbeálódott molekulák mennyiségével arányos fluoreszcencia görbék alatti terület időfüggése van feltüntetve. Belátható, hogy az adszorpció sebessége jelentősen eltér a szubsztrát felfelé és lefelé mágnesezésekor. A 120 perc adszorpció idő alatt 1.7-szer több oligonukleotid molekula adszorbeálódott a felfele mágnesezett ferromágnesen, mint a lefelé mágnesezettten.

## Cisztein

Annak megállapítására, hogy a hatás aminosav esetén is megvalósul-e, a **cisztein** adszorpciós kinetikáját is megvizsgálták. Az l- és d-cisztein oldataiból történő adszorpciót ugyanazokon a mágneses szubsztrátokon vizsgálták, mint a DNS esetében.



K.Banerjee-Ghosh et al., Science 360,6395 1331 (2018)

Az ábrán a polarizáció mértékének időfüggése látható mindkét enantiomer estében. A P polarizációt a felfelé és lefelé mágnesezett hordozókon lévő adszorbeált cisztein folyadékromatográffal (HPLC) mért mennyiségeiből számították.

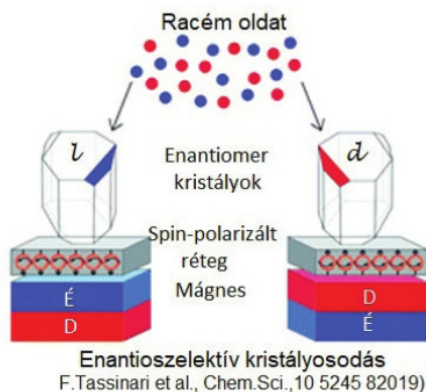
Hasonlóan a vizsgált oligopeptidhez, az l-cisztein a felfelé-, a d-enantiomer pedig a lefelé-mágnesezett szubsztrátumon adszorbeálódott előnyösen.

Összefoglalva, mindhárom királis molekulával, az oligopeptiddel, oligonukleotiddal és az egyszerű aminosavval végzett kísérletek hasonló eredményekre vezettek. A szubsztrát-molekula kölcsönhatás intenzívebb lesz, ha a molekuláris spin és az FM szubsztrát spinje antiparallel (S=0), mint ellenkező esetben (S=1). Mindhárom vizsgált esetben az l-enantiomerek adszorpciójának a felfelé mágnesezett ferromágnes a kedvezőbb, a d-enantiomerek a lefelé mágnesezettet részesítik előnyben.

Egy évvel később 2019-ben a kutatók megmutatták azt is, hogy a királis molekulák és a felületére merőlegesen mágnesezett ferromágneses szubsztrátumok enantioszelektív kölcsönhatása alapján, racém oldatból enantiotiszta kristályosítás valósítható meg. Az enantiomereket térben is el tudták különíteni úgy, hogy állandó

mágneses térrel polarizálták a ferromágneses felületet.

## Kristályosodás ferromágneses felületeken

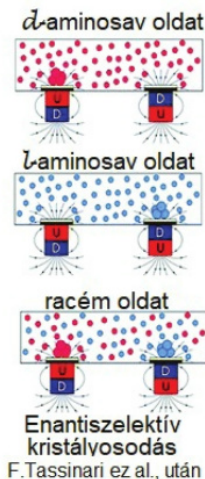


F.Tassinari et al., Chem.Sci., 10 5245 82019)

Egy évvel később, 2019-ben a kutatók megmutatták azt is, hogy a királis molekulák és a felületre merőlegesen mágnesezett ferromágneses szubsztrátumok kölcsönhatása alapján, racém oldatból enantiotiszta

kristályosítás valósítható meg. Az enantiomereket térben is el tudták különíteni úgy, hogy állandó mágneses térrel polarizálták a ferromágneses felületet.

Eredményeiket ismertető közleményükben a kutatók három aminosav, az aszparagin (Asn), a glutaminsav-hidroklorid (Glu·HCl) és a treonin (Thr) ferromágneses (FM) szubsztrátok által kiváltott enantiospecifikus kristályosodásáról számoltak be. A kísérletekben az FM szubsztrátumokat vékony aranyréteggel bevont nikkel elpárologtatásával készítették szilícium lapkákon. Az FM szubsztrátumok különböző mágneses

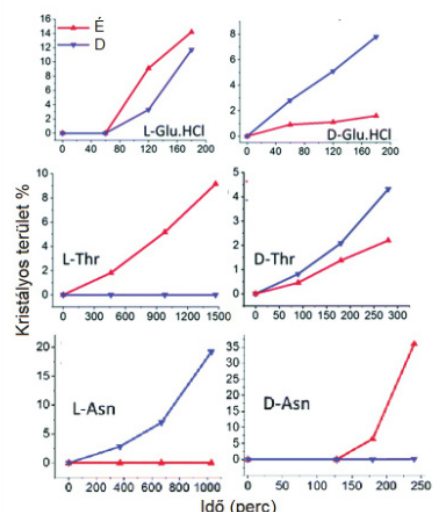


polarizálását alájuk helyezett állandó mágnesekkel hozták létre (0,42 Tesla mágneses tér) úgy, hogy az északi (É) vagy déli (S) pólusuk felfelé mutasson. Mindkét mágneszt a hordozó alá helyezték úgy, hogy az egyik északi, a másik déli pólusa mutasson felfelé.

A racém és enantiotiszta túltelített oldatokat úgy állították elő, hogy a megfelelő molekulát 80 °C-os ionmentes meleg vízben oldották fel. A kristályosodási folyamat akkor indul meg, amikor az oldatok lehűltek szobahőmérsékletre. Az enantiotiszta oldatokból lejátszódó kristályosodás kinetikáját az alábbi ábrán tekinthetjük meg.

Az ábrán az (A) és (B) az oszlopok két ellentétes pólusú mágnessel polarizált ferromágneses hordozón, enantiotiszta oldatokból kiváló kristályok növekedési sebességét mutatják. A tiszta enantiomerek oldata esetén mindhárom esetben a mágnes egyik pólusán, előnyösen az l-enantiomer, a másikon a d-enantiomer kristályosodott ki.

A glutaminsav és a treonin esetében l-enantiomerek az északi, a felfelé mágnesezett mágnespólust részesítették előnyben, a d-formák a délit, megegyezően a korábban vizsgált oligopeptiddel és a ciszteinrel. (Az l-enantiomerek gyorsabban válnak ki az



Enantiomerek kristályosodásának kinetikája enantiotiszta oldatból  
F. Tassinari et al., Chem.Sci. 10 (2019) után



# REAKCIÓK NÉVADÓJA

Professor Albert Eschenmoser 97 éves korában hunyt el 2023. július 14-én. Egyeteme (ETH, Zürich) úgy emlékezett meg róla, mint egy „kivételes elme”, aki olyan mértékben befolyásolta a szerves kémiát, mint kevesen mások.

Egy svájci kisvárosban (Erstfeld, Uri kanton) született 1925. augusztus 5-én. Természettudományi diplomáját 1949-ben, doktorátusát 1951-ben szerezte meg (ETH, Zürich), ahol

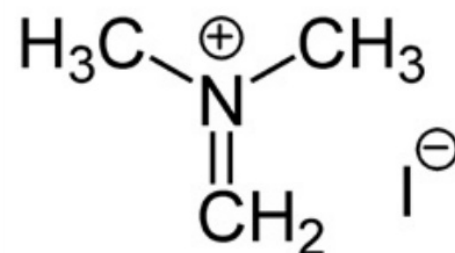


1956-ban a szerves kémia privátdocense, 1960-ban associate professzora, 1965-ben professzora lett. Szerteágazó szakmai munkája kiterjedt terpének bioszintézisének elméletére, természetes anyagok szerkezetének meghatározására, szerves és biokémiai folyamatok sztereokémiájára és mechanizmusuk vizsgálatára, továbbá komplex természetes anyagok totál szintézisére. Több reakció viseli a nevét, de legjelentősebb munkája a B<sub>12</sub> vitamin totál szintézise volt, amit a Harvard egyetemmel (Robert B. Woodward) együttműködésben valósított meg. Úttörőként foglalkozott az élet eredetével. Az 1990-es években azt a kérdést vizsgálta, hogy miért választotta a természet az 5-ös gyűrűs ribózt a 6-os gyűrűs dextróz helyett az örökítő anyag

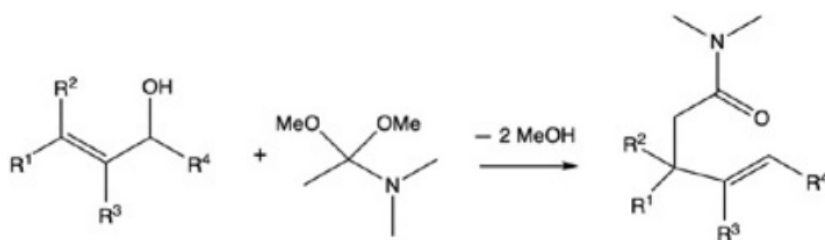
létrehozására. Nyugdíjba vonulása (2009) előtt előadóként működött az ETH-ban (Zürich), a Skaggs Kémiai Biológia Intézetben és a Scripps Kutató Intézetben (La Jolla, California), és vendég-professzorként a Chicago Egyetemen, a Cambridge Egyetemen és Harvard-on.

Az Eschenmoser-Claisen átrendeződés során egy allil-alkoholt hevítenek N,N-dimetil-acetamid-dimetilacetállal és a reakció eredménye egy  $\gamma,\delta$ -telítetlen amid:

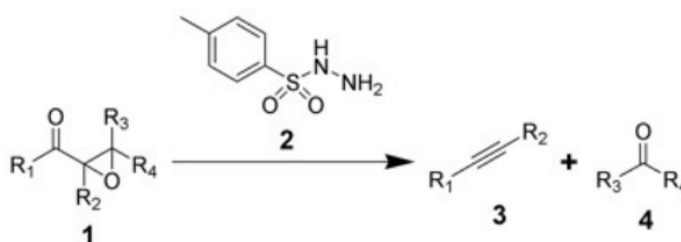
Az Eschenmoser fragmentáció  $\alpha,\beta$ -epoxyketone reakciója aryl sulfonylhydrazinnal, amely alkint és carbonyl vegyületet ad termékül. [2. ábra]



3. ábra Az Eschenmoser só [3]

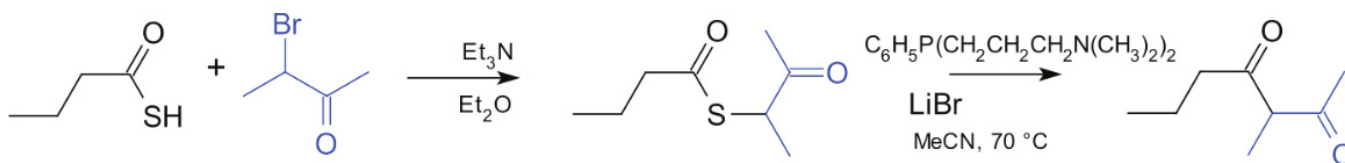


1. ábra Az Eschenmoser-Claisen átrendeződés [1]



2. ábra Az Eschenmoser fragmentáció

Úttörőként  
foglalkozott az élet  
eredetével.



#### 4. ábra Eschenmoser szulfid-kontraktió

Az Eschenmoser só a szerves kémiában egy ionos szerves vegyület, a dimetil-amino-metilén kation jodid sója [3. ábra]

1,3-dikarbonil vegyületek szintézisére szolgál az Eschenmoser szulfid-kontraktió: ebben egy bázis tioeszttert hoz létre, majd tercier-foszfin jelenlétében bekövetkezik a lánc rövidülés. Ezt a reakciót alkalmazták a B<sub>12</sub> vitamin totál szintézisében. [4. ábra]

1960-ban Eschenmoser hozzákezdett a B<sub>12</sub> projekthez. A B<sub>12</sub> vitamin (C<sub>63</sub>H<sub>88</sub>CoN<sub>14</sub>O<sub>14</sub>P) szerkezete (Dorothy Hodgkin [5]) a legbonyolultabb a vitaminok közül. A molekula magja a korrin, egy négyfogú ligand amely rokon a porfirinokkal (pl. klorofil), de lényegesen különbözik abban, hogy a pirrol gyűrűk közötti 4 meso szénatomból egy hiányzik: az A és D gyűrűk egyszeres kötéssel

közvetlenül összekapcsolódnak. [5. ábra]

A makrociklus periferiáján található csoportok: 8 methyl, 4 propionsav- és 4 ecetsav-oldallánc, valamint 9 szénatomon királis centrum. A négyfogú korrin ligand ekvatoriálisan koordinálódik egy három értékű kobalt ionhoz, ami két további axiális ligandhoz kapcsolódik. A hatalmas vállalkozáshoz különleges kooperáció jött létre az ETH és a Harvard egyetem között. A totál szintézist két eltérő úton valósították meg. Woodward csoportjában 91 postdoc dolgozott, Eschenmoser 12 PhD diákot alkalmazott. Mindkét csoport megvalósította a totál szintézist 12 év munkával 1972-re, ami a szerves kémia kiemelkedő teljesítménye volt

A továbbiakban az Eschenmoser csoport szintézisének kulcs lépését, a



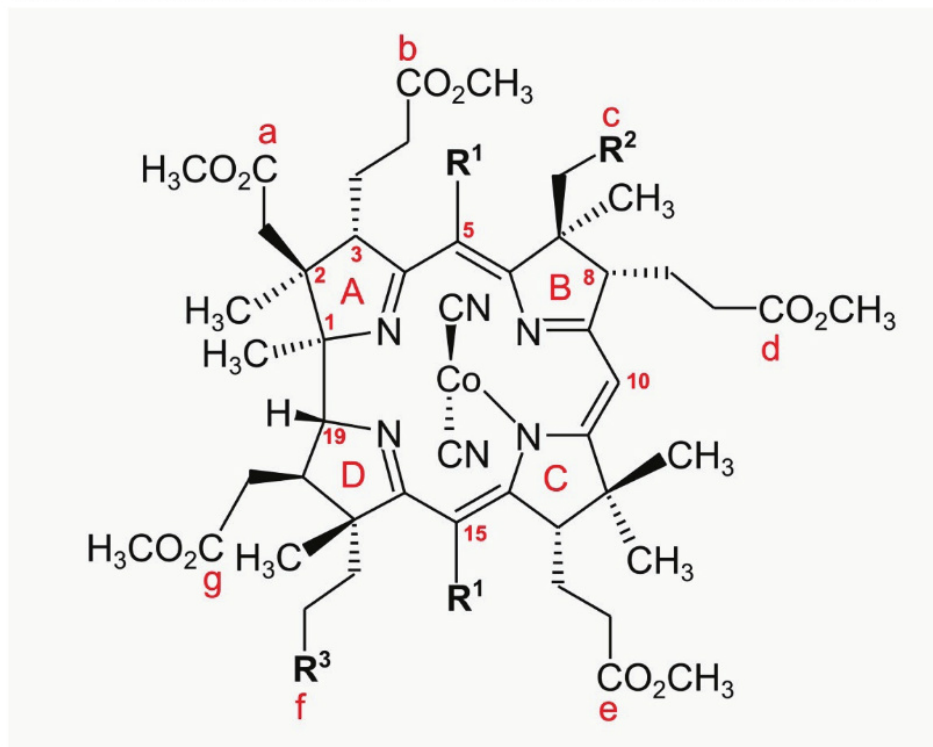
Postdoc beszámoló a Harvardon



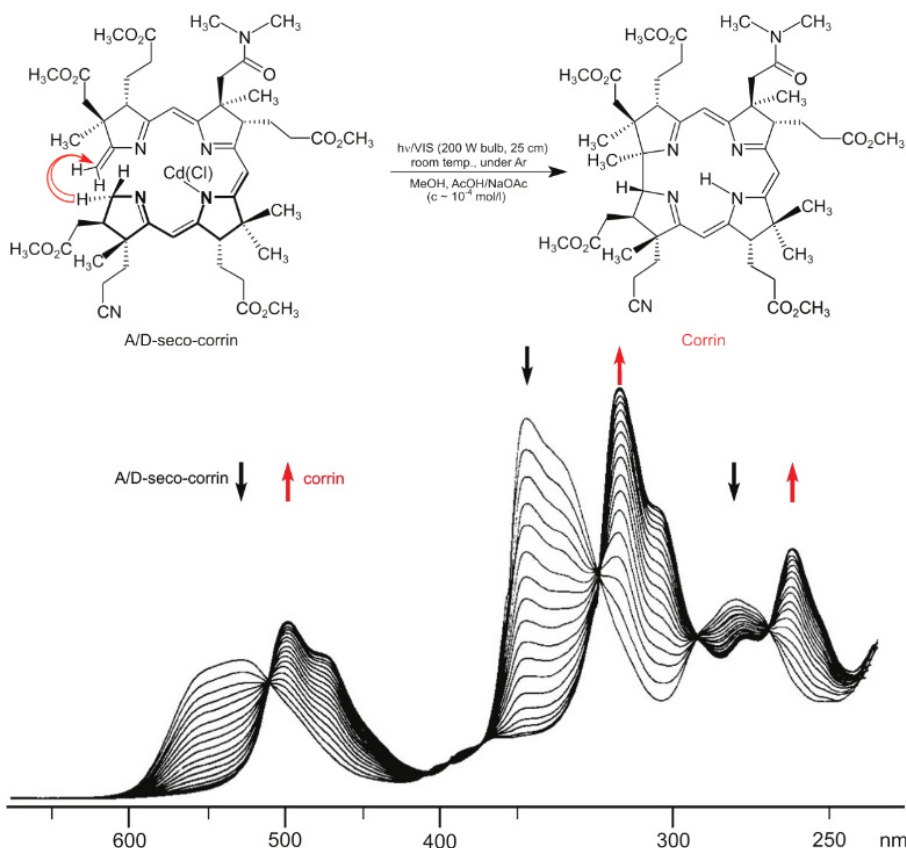
PhD tézisek az ETH-n időrendben fentről lefelé

korrin gyűrűhöz vezető gyűrűzárás ismertettük. Az ETH kutatói olyan fotokémiai reakciót ismertek fel, amellyel az A és D gyűrűk összekapcsolását sztereospecifikus módon tudták megvalósítani.

Eschenmoser az 1980-as években újabb nagy vállalkozásba kezdett. A DNS szerkezetének felismerése – a purin-pirimidin bázis-párok által összetartott kettős spirál – forradalmi felfedezés volt biológusok és kémikusok részére egyaránt. Egy természetes anyagokkal foglalkozó szerves kémikus részére azonban számos kérdés megválaszolatlan maradt. Ezek egyike az, hogy ennek a konformációnak mi a szerkezeti oka. A másik kérdés, vajon miért választotta a természet az 5 szénatomos ribózt a 6 szénatomos glukóz helyett a nukleinsavak építőkövének? [7] Feltehetően azért, mert a pentóz-nukleinsavak biológiailag felsőbbrendűek a hexóz-nukleinsavaknál. A felsőbbrendűség oka kémiailag vizsgálható a hexóz-nukleinsavak kémiai előállítására és természetes nukleinsavakkal való összehasonlításra útján [8]. Eschenmoser csoportja szintetizálta a homo-DNS-t, amelyben a szokásos 2'-deoxy-ribofuranóz gyűrűket 2',3'-dideoxy- glukopiranoz egységekkel



5. ábra A korrin szerkezet

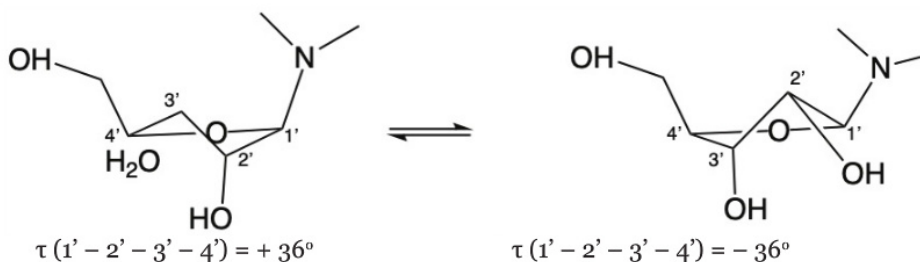


## A korrin gyűrű fotokémiai gyűrűzárása [6]

helyettesítették [9]. Bizonyították, hogy a szintetizált homo-DNS is képes bázispárok képzése útján kettős spirál szerkezetet létrehozni [10]. Azonban, a DNS-szel szemben a homo-DNS kettős spirál szerkezet nagyobb stabilitást mutat (nehezebben tekeredik szét). A homo-DNS duplexek nagyobb stabilitása részben megnövekedett entrópiának tulajdonítható: a megnőtt bázispár-távolság (DNS-ben 3,4 Å, a homo-DNS-ben 4,3 Å) nagyobb rendezetlenséget okoz [11]. De a kétféle konformáció különbözősége valójában az endo-ciklusos

torziós szögek különbözőségére vezethető vissza [8]. Ennek értékeléséhez vegyük először szemügyre az 5-, és 6-szénatomos gyűrűk esetét.

A 6-tagú gyűrűk stabilis szék-, vagy kád-alakot vesznek fel. Az 5-tagú gyűrűk ilyen stabilitásra nem képesek. Bár a szabályos ötszög szögei 108°-osak megközelítve a tetraédes szög értékét (109,47°) a ciklopentán nem sík szerkezetű, mert a szomszédos szénatomok hidrogénjei közötti taszítás kibillent a gyűrűt a síkból. A ciklohexánnal szemben ez a feszültség a

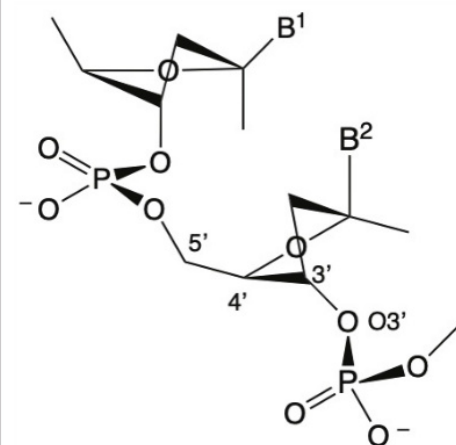


## A ribofuranóz gyűrű pseudo-rotációs egyensúlya nukleozidokban [13]

ciklopentánban nem korlátozódik egyetlen szénatomra és a síkból történő kibillenés körbe szalad a gyűrű mentén. A jelenséget pseudo-rotációnak nevezik, mert a kibillenő mozgás nem a rotáció irányában történik [12]. A szubsztituált ciklopentánban a konformáció már meghatározottabb, ahogy a ribóz 5-tagú gyűrűjében is, amikor a szabad pseudo-rotáció helyett a torziós szögek által meghatározott két határeset közötti egyensúlyról beszélhetünk: (ábra 13.)

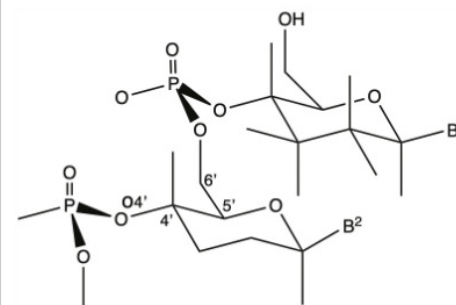
Nézzük most meg a DNS és homo-DNS endociklusos torziós szögeit:

Míg a homo-DNS a DNS analógjaként szolgált, az RNS potenciális evolúciós hexóz alternatívái az allo-, altro- és glukopiranozil nukleinsavak nagyon gyenge bázispár-képző (azaz kettős-spirál képző) tulajdonságúknak bizonyultak



$$\tau(5' - 4' - 3' - O3') = +140^\circ$$

## A DNS jellemző endo-ciklusos torziós szöge [8]



$$\tau(6' - 5' - 4' - O4') = +60^\circ$$

## A homo-DNS jellemző endociklusos torziós szöge [8]

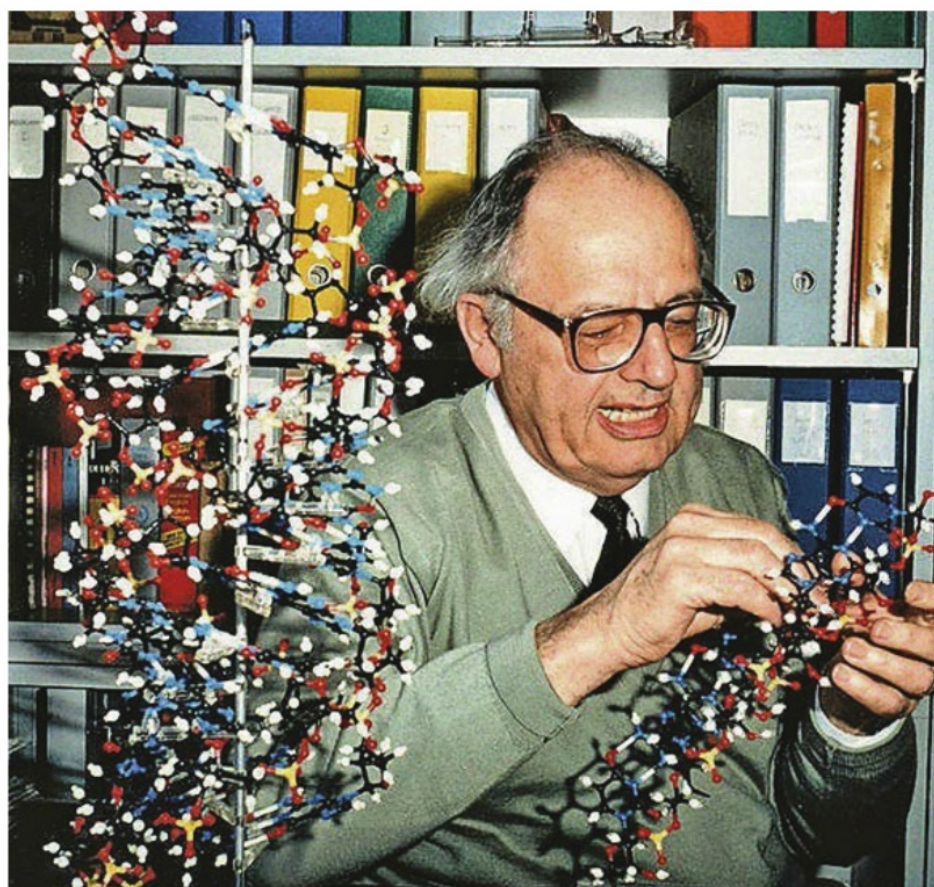




[14]. Kísérleti úton bizonyítani tudták, hogy a kettős-spirálok eltérő stabilitása annak közvetlen következménye, hogy az 5-szénatomos gyűrűt 6-szénatomosra cserélték.

Ami a természet választását illeti,

hexózek és piranózek a pentózek és furanózek helyett olyan kettős spirálokat hozna létre, amelyek stabilitása vagy túlságosan nagy, vagy gyenge lenne ahhoz, hogy genetikai szerepet játsszon az élő szervezetek információs transzferében.



„Mintha az élet lélegezne az 5-tagú gyűrűben” [15].

Eschenmoser nagyszámú nemzetközi elismerésben részesült, számos egyetemről kapott díszdoktori címet, sok rangos nemzetközi díjjal tüntették ki, de Nobel-díjat nem kapott. Egyszer megkérdezték tőle, nem érzi-e magát ezért mellőzöttnek. A választát több helyen is idézik: „A díjak szép dolgok, de a felfedezés többet ér” [16].

**Simonyi Miklós**



#### OLVASNIVALÓK:

1. A. E. Wick, D. Felix, K. Steen, A. Eschenmoser, *Helv. Chim. Acta* 1964, 47, 2425-2429.
2. A. Eschenmoser, D. Felix, G. Ohloff, *Helv. Chim. Acta* 1967, 50, 708-713.
3. J. Schreiber, H. Maag, N. Hashimoto, A. Eschenmoser, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 1971, 10, 330-331.
4. M. Roth, P. Dubs, E. Götschi, A. Eschenmoser, *Helv. Chim. Acta* 1971, 54, 710-734.
5. D. C. Hodgkin, J. Kamper, M. MacKay, J. Pickworth, K.N. Trueblood, J. G. White, *Nature* 1955, 178 (4524): 64-66.
6. A. Eschenmoser, *Angew. Chem Int Ed Eng* 1988, 27, 5-39.
7. A. Eschenmoser, M. Dobler, *Helv. Chim. Acta* 1992, 75, 218-259.
8. A. Eschenmoser, E. Loewenthal, 1992, *Chem. Soc. Rev.* 1-16.
9. M. Böhringer, H. J. Roth, J. Hunziker, M. Göbel, R. Krishnan, A. Giger, B. Schweizer, J. Schreiber, C. Leumann, A. Eschenmoser, *Helv. Chim. Acta* 1992, 75, 1416-1477.
10. J. Hunziker, H. J. Roth, M. Böhringer, A. Giger, U. Diederichsen, M. Göbel, R. Krishnan, B. J. Jaun, C. Leumann, A. Eschenmoser, *Helv. Chim. Acta* 1993, 76, 259-352.
11. G. Otting, M. Billeter, K. Wüthrich, H. J. Roth, C. Leumann, A. Eschenmoser, *Helv. Chim. Acta* 1993, 76, 2701-2756.
12. J. E. Kilpatrick, K. S. Pitzer, R. Spitzer, *J. Am. Chem. Soc.* 1947, 69, 2483-2488.
13. C. Altona, M. Sundaralingam, *J. Am. Chem. Soc.* 1973, 95, 2333-2344.
14. A. Eschenmoser, 1996, In „Chemical Synthesis” (Chatgililoglu, C. and Snieckus, U., eds.), pp. 293-340. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
15. S. Pitsch, S. Wendeborn, B. Jaun, A. Eschenmoser, *Helv. Chim. Acta* 1993, 76, 2161-2183.
16. A. Eschenmoser, személyes közlés.

# HETVEN ÉVE HUNYT EL A VILÁGEGYETEM MEGFIGYELŐJE

Az 1920-as években a fizika forradalma és Albert Einstein általános relativitáselmélete nyomán, valamint az egyre nagyobb teljesítményű teleszkópok segítségével Edwin Hubble megteremtette az új kozmológiát. A tizenkilencedik századi csillagászok katalogizálták a csillagokat, vitatkoztak a Naprendszer fejlődéséről, a Föld eredetéről – amit a kozmológia szóval foglaltak össze –, de elméleteik nem lépték át a Tejút határát. Az amerikai Közép-Nyugatról származó, de a dél-kaliforniai Mount Wilson-i hatalmas obszervatóriumban dolgozó Hubble volt az, aki felismerte a sok ezer csillagrendszert, és kidolgozta az óriási, táguló világegyetem elméletét.

Hubble legfontosabb, legnagyobb hatású felfedezései, írja Robert W. Smith történész, „különösen érdekes példái

Az 1920-as években a fizika forradalma és Albert Einstein általános relativitáselmélete nyomán, valamint az egyre nagyobb teljesítményű teleszkópok segítségével Edwin Hubble megteremtette az új kozmológiát. A tizenkilencedik századi csillagászok katalogizálták a csillagokat, vitatkoztak a Naprendszer fejlődéséről, a Föld eredetéről – amit a kozmológia szóval foglaltak össze –, de elméleteik nem lépték át a Tejút határát. Az amerikai Közép-Nyugatról származó, de a dél-kaliforniai Mount Wilson-i hatalmas obszervatóriumban dolgozó Hubble volt az, aki felismerte a sok ezer csillagrendszert, és kidolgozta az óriási, táguló világegyetem elméletét.

annak, milyen szerepe van az esztétikának a kozmológiában.” Munkája „segített kialakítani a kor csillagászaiban és matematikusaiban a magabiztosságot, ami ahhoz kellett, hogy vita tárgyává tegyék, majd végső soron megpróbálják

megérteni a világegyetem egész történetét”.

Edwin Hubble a Missouri állambeli Marshfieldben született 1889. november 20-án John Powell Hubble ügyvéd és biztosítási ügynök és Virginia Lee James fiaként. Családjá később Chicago elővárosába, az illinois-i Wheatonba költözött, Hubble itt járt gimnáziumba. Rendkívül sokoldalú sportoló és kitűnő tanuló volt. 1906-ban ösztöndíjat kapott a Chicagói Egyetemre. Noha apja kívánságára jogot tanult, felébredt az érdeklődése a csillagászat iránt, és eljárt Robert Millikan, a kitűnő fizikus óráira. 1910-ben Rhodes-ösztöndíjat kapott az oxfordi Queen's Collegeba. Három évet töltött ott, és Angliában szerezte meg a jogi doktorátust. Amikor visszatért az Egyesült Államokba, apja halála után otthagyta a jogi pályát. Egy évig az indianai New Albany gimnáziumában tanított spanyol nyelvet és matematikát, mielőtt visszatért volna a Chicagói Egyetemre, hogy lediplomázzon csillagászatból. Doktorátusát 1917-ben



Edwin Hubble



szerelte meg. Az egyetem Yerkes Observatóriumában igen nagy jártasságot szerzett a gyakorlati csillagászatban. Disszertációjának, későbbi munkásságát előrevetítve, a Halvány csillagködök kutatása fényképészeti módszerekkel címet adta.

Amikor véget ért a háború, és ő leszerelt, belépett a Mount Wilson-i obszervatóriumhoz. A Hooker-tükörteleszkóp, amely egy 250 centiméteres tükörrel dicsekedhetett, világosan jelezte, hogy az Egyesült Államokban fokozódó jelentőséget tulajdonítanak a mind nagyobb műszerek építésének. Az újabb teleszkópok fénygyűjtő képessége megváltoztatta a csillagászatot, aminek a húszas évek elején többek között egy sarkalatos jelentőségű vita lett az eredménye a nebulák – az éjszakai égen látható, izzó, felhőszerű foltok – természetéről. Az egyik nézet szerint, amelyet elsősorban a kitűnő Harlow Shapley képviselt, a nebulák a csillagközi anyag felhői a Tejútban, egy másik, radikálisabb elmélet szerint független csillagrendszerek. A két elmélet szögesen ellentétes felfogást jelentett a világegyetem tartalmáról.

1922-ben Hubble közreadta Általános tanulmány a galaktikus nebulákról című cikkét, amelyben új, máig használatos osztályozást hozott létre. Ennél is fontosabb, hogy a következő évben október 4-én számos csillagot fedezett fel az Andromédában, az egyik legrégebben felfedezett nebulában. Kezdetben azt hitte, hogy a csillagok egyike nóva vagy felrobbant csillag, de miután összehasonlította a korábbi fényképekkel, felismerte, hogy inkább pulzáló cefeida, változó fényű csillag. Ennek következtében Hubble képes volt létező technikákkal megmérni a csillag távolságát a Földtől. A kapott szám – mintegy egymillió fényév – jóval meghaladta azt, amit Shapley adott meg a Tejút kiterjedéseként. Amikor tájékoztatta Shapleyt, az átnyújtotta a küldeményt a kollégájának és azt mondta: „Ez a levél itt összeűzta az én világegyetememet.”

Ezzel a felfedezéssel és a következő

”  
Hubble képes  
volt létező technikákkal  
megmérni a csillag  
távolságát a Földtől.  
”

években végzett más megfigyeléseivel Hubble gyakorlatilag véget vetett a vitának. Eldőlt, hogy a Tejúton túl is léteznek megfigyelhető galaxisok, és a világegyetem nagyobb, mint valaha sejtették.

Ezt követő, a nebulákra vonatkozó kutatásait még nagyobb horderejűvé tették Albert Einstein új kozmológia céljából kidolgozott 1916-os általános relativitáselméletének vetületei. A relativitás elmélete választ ígért arra a kérdésre, hogy a világegyetem statikus-e vagy dinamikus, terjed-e vagy összehúzódik. A legfontosabb változó, amit Willem de Sitter holland csillagász vezetett be, a távoli galaxisok által kibocsátott fény természete. Ha a világegyetem tágul, akkor ez a fény „vöröseltolódást” szenved, jelezve, hogy a csillagrendszer távolodik a Földtől. Még zajlott a vita a húszas években, Hubble és kollégája, Milton Humason megmérték a távoli nebulákat, és a színképelemzés összegyűjtött adatai csakugyan kimutatták a vöröseltolódást.

Hubble 1929-es Kapcsolat az extragalaktikus nebulák távolsága és sebessége között című cikke határkő a csillagászat történetében.

Hubble megállapította, hogy a galaxisok fényének vöröseltolódása arányosságot mutat a távolságukkal. Mivel egy hullám hullámhosszának növekedése az észlelő számára az objektum távolodását, a Doppler-effektust jelentette, ezért könnyű volt azt a következtetést levonni, hogy Hubble felfedezte a galaxisok távolodását. Szigorú értelemben az érdeme az volt, hogy felfedezte, az általa vizsgált galaxisok vöröseltolódása arányos a távolságukkal.

Doppler-effektus: A megfigyelőhöz képest mozgásban lévő sugárzás kibocsátó forrás hullámhossza megváltozik. Folyamatosan távolodó forrásnál a megfigyelő hosszabb hullámhosszat (fény: vöröseltolódás, hang: mélyülő hang), folyamatosan közeledőnél rövidebb hullámhosszat észlel a kibocsátótnál (fény: kékeltoledás, hang: magasodó hang). Azonban az általános relativitáselmélet szerint a vöröseltolódásnak a Doppler-effektuson, a forrás és a megfigyelő egymáshoz képesti mozgásán kívül, oka lehet az Univerzum tágulása, a tér tágulása is. Emiatt a csillagászok a mai ismeretek szerint úgy gondolják, hogy a Hubble által megfigyelt jelenség nem Doppler-effektus, hanem az egész tér tágulásának következménye. Tehát nem azért észleljük a galaxisok fényének hullámhosszát nagyobbak, mint a laboratóriumban mért érték, hanem azért, mert a fényt kibocsátó csillag és a Föld egymástól távolodik. A vöröseltolódás a világegyetem tágulásának következménye.

(netfizika, <https://www.netfizika.hu/tudas/node/4483>)

Noha Hubble maga óvakodott kimondani, mérései ahhoz a következtetéshez vezettek, hogy a világegyetemnek van egy tágulási aránya, amely az azóta Hubble nevét viselő állandóval kiszámítható. Ebből következik a „Hubble-törvény”, amely megadja a sebesség-távolság arányt:  $v = Hd$ , ahol  $H$  a Hubble állandó,  $v$  a sebesség és  $d$  a távolság.

A Hubble-állandó az egyik legfontosabb szám a kozmológiában, mert megmondja, milyen gyorsan tágul az univerzum és segítségével megbecsülhető az univerzum kora is. Majdnem százéves csillagászati mérések és számítások ellenére a tudósok még mindig újra meg újra igyekeznek pontosítani a Hubble-állandó értékét.

Hubble eredeti becslése 500 km/s/Mpc volt, ami jóval meghaladja azt az értéket, amit csillagászok ma gondolnak. (Parsec csillagászati távolságegység, 1 Mpc=3,26

10<sup>6</sup>fényév). A csillagászok javították Hubble eredeti módszereit, és a mai tudásunk szerint, az állandó értéke közelítőleg 69 km/s/Mpc. Ez például azt jelenti, hogy a Tejútrendszerből 1000 km/s-os sebességgel távolodó galaxis körülbelül 14,5 Mpc=47,2 millió fényév távolságra van a galaxisunktól. A Hubble állandó reciproka pedig megadja az univerzum életkorának becslését. A körülbelül 69 km/s/Mpc értékkel az univerzum életkora 14,5 milliárd évnél adódik.

A táguló világegyetem gondolata némi kezdeti ellenállásba ütközött. Albert Einstein, aki egy ideig hitt abban, hogy a világegyetem statikus – ezt ő pályafutása legnagyobb baklövésének nevezte –, megváltoztatta a véleményét, amikor 1931-ben meglátogatta Hubble-t a Mount Wilsonon és a Kaliforniai Műszaki Egyetemen. Einstein véleménye megváltoztatásának bejelentése „egyenesen a világhírbe katapultálta Hubble-t”, írja biográfusa, Gale Christianson. Egy korabeli újságcikk szerint: „A világegyetem, hogy nem tudományos kifejezést használunk, eltökélten halad a káosz felé, nem törődve a gravitációval, csak repül kifelé egyre gyorsabban és gyorsabban. Úgy tűnik, szétesik az egész, és kirohan a korlátlan külső űrbe. Ebből semmi jó sem sülni ki.”

Noha Hubble adott új életet annak a kérdésnek, amely azóta a modern kozmológia része lett – későbbi pályafutása során igyekezett meghatározni a világegyetem korát –, ő maga gondosan kerülte, hogy közvetlenül beleavatkozzon az ilyen vitákba. Azt írta: „Amíg a tapasztalat forrásai ki nem merülnek, addig nincs szükség rá, hogy behatoljunk a találgatások álomvilágába.” Ellentétben Arthur Eddingtonnal és Stephen Hawkinggal, Hubble úgy lett híres, hogy nem foglalkozott a tudomány népszerűsítésével. Mindazonáltal 1936-ban laikusoknak tartott előadást a nebulák birodalma, a következő évben pedig a kozmológia megközelítése a

megfigyelések által címmel. Halála után jelent meg A tudomány természete, egy esszégyűjtemény, amelyet 1954-ben adtak közre. Noha politikai téren konzervatív volt, az atomfegyvereket ellenezte. A háború, amelynek nem szabad kitornie című előadása, nem sokkal a második világháború befejezése után, a pusztulás látomását vetíti elének.

Hubble hírneve számos látogatót vonzott a Mount Wilsonra. Olyan értelmiségiekkel ismerkedett meg, mint Walter Lippmann és Aldous Huxley. Válogatott közönség előtt tartott előadásokat a washingtoni Carnegie Intézetben, gyakran látogatott Angliába, ahol ő és a felesége, Grace, mindketten anglofónok lévén, igen jól érezték magukat a kor legnagyobb tudósai között. Ismerőseik közé tartozott számos filmszínész és stúdióigazgató a közeli Hollywoodból. Hubble és felesége tartós barátságot kötött Anita Loossal, a Szókék előnyben című könyv szerzőjével.

Sok olyan kollégája volt, akik nem valami barátságosan emlékeztek rá. Némelyek arrogáns, kellemetlen embernek tartották. „A legtöbben elismerték, bár nem szívesen – állítja Timothy Ferris –, hogy egyike minden idők legnagyobb csillagászaiknak.” Másrészt nem csupán bátorította csillagászati tevékenységre Milton Humasont, akit először portásnak alkalmaztak a Mount Wilsonon, de nyilvánosan elismerte közreműködését azokban a cikkekben, amelyeket közösen jelentettek meg.

1948-ban Edwin Hubble volt az első, aki a Caltech hatalmas, ötméteres teleszkópjával dolgozott a Palomar-hegyen. Öt évvel később, 1953. szeptember 28-án, miközben az éjszakai megfigyelésre készült, agyvérzésben elhunyt.

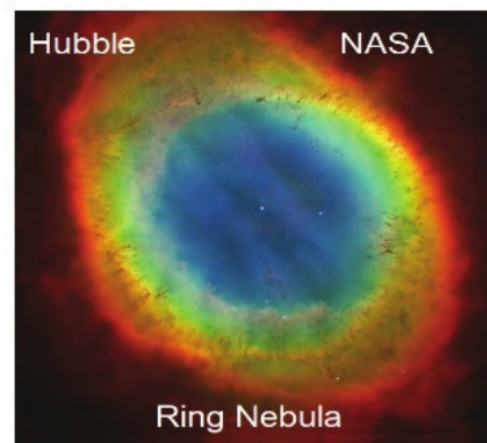
Hubble nevére manapság nem csupán a vöröseltolódás törvényei jutnak eszünkbe, hanem az űrben elhelyezett Hubble-teleszkóp is, amelyet 1990-ben bocsátottak fel. A kezdeti problémák kijavítása után a teleszkóp remek képeket kezdett küldeni a Földre, és azóta is

mélyebben beleszelkedik a világegyetembe, mint bármely más mostanáig készített műszer.

A Hubble űrtávcső (angolul Hubble Space Telescope, HST) csillagászati műhold. Közeli infravörös, látható fény és ultraibolya tartományban végez észleléseket. Fő alkatrésze egy 2,4 méter átmérőjű Ritchey–Chrétien-távcső, mely négy, a távcső élettartama alatt többször cserélt műszerbe továbbítja az összegyűjtött fényt. (Wiki). Az űrtávcső majdnem két évtized munkájának megkoronázásaként 1990. április 24-én a Discovery űrsikló fedélzetén útnak indult a világűr felé

Az űrtávcső egyik fontos feladata, hogy minél pontosabban meghatározza a Hubble-állandó értékét.

**Ménes András**



**Astronomy Picture of the day  
2023 April 2**



# A XIII. Kutatótábor, 2023

A HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont 2023-ban, július 9. és július 15. között, 13. alkalommal rendezte meg az „AKI Kíváncsi Kémikus” kutatótáborát. A tábor lebonyolítását a Richter\_Gedeon NyRT támogatta.

## SEGÍTSÉG A PÁLYAVÁLASZTÁSHOZ



A pályázat alapján kiválasztott résztvevő diákok egy héten át dolgozhattak különböző kutatási témákon a

Kutatóközpont laboratóriumaiban. A tábor jelenleg már a kémián kívül a HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont összes kutatási területén kínál témákat a résztvevő diákoknak. Idén a HUN-REN TTK összes intézete részt vett a tábor megrendezésében, melyek az Anyag- és Környeztkémiai Intézet, Enzimológiai Intézet, Szerves Kémiai Intézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Szerkezetkutató Központ, Agyi Képpalkotó Központ. A diákok így a kémia népszerű területein (szerves kémia, polimerkémia, elektrokémia, gyógyszerkémia, szerkezetvizsgálat) kívül bekapcsolódhattak a sejtbiológia vagy az idegtudomány területein végzett kutatásokba is.

A tábor egyik célja, hogy segítséget nyújtson a természettudományos érdeklődésű középiskolásoknak a pályaválasztáshoz. A diákoknak így lehetőséget adtunk egy beszélgetésre olyan egyetemista hallgatókkal, akik jelenleg a BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Karán, az ELTE



Természettudományi Karán, illetve a Semmelweis Egyetem Általános Orvostudományi Karán vagy Gyógyszerésztudományi Karán tanulnak. Így a diákok első kézből kaphattak választ a továbbtanulással kapcsolatos kérdéseikre. Nagy örömünkre szolgál, hogy a táborunk iránt országszerte, és a határainkon túl is nagy az érdeklődés. Idén tizennyolc városból fogadtunk összesen 26 diákot, közülük öten Erdélyből érkeztek.

**Dr. Tompos András**  
az Anyag- és Környezttudományi Intézet igazgatója

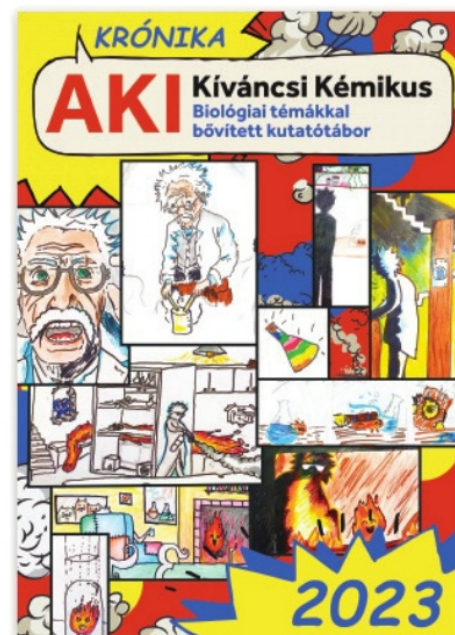
## A KUTATÓTÁBOR



A Természettudományi Kutatóközpont nyári tábora azért különleges, mert itt a diákok nem csak előadások vagy laborgyakorlatok

formájában találkozhatnak a tudománnyal, hanem egy héten keresztül lehetőségük van bekapcsolódni a tudományos kutatók felfedező munkájába. A hét során megtanulják használni az általunk is használt laboratóriumi eszközöket, megismerkednek a kutatási módszereinkkel, és részt vehetnek a nagyműszereinkkel végzett mérésekben. A tábor során jelentős szerepet kapott a diákok közötti közösség és együttműködés

kialakítása. A közös természettudományos érdeklődés, eleve jó alapot adott az ismerkedéshez. Az egyes kutatási témákon a diákok egymást segítve párokban dolgoztak. A



hét végére megoldottak egy rövid kutatási feladatot, melynek eredményét rövid előadásban mutatták be. A délutáni programokat is igyekeztünk a természettudományok és a csapatépítés jegyében megszervezni. A diákoknak a hét során egy játékos projektfeladatot kellett megvalósítani, melyen esténként öt-hat fős csoportokba szerveződve dolgoztak. Ennek eredményeként születtek többek között a címlap képregénykockái. Reméljük, hogy a nálunk szerzett tudományos tapasztalatokon túl a diákjaink talán életre szóló barátságokat is szereztek a tábor során!

**Nagyné Dr. Bereczki Laura,**  
tudományos munkatárs, szervező

A diákok munkájuk eredményeiről dolgozatokat írtak és 15 perces előadásokban számoltak be a Kutatótábor utolsó napján megrendezett miniszimpóziumon.

A kutatótábor teljes programja és a diákok dolgozatai elérhetőek a Kutatóközpont honlapján:

<https://www.ttk.hu/wp-content/uploads/pdf/Kronika2023.pdf>

## KUTATÁSI TÉMÁK

### TÜZELŐANYG CELLÁK

Király Tamás Gábor, Kölcsey Ferenc Főgimnázium,  
Szatmárnémeti, Tarnóczy Márton, Hunyadi Mátyás Gimnázium,  
Halásztelek, Takács Márton, Karinthy Frigyes Gimnázium, Budapest  
**Témavezetők:** Dr. Szíjjártó Gábor, Dr. Asmaa Selim

### POLIMER KEVERÉKEK ÉS KOMPOZITOK 3D NYOMTATÁSA

Fekete Balázs, Kecskeméti Bányai  
Júlia Gimnázium, Szabó Barnabás,  
Lóczy Lajos Gimnázium,  
Balatonfüred, Bencze Mátyás,  
Tamási Áron Gimnázium, Székelyudvarhely  
**Témavezetők:** Romsics Imre, Ferdinánd Milán



### POLIMER GÉLEK KÉMIÁJA

Katreiner Kíra Luca, Cisztréci Rend  
Nagy Lajos  
Gimnázium, Pécs, Szabó Orsolya,  
Báthory István Elméleti Líceum,  
Kolozsvár  
**Témavezetők:** Sármey Bence,  
Budai Eszter Anna, Bajcsi Áron



### EXTRACELLULÁRIS VEZIKULÁK VIZSGÁLATA

Krámlí Petra, ELTE Trefort Ágoston Gyakorló  
Gimnázium, Budapest, Lengyel Judit Kata, Keszthelyi Vajda János  
Gimnázium  
**Témavezetők:** Dr. Gaál Anikó, Bebesi Tímea,  
Ilyés Kinga, Dr. Mihály Judit

### RÖNTGENSUGÁR MINT NANO-MÉRŐRÚD

Hangya Kinga Imola, Kecskeméti Bányai Júlia  
Gimnázium, Skorcov Tünde, Budai Cisztréci Szent Imre Gimnázium  
**Témavezetők:** Dr. Varga Zoltán, Dr. Wacha András

### RATICAL ART: ALKOSSUNK REMEKMŰVEKET IDEGSEJTEKBŐL ÉS ANTITESTEKBŐL

Machlik Míra, Pécsi Janus Pannonius Gimnázium,  
Szalai Nikolett, Zalaegerszegi Kölcsey Ferenc  
Gimnázium  
**Témavezető:** Bod Réka, Tóth Estilla

### RÁKTERÁPIÁS GYÓGYSZERCÉLPONT ÉS DNS-MÓDOSÍTÓ ENZIMFEHÉRJÉK NYOMON KÖVETÉSE GYÓGYSZERKEZELT VASTAGBÉLRÁK SEJTVONALON

Kopacz Melánia, Csiky Gergely  
Főgimnázium, Arad,  
Petrovánszki Lilla, Kisvárdai  
Bessenyei György  
Gimnázium és Kollégium  
**Témavezetők:** Dr. Békési  
Angéla, Holub Eszter



### AZ AGY BIOLÓGIAI ÉLETKORÁNAK BECSLÉSE MRI FELVÉTELEK ALAPJÁN MESTERSÉGES INTELLIGENCIA (MI) SEGÍTSÉGÉVEL

Tomka Dorottya, Békásmegyeri Veres Péter  
Gimnázium, Varga Dorina, Debreceni Csokonai Vitéz Mihály  
Gimnázium  
**Témavezetők:** Hermann Petra, Simon Ádám,  
Nárai Ádám, Dr. Vakli Pál

### SZERVES MOLEKULÁK VIZSGÁLATA NMR SPEKTROSKÓPIÁVAL

Jánosik Jázmin, Révai Miklós  
Gimnázium és Kollégium, Győr,  
Viczkó Csaba Péter, ELTE Apáczai  
Csere János Gyakorló Gimnázium,  
Budapest  
**Témavezetők:** Dr. Turczel  
Gábor, Teski Tamara, Balterer Bence



### ABC MULTIDROGTRANSPORTEREK HATÁSA A GYÓGYSZERKEZELÉSEK HATÉKONYSÁGÁBAN

Batka András, Pannonhalmi Bencés Gimnázium és  
Szakkollégium, Behofsits Maja, Soproni Szent Orsolya  
Római Katolikus Gimnázium  
**Témavezető:** Dr. Telbisz Ágnes, Bodnár Anikó

### ÚJ, POTENCIÁLISAN BIOAKTÍV MOLEKULÁK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS JELLEMZÉSE

Darázs Anna, Révai Miklós Gimnázium és Kollégium, Győr, Káldy  
Fruzsina, ELTE Bolyai János Gyakorló  
Általános Iskola és Gimnázium, Szombathely  
**Témavezetők:** Kollár Levente és Dr. Kovács Péter

### „UGRÁLÓ GÉNEK” A SEJTBIOLÓGIAI KUTATÁSOKBAN

Szilágyi Zsuzsanna Tímea, Bolyai Farkas Elméleti Líceum,  
Marosvásárhely, Gelencsér Artúr, Budapest V. kerületi Eötvös József  
Gimnázium  
**Témavezetők:** Némethy Kornélia, Dr. Orbán Tamás



# AZ ORVOSI ZSÁLYA

Az orvosi zsálya (*Salvia officinalis*) az árvacsalánfélék (*Lamiaceae*) családjába tartozó, aromás fűszer- és gyógynövény. A *Salvia* nemzetségbe kb. 700-900 faj tartozik, melyek között évelő és egyéves lágyszárú növények, cserjék is megtalálhatók. A zsálya évelő örökzöld levelű 30–80 cm magasra növő illatos cserje. Alsó és középső levelei nyelesek, hosszúkás lándzsásak. Virágai 15–23 mm hosszúak, lila színűek, illatosak. Termése tojásdad alakú kis makkok.



**A** *Salvia officinalis* faja a Közel-Kelet és a Földközi-tenger térségében honos. Magyarországon nem őshonos, de gyógynövényként és dísnövényként termesztik kertekben. Ismert még kerti zsálya néven is.

Az orvosi zsálya egy sokoldalú növény, amelyet gyógynövényként, fűszerként és dísnövényként is használnak. Az egyik legrégebbi gyógynövény, amely gazdag múltra tekint vissza a hagyományos orvoslásban. Gyulladáscsökkentő és antioxidáns tulajdonságai miatt a *Salvia officinalis* terápiás hatása régóta ismert. Görögök, rómaiak az ókorban is használták különböző betegségek gyógyítására, tüneteinek enyhítésére. A neve, „*Salvia*”, latin *salvus* szóból ered, ami egészséges, megmenteni jelentést hordoz.

Az ázsiai és latin-amerikai népi gyógyászatban is használták számos betegségek például rohamok, fekélyek, köszvény, reuma, gyulladások, hasmenés, hiperglikémia kezelésére. A

hagyományos európai orvoslásban az *S. officinalis*-t enyhe gyomorégés és puffadás, életkorral összefüggő kognitív zavarok, valamint a torok és bőr gyulladásainak kezelésére alkalmazták. Gyógyító tulajdonságait a bioaktív vegyületek, például a rozmarinsav és a flavonoidok magas koncentrációjának köszönheti. A német Egészségügyi Hatóság az *S. officinalis* orvosi alkalmazását gyulladás és emésztési zavarok kezelésére elfogadta.

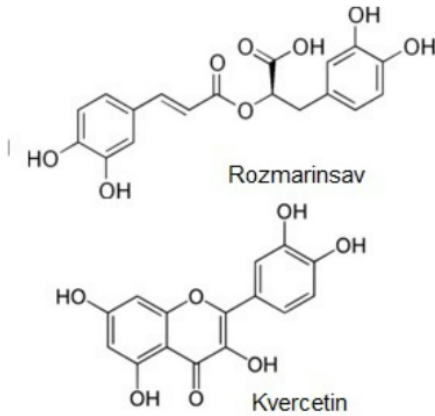
Az elmúlt években számos *in vitro* kutatást végeztek az *S. officinalis* hagyományos felhasználásának megértésére és a növény további biológiai hatásainak feltárására. A vizsgálatok eredményeiről szóló közlemények számos farmakológiai hatásról, rákellenes, gyulladásgátló, antioxidáns, antimikrobiális, antimutagén, antideENCIA, hipoglikémiás és hipolipidémiás hatásokról számoltak be. A vizsgálatok feltárták a növény biológiai hatásaiért felelős kémiai összetevőit, az *S. officinalis* virágaiban, leveleiben és

szárában lévő főbb kémiai anyagokat és a növény néhány nem kívánt hatását is.

## AZ *S. OFFICINALIS* BIOAKTÍV VEGYÜLETEI

Az összetevők széles skálája közé tartoznak az alkaloidok, szénhidrátok, zsírsavak, glikozid származékok (pl. szivglikozidok, flavonoid glikozidok, szaponinok), fenolos vegyületek (például kumarinok, flavonoidok, tanninok), poliacetilének, szteroidok, terpének (monoterpenoidok, diterpenoidok, triterpenoidok, szeszkviterpenoidok) és viaszok. Az *S. officinalis* szárából, leveleiből és virágaiból előállított illóolajban több mint 120 összetevőt azonosítottak. Az olaj fő összetevői a borneol, kámfor, kariofilén, cineol, humulén, ledén, pinén és tujon.

Az *S. officinalis* alkoholos és vizes kivonatai flavonoidokban, különösen rozmarinsavban és luteolin-ban gazdagok. Számos flavonoidot, például klorogénsavat, ellagsavat, epikatecint, kvercetin, rutint és luteolin-7-glükozidot,



valamint számos illékony komponenst, például borneolt, cineolt, kámfort és tujont azonosítottak az *S. officinalis*-ből nyert kivonatokban.

A növényben kimutatható szénhidrátok közül a legtöbb az arabinóz, galaktóz, glükóz, mannóz, xilóz, uronsav és ramnóz. A fentiek mellett a növény számos vitamint (pld. A, C, B, E), ásványi elemet (pld. Mg, Zn, K, Mn) is tartalmaz.

A linalol a szárban leginkább jelenlévő vegyület; a virágokban a legmagasabb az  $\alpha$ -pinén és a cineol szintje; a bornil-acetát, a kámfén, a kámfor, a humulén, a limonén és a tujon pedig a levelek leggyakrabban előforduló komponensei. Figyelembe kell azonban venni, hogy más gyógynövényekhez hasonlóan az *S. officinalis* kémiai összetétele is változó a környezettől függően.

Ezek a hatóanyagok együttesen teszik az orvosi zsályát értékes gyógynövényé. Az illóolajok, flavonoidok, rozmarinsav és triterpének kombinációja számos egészségügyi előnyt kínálhat, mint például a legmeggyőzőbbek az antimikrobiális hatások, a gyulladás csökkentése, az emésztés támogatása és az immunrendszer erősítése.

## Biológiai aktivitás

A *Salvia* nemzetségbe tartozó számos növényt hagyományosan zöldségként használnak az ázsiai ételek elkészítéséhez, mivel meggyőződésük, hogy egészségjavító potenciáljuk van. Az irodalomban számos közlemény jelent meg a növény antioxidáns, gyulladáscsökkentő és fájdalomcsillapító, memóriát és kognitív funkciókat javító,

hipolipidémiás, hipoglikémiás, antiszeptikus, rákellenes, antimutagén, és metabolikus hatásairól is. Fontos megjegyezni azt is, hogy a vizsgálatok többségét *in vitro* végezték. Kérdés az, hogy a kivonatok vagy hatóanyagai mennyire stabilak biológiailag és biológiailag hozzáférhetőek-e szájon át fogyasztva? Ezért a jövőben az állatkísérleteket és humán vizsgálatokat kell végezni, hogy kiderüljön az eredmények klinikai alkalmazhatósága.

Néhány hatásnak az ellenőrzésére randomizált placebo kontrollált klinikai kísérletet is végeztek. Így például az *S. officinalis* fájdalomcsillapító, hipolipidémiás (csökkenti a koleszterin vagy más zsírok, lipidek szintjét a vérben) és memóriajavító gyógynövényként való hatékonyságát klinikai vizsgálatok is igazolták. A fent említett hatásokon kívül más biológiai hatását is kimutatták, mint például a benzodiazepin receptorok aktiválása (feszültségoldó, szorongáscsökkentő hatás).

**A hiperlipidémia (magas koleszterinszint) azt jelenti, hogy a vérben túl sok lipid (zsír) van. Hipoglikémia: alacsony vércukorszint), antiszeptikus: élő szervezetet fertőtlenítő; a szervezetben levő kórokozó baktériumok szaporodását gátló; fertőzés, rothadás elleni (szer).**

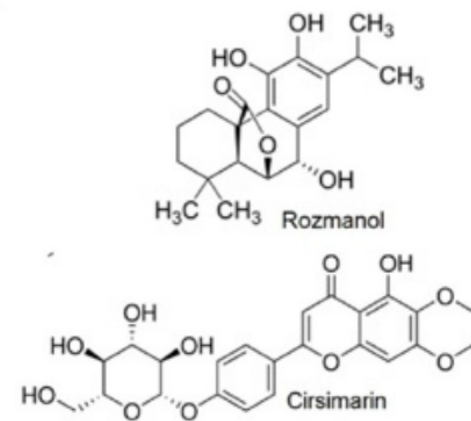
**Az antimutagén hatás csökkenti a káros mutációk létrejöttét. Ilyen vegyület pld. a kvercetin.**

**A metabolikus szindróma egy tünetegyüttes, ami négy krónikus betegséget tartalmaz: elhízás, magas vérnyomás, II-es típusú cukorbetegség, magas koleszterinszint.**

**Antiszeptikus hatás: fertőtlenítő hatású; a szervezetben levő kórokozó baktériumok szaporodását gátló**

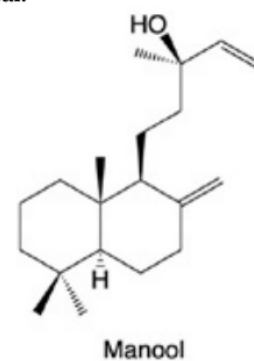
## Antioxidáns, Gyulladáscsökkentő, Fájdalomcsillapító hatás

A növény leghatékonyabb antioxidáns összetevői a karnozol, a rozmarinsav, a kávésav, kámfor, a rozmanol, és a cirsimarín. A rozmarinsav mellett az *S. officinalis* egyéb flavonoidjai, különösen a

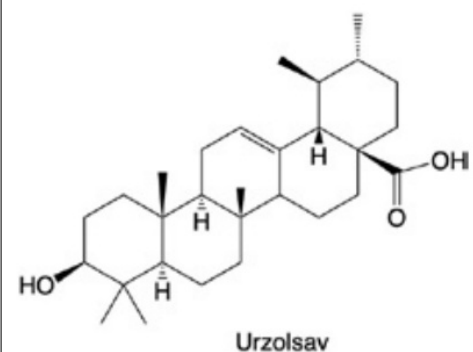


kvercetin és a rutin rendelkezik erős antioxidáns hatással.

A gyógynövény gyulladásgátló és fájdalomcsillapító hatásához nagy valószínűséggel a flavonoidok és a terpének járulnak hozzá. A terpének/terpenoidok közül



a rozmarinsav, a manool, a karnozol és az urzolsav bírnak gyulladásgátló hatással. Ezek a molekulák jelentősen növelik a vérben a gyulladáscsökkentő anyagok szintjét, ezzel csökkentve a gyulladásos vegyületek koncentrációját. Az *S. officinalis* összetevőinek ez a hatása lehet felelős a fájdalomcsillapító hatásáért torokgyulladásban szenvedő betegekben.



## Antimikrobiális hatás

Számos bizonyíték támasztja alá az *S. officinalis* antimikrobiális hatásait is. Az *S. officinalis* illóolaja és etanolos kivonata erős baktericid és bakteriosztatikus hatást



fejt ki mind a Gram-pozitív, mind a Gram-negatív baktériumokkal szemben. Az antibakteriális hatás mellett az *S. officinalis* és különösen hatóanyagai közül a rozmarinsav, a tujon és a linalool gombaellenes, vírusellenes és maláriaellenes hatást is kiváltak.

## METABOLIKUS HATÁS

Laboratóriumi és klinikai vizsgálatok megerősítették a gyógynövény jótékony hatását a szervezet anyagcseréjére, különösen a glikémiás állapotra, a szérumban lévő lipidekre. A közelmúltban végzett farmakológiai vizsgálatok kimutatták, hogy a növény talaj feletti részeinek különböző kivonatai képesek csökkenteni a vércukorszintet normál és diabéteszes körülmények között. A hipoglikémiás hatás javasolt mechanizmusai közé tartozik az inzulinrezisztencia csökkentése.

Állatkísérletekben végzett farmakológiai vizsgálatok azt is kimutatták, hogy az *S. officinalis* különböző kivonatai csökkentik a szérumban lévő lipidszintjét. A növényből készített infúzió csökkentette a szérumban lévő triglicerid-, összkoleszterin és alacsony sűrűségű lipoproteinek (LDL) szintjét diéta által kiváltott elhízott patkányokban. A kivonatok az állatok testsúlyát és hasi zsírtömegét is csökkentették. Az *S. officinalis* lipidprofilra gyakorolt jótékony hatásait cukorbeteg állatokon is kimutatták. A növény levélkivonata klinikai vizsgálatokban is csökkentette a triglicerid, az összkoleszterin, az LDL, a nagyon alacsony sűrűségű lipoproteinek (VLDL) és a 2 órával étkezés utáni glükóz szintjét hiperlipidémiában és cukorbetegségben szenvedő betegeknél.

## KOGNITÍV ÉS MEMÓRIAFEJLESZTŐ HATÁSOK

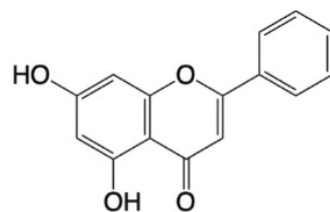
Egyre több vizsgálat utal arra, hogy az *S. officinalis*-nak kognitív és memóriajavító hatásai is vannak. A növényből származó vizes-alkoholos kivonat és fő flavonoidja, a rozmarinsav, javítja az egészséges patkányok kognitív képességeit, és megakadályozza a cukorbetegség által

kiváltott tanulási és memóriazavarokat. A klinikai vizsgálatok megerősítik az állatkísérletek eredményeit, és kimutatták, hogy az *S. officinalis* javítja mind a kognitív károsodásban vagy demenciában szenvedő betegek, mind az egészséges résztvevők kognitív teljesítményét. A kutatók beszámoltak arról is, hogy a növény illóolaj aromája javíthatja az egészséges felnőttek memóriájának teljesítményét is. Ezenkívül a kutatók beszámoltak arról, hogy a zsálya gátolja az acetilkolin-észteráz aktivitását. Ezt követően egy randomizált, kontrollált vizsgálat megerősítette, hogy az *S. officinalis* vizes-alkoholos kivonataival végzett 4 hónapos kezelés javította az enyhe vagy közepesen súlyos Alzheimer-kórban szenvedő betegek kognitív funkcióit. Jelenleg az acetilkolin-észteráz inhibitorai az Alzheimer-kór vezető terápiás szereit, és az *S. officinalis* ígéretes forrás lehet e betegség kezelésére szolgáló szerek kifejlesztésében.

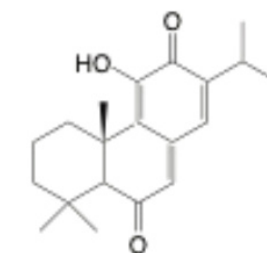
**Az acetilkolin-észteráz gátlókat időskori demencia és az Alzheimer kór kezelésére használják. Ezekre példa a takrin és a donezepil, amelyek acetilkolin-észteráz gátló vegyületek.**

## RÁKELLENES ÉS ANTIMUTAGÉN HATÁSOK

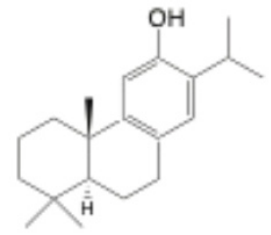
Az *S. officinalis* daganatellenes hatását számos rákos sejtvonalon tanulmányozták in vitro és rákos állatmodelleken. Több tanulmány kimutatta, hogy a *Salvia* nemzetségbe tartozó egyes növények oldószeres kivonatai, de főként számos biológiai hatóanyaga rákellenes és vírusellenes tulajdonságokkal is bírnak, elnyomják a karcinogenezist



Krizin



Taxodion



Ferruginol

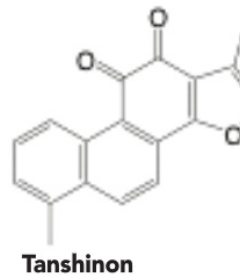
(daganatképződést). Például a krizin, a taxodion, a ferruginol, a manool, az urzolsav és a tashinonok széles spektrumú hatással bírnak számos rákos sejt keletkezése, progressziójával szemben.

**A krizin egy, gyulladáscsökkentő, rákellenes és antioxidáns tulajdonságokkal rendelkező flavonoid. A taxodion és a ferruginol olyan diterpenoidok, amelyekről kimutatták, hogy citotoxikus hatást fejtenek ki a leukémiás sejteken.**

Gyarapítja a növény daganatellenes hatóanyagainak számát a diterpén manool is, amely szelektív citotoxicitást vált ki humán adenocarcinómán és humán glioblastómán, továbbá az urzolsav, a melanóma sejtek terjedését gátló pentaciklusos triterpenoid.

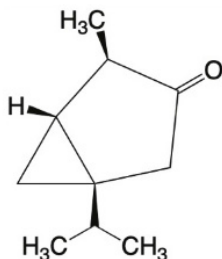
**Az adenokarcinóma gyakori formái a mell-, gyomor-, prosztatata-, tüdő-, hasnyálmirigy- és vastagbélrák. A glioblastoma az agydaganatok legagresszívabb formája.**

Az *S. officinalis* flavonoidjai közül a rozmarinsav rákellenes hatásait tanulmányozták legalaposabban. A tanulmányok szerint a molekula gátolja a különböző humán rákos sejtek növekedését, beleértve a mellrákot, a vastagbélrákot, a krónikus leukémiát, a prosztatata karcinómát, a májrákot és a



Tashinon

kissejtes tüdőrákot. Állatkísérletekben a rozmarinsav képes volt megakadályozni a bőrdaganatok kialakulását is.



Tujon

Egyre több bizonyíték áll rendelkezésre arra vonatkozóan is, hogy az *S. officinalis* gátolhatja a genetikai mutációt is. A növény antimutagén hatását főként monoterpén vegyületeinek, például tujonnak, kámfornak, limonénnek és 1,8-cineolnak tulajdonítják. Az *S. officinalis* DNS-re gyakorolt védő hatását antioxidáns tulajdonságával magyarázzák.

A növény említett hatóanyagai biztató jelöltjei a rák megelőzésére és kezelésére szolgáló táplálék- és gyógyszerfejlesztésnek. Bár biztatók az eredmények, az orvosi zsálya hatásainak lehetséges terápiás alkalmazásaihoz további vizsgálatok szükségesek. Szükséges az is, hogy megértsük kémiai összetevőinek hatásáért, toxicitásáért és gyógyszer-gyógyszer kölcsönhatásaiért felelős pontos molekuláris mechanizmusokat is.

## MELLÉKHATÁSOK

Számos klinikai vizsgálat számolt be arról, hogy az *S. officinalis* fogyasztása nem vált ki súlyos mellékhatásokat. Azonban az *S. officinalis* kivonatainak és illóolajának hosszan tartó használata vagy túladagolása esetén bizonyos nemkívánatos hatások, például hányás, nyálfolyás, vertigo (szédülés), hóhullámok, allergiás reakciók, sőt görcsök is előfordulhatnak.

Egyes zsályafajok – köztük az orvosi zsálya – hatóanyagai között a tujon molekula is szerepel. A túl sok tujon görcsrohamokat okozhat, és károsíthatja a májat és az idegrendszert. A növény tujon mennyisége a zsálya fajtájától, a betakarítás időpontjától, a növekedési körülményektől és egyéb tényezőktől függően változik.



**A tujon egy monoterpén keton, mely két sztereoiszomer formában létezik. Mentol illata van. A molekula a GABA-receptorokra hat az agyban. Az italok tujon tartalmát több országban törvénnyel szabályozzák.**

Nem ajánlatos túl sokat fogyasztani a zsályából azért sem, mert keserű cseresavai serkentik az enzimműködést, így megzavarhatják az emésztőrendszert. Terhes, szoptató anyáknak és kétévesnél fiatalabb gyermekeknek egyáltalán nem ajánlatos használni, fogyasztani.

Ismételten megjegyezzük, hogy az orvosi zsálya hatóanyagai és hatásai még mindig aktív kutatás alatt állnak. Mindig fontos konzultálni egy egészségügyi szakértővel, mielőtt bármilyen gyógynövényt használunk, különösen, ha krónikus betegségben szenvedünk vagy gyógyszereket szedünk.

## ZSÁLYALEVÉL TEA ELKÉSZÍTÉSE

A gyógynövények szárított szár, levél és virág részeiből forrázással készítik a teát: 2-3 dl forró vízhez 2



kávéskanálnyi szárított zsályalevelet adnak, amely 10 perc után leszűrve fogyasztható. Lehűlve öblögethetnek vele szájüreg-, torok-, száj- és fogínygyulladás esetén.

**Kőszegi Lídia**



### IRODALOM

Ahmad Ghorbani and Mahdi Esmailzadeh, *J. Tradit. Complement. Med.*; 7(4): 433(2017)  
C. A. Ezema, et al., *Heliyon*, 8, Issue 1, E08763, (2022)  
Zahra Tayarani-Najaran et al., *Food and Chemical Toxicology* 57, 346 (2013)  
Salari, N. et al., *Indian J Surg Oncol* 13, 681 (2022)



# Szibériai jégbe fagyott fonálférgék 46 000 év után újraéledtek

Szibéria fagyos tájain, a felszín alatt negyven méterrel pihent egy 46 ezer éves fonálféreg, amelyet most kutatók megtaláltak, és sikeresen újraélesztették. A táptalajon óvatosan felmelegített kis állatok mozogni és szaporodni kezdtek.

**A** természetben egyes élőlények kifejlesztették azt a képességet, hogy a kriptobiózisnak nevezett felfüggesztett anyagcsere állapotba lépjenek, amikor a környezeti feltételek kedvezőtlenek. Ez az állapotátmenet a genetikai és biokémiai reakciók olyan kombinációjának végrehajtását követeli meg, amely lehetővé teszi a szervezet számára, hogy hosszabb ideig fennmaradjon. A közelmúltban fonálférgeket élesztettek újra a szibériai örök fagyból kriptobiózis állapotukból.

*A fonálférgék (nematoda) viszonylag egyszerű felépítésű állatok. Hengeres, megnyúlt, kör keresztmetszetű testük van, a legkisebbek az egy millimétert sem*

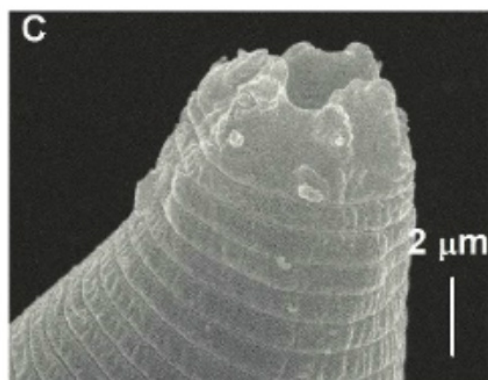
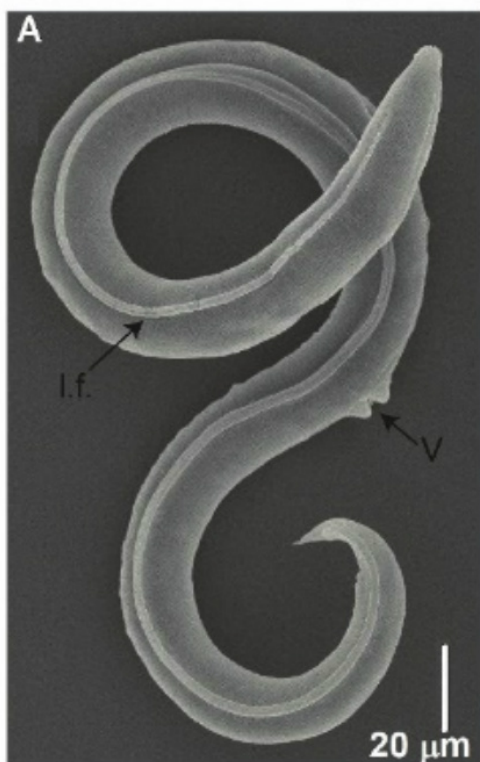
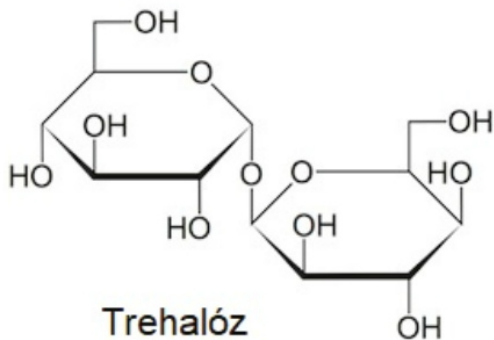
*érik el, a legnagyobbak akár több méterese is lehetnek. A talajban szabadon élők általában mikroszkopikusak, az állatokban élősködők jóval nagyobbak. Van idegrendszerük, érzékelésük, szájnyílásuk, emésztőrendszerük. Sok közülük ivaros szaporodó, de van közöttük triploid, partogenezissel (szűznemzéssel) szaporodó is.*

*A kriptobiózis az extremofil szervezetek metabolikus állapota, amely kedvezőtlen környezeti feltételekre, például kiszáradásra, fagyásra és oxigénhiányra reagál. Kriptobiotikus állapotban minden mérhető anyagcsere-folyamat leáll, ami megakadályozza a szaporodást, fejlődést és javítást is. A molekulák mobilitásának leállása lehetővé teszi a szervezet számára, hogy elviselje a fagyos hőmérsékletet, amíg a kedvezőbb körülmények visszatérnek. A medveállatkák, a rotiférgék (kerekcsférgék) és a fonálférgék a legismertebb lények, amelyek hosszú ideig kriptobiózisban maradnak.*

2021-ben a kutatók sikeresen felolvasztottak egy 24 000 éves rotifert. A lény többezer éves fagyás után is képes volt szaporodni. A kriptobiózis további példái a 25-40 millió évig borostyánba temetett méhek gyomrában megőrződött Bacillus spóra és egy ősi tóban talált 1000-1500 éves lótszmag, amely csírázni tudott.

A történet 2018-ban kezdődött, amikor Anastasia Shatilovich, az oroszországi Talajtudományi Fizikai-kémiai és Biológiai Problémák Intézetének kutatója két, milliméter méretű fonálférget olvasztott ki kriptobiózisként ismert állapotukból egy, az Északi-sarkvidéken a szibériai jeges talajfelszín alatti 40 m mélyen fekvő -7 C hőmérsékletű üregből, majd vizes táptalajon felmelegítve, újraélesztette azokat. A férgék laboratóriumi kiolvasztása után, az üregből származó növényi anyagok C<sup>14</sup> radiokarbon elemzése kimutatta, hogy ezek a fagyott lerakódások a késő pleisztocén óta, mintegy 46 000 év óta nem olvadtak fel. Ez nem az első eset, hogy egyszerű extremofil élőlények képesek lefagyasztott állapotból újraéledni, (vírus, növényi spóra, baktérium, medveállatkák, fonálférgék), azonban az, hogy ezek az extremofil szervezetek milyen molekuláris és anyagcsereutakat használnak kriptobiotikus állapotuk létrehozásához, és mennyi ideig képesek felfüggeszteni az életfolyamataikat, a mai napig izgatja a szakirodalmat.

A szibériai hír felkeltette a németországi Max Planck Társaság Molekuláris Sejtbiológiai és Genetikai Intézete kutatócsoportjának érdeklődését is, amely ezidőben egy másik hasonló fonálféreg, a Caenorhabditis elegans nevű fonálféreg hibernációra vezető molekuláris



**P. kolymaensis**  
(pásztázó elektronmikroszkóp)

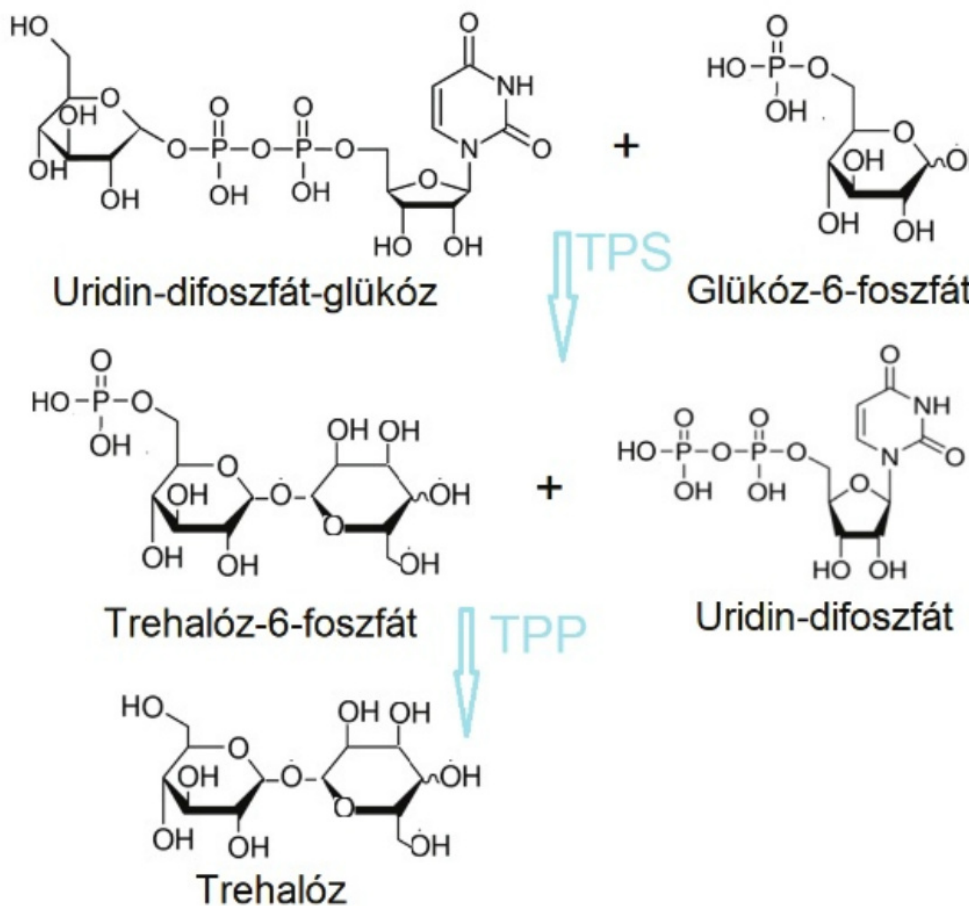
A. Shatilovich et al.  
PLoS Genet 19(7): Jul 27, 2023

mechanizmusait kutatta. Amikor a csoport értesült a szibériai permafrostból származó fonálféregéről, azonnal együttműködést javasolt Anastasia Shatilovich-nak, mely együttműködésbe később több másik német elektronmikroszkópos és genetikai kutatócsoport is bekapcsolódott. Az együttműködő kutatócsoportok ez év júliusában tették közzé kutatásaik több éves eredményét a Public library of Science (PLOS) Genetics folyóiratban.

A kutatók az újjáélesztett állatot több mint 100 generáción át laboratóriumban táptalajon tenyésztve, majd morfológiai és filogenetikai elemzést végezve az újjáélesztett állatokon, egyértelműen megállapították, hogy a fonálféreg a Panagrolaimus nemzetségbe tartozik és a Panagrolaimus kolymaensis nevet adták

neki. A féreg Kolymaensis latin nevet a fonálféreg a származási helye, a Kolyma folyó vidéke után kapta.

A géntartalom elemzés alapján az is megállapítható volt, hogy az állatnak triploid genomja van (szűznemzéssel szaporodik) hasonlóan több más Panagrolaimus fajhoz. Kimutatták azt is, hogy laboratóriumi körülmények között a Panagrolaimus kolymaensis klónjai által a kiszáradás és a fagyasztás túlélése érdekében alkalmazott biokémiai mechanizmusok hasonlóak egy korábban már részletesen tanulmányozott másik fonálféreg, a Caenorhabditis elegans ezen életciklus-szakaszához. A kutatók a Panagrolaimus kolymaensis és a Caenorhabditis elegans modell fonálféregek genomjának összehasonlításával olyan géneket



**A trehalóz bioszintézise**



azonosítottak, amelyek mindkét fajban közösek, és amelyek részt vesznek a kriptobiózisban. A *Caenorhabditis elegans* lárváiban a kriptobiózis eléréséhez szükséges gének többsége jelen van a *Panagrolaimus kolymaensis*-ben is.

A kutatócsoport ezt követően – vizsgálva mindkét fereg túlélési képességét – kimutatta, hogy a fagyás előtti enyhe kiszáradás (anhidrobiózis), víz nélküli élet) segítette a férgeknek felkészülni a kriptobiózisra. Amikor fagyás előtt mindkét férget enyhén dehidratáltak a laboratóriumban, egy trehalóz nevű cukrot termeltek, ami lehetővé tette számukra, hogy elviseljék a fagyást és az erős kiszáradást és ezt  $-80$  Celsius-fokon 480 napig túléltek anélkül, hogy a felolvasztást követően az életképességük vagy a szaporodásuk romlott volna

*A trehalóz ( $\alpha$ -D-glükopiranozil  $\alpha$ -D-glükopiranozid) egy diszacharid, vagyis két egyszerű cukorból (glükóz) összeálló szénhidrát. A glükóz közismert neve szőlőcukor. A trehalóz számos élőszervezetben megtalálható, beleértve a baktériumokat, élesztőket, gombákat, rovarokat, gerincteleneket, valamint alacsonyabb és magasabb rendű növényeket, ahol energia- és szénforrásként szolgálhat. Kimutatták, hogy a sejtmembránokban képes a vizet pótolni, így megakadályozni, hogy azok végzetesen károsodjanak, vagy kiszáradjanak.*

A kutatók kimutatták azt is, hogy más *Panagrolaimus* fajokhoz hasonlóan, a *P. kolymaensis* genomja hasonlóan a *C. elegans* féreghez kódolja a trehalóz-foszfát-szintetáz és a trehalóz-foszfátáz-génjét is. A trehalóz-6-foszfát-szintáz gén (TPS) és a trehalóz-6-foszfát-foszfát-gén (TPP) létfontosságú a trehalóz szintéziséhez.

A trehalóz bioszintézisére jelenleg legalább három különböző útvonalat írnak le. A legismertebb és legszélesebb körben elterjedt út, a glükóz átvitele az uridin-difoszfát-glükózból (UDP-glükóz) a glükóz-6-foszfátba, hogy trehalóz-6-foszfát és UDP képződjön. Ezt a reakciót a

trehalóz-P szintetáz (TPS) katalizálja. Az ezt az utat használó szervezetek általában rendelkeznek egy trehalóz-P foszfáttal is (TPP), amely a trehalóz-6-foszfátot szabad trehalózzá alakítja.

A kutatások eredményei azt mutatják, hogy a fonálféreg olyan biológiai mechanizmusokat fejlesztettek ki, amelyek lehetővé teszik számukra, hogy megőrizzék az életet geológiai időszakokra.

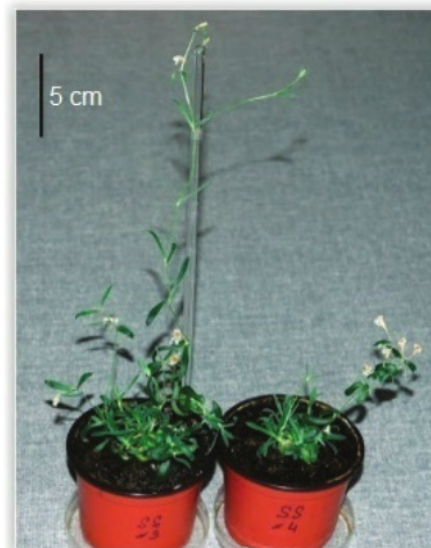
## NÖVÉNYI KRIPTOBIÓZIS

A szibériai örökfagy régóta kínál betekintést a távoli múlt élőlényeinek életébe a tudományos közösségnek. Az évek során ősi vírusokat, mumifikált testeket és mikroszkopikus lényeket támasztottak fel a jégből. Különösen gazdag ősi élőlények fossziliáiban az északkelet-szibériai Kolyma folyó jobb partján lévő terület, ahol legutóbb a *P. kolymaensis* fonálféreg fagyott maradványait megtalálták.

Orosz kutatók itt találták az elmúlt évtized elején, a szegfűfélék (Caryophyllaceae) családjába tartozó *Silene stenophylla* Ledeb nevű, ezen a területen ma is termő növény  $\sim 32\,000$  évvel korábban lefagyott termését is, melyet szintén sikeresen felélesztették. A terméseket 38m mélységben elhelyezkedő üregből ásták ki,  $-7$  °C hőmérsékleten.

A gyorsító tömegspektrometriás (AMS) radiokarbon kormeghatározás szerint a gyümölcsök életkorát  $31\,800 \pm 300$  évesek találták. Érdekes, hogy a gyümölcsök által ez idő alatt felhalmozott teljes  $\gamma$ -sugárzás dózisa  $0,07$  kGy volt; ez az a maximális dózis, amely után a szövetek még életképesek maradnak, és a magok még csíráznak. A vizsgálat kimutatta a növényi placenta szövetének magas kriorezisztenciáját a permafrosztban. A kutatók feltételezik, hogy a növény a kiszáradási toleranciáját egy másik cukor, a szacharóz termelésével éri el.

A regenerált növények táptalajon virágzásba kezdtek, termést, és életképes magokat hoztak. Az első generáció, amelyet regenerált növényekből nyert



Fosszilis gyümölcszövetből újraélesztett termő *Silene stenophylla* Ledeb  
S. Yashina et al., PNAS 109(10), 4008 (2012)

magvakból termesztettek, minden fejlődési szakaszon áthaladt, és ugyanazokkal a morfológiai jellemzőkkel rendelkezett, mint a szülőnövények. Azonban amikor összehasonlították a regenerált és fennmaradt növényeket, amelyeket ugyanazon faj jelenleg is ugyanabban a régióban termő magjaiból nyertek, kimutatták, hogy ezek a *S. stenophylla* nemzetség eltérő fenotípusai. Az eltelt időben a növény jellemzői – elsősorban a virágzata – kismértékben megváltoztak.

A *Silene stenophylla* sikere reményt adott a kutatóknak, hogy talán sikerül majd találni és újraélesztetni más bolygó vagy holdjainak állandó jegében rekedt organizmusokat is.



### IRODALOM

- Anastasia Shatilovich, et al., PLoS Genet 19(7): e1010798 (2012)  
Svetlana Yashina, et al., PNAS.109(10): 4008 (2012)  
R.J. Cano és M.K. Bolucki, Science 268 Issue 5213 1060 (1995)  
J. Shen-Miller, Seed Science Research , 12 , Issue 3 , pp. 131 (2002)  
M, Tsujimoto, et al., Cryobiology 72, Issue 1, 78 (2016)  
Kagoshima, H., et al., Cryoletters, 33, Number 4, 280 (2012)

# Rekord meleg júliusban

Általában július az év legmelegebb hónapja a Föld egésze számára. 2023 júliusa ehhez képest is rekordot döntött, 1880 óta a legmelegebb hónap volt.

Idén júliusban rekordmértű hőhullámok voltak a világ számos pontján, különösen az Egyesült Államok délnyugati részén, Mexikóban, Kínában és a Földközi-tenger környékén. Dél-Amerika, Észak-Afrika, Észak-Amerika és az Antarktisz egyes részein különösen meleg volt, a hőmérséklet körülbelül 4 °C-kal emelkedett az átlag fölé. Összességében az idei nyári szélsőséges hőség több tízmillió embert figyelmeztetett a klímaváltozásra. A World Weather Attribution csoport közzétett elemzése szerint a hőhullámok Észak-Amerikában és Európában „gyakorlatilag lehetetlenek” lennének éghajlatváltozás nélkül és mindegyik hőhullám melegebb volt, mint a globális felmelegedés nélkül lett volna.

A NASA New York-i Goddard Űrkutatási Intézete (GISS) és az EU Környezeti Ügynöksége, a Copernicus Climate Change Service (C3S) kutatói szerint 2023 júliusa melegebb volt, mint bármely más hónap 1880 óta. A feljegyzések vezetése óta, és az ókori üledékekből és a jégvétegekből becsült múltbeli hőmérsékletek alapján, az idei július valószínűleg az elmúlt 120 000 év legmelegebb hónapja volt. 0,24 Celsius-fokkal volt melegebb, mint bármelyik másik július a NASA adatbázisában, és 1,18 C-kal volt melegebb, mint a júliusi átlag 1951 és 1980 között.

A havi átlaghőmérséklet átlépte a 17 °C-ot, ami meghaladta a korábbi, 2019 júliusi rekordot (16,63°C). A hónap elején, július 3-6-án négy egymást követő napon megdőlt a napi globális felszíni

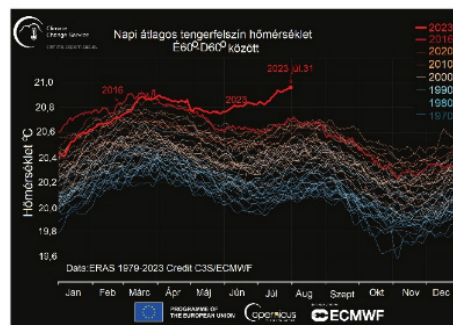
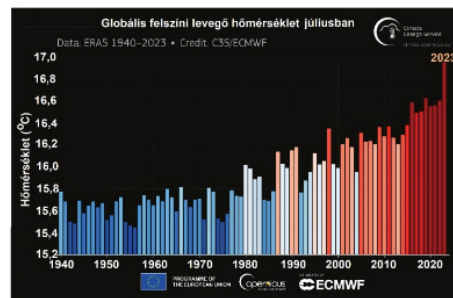
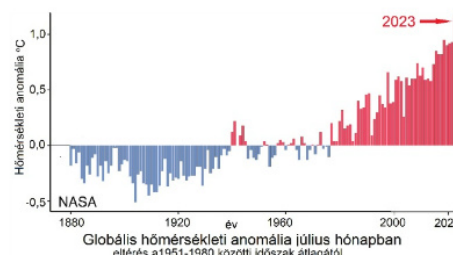
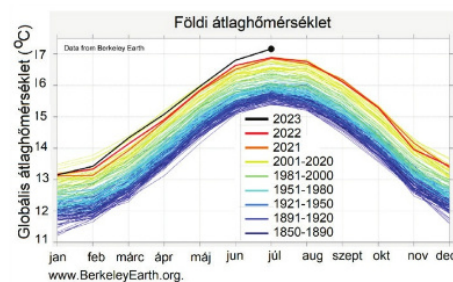
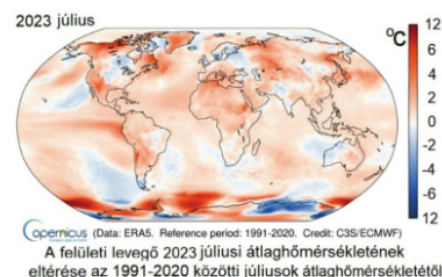
lég hőmérséklet-rekord. Július hátralévő részében minden nap melegebb volt, mint a korábbi, 2016. augusztus 13-án felállított 16,80°C-os rekord. Így a július 3-31. közötti 29 nap az elmúlt 140 év 29 legmelegebb napja volt. A legmelegebb nap július 6-a volt, amikor a globális átlaghőmérséklet elérte a 17,08°C-ot, a július 5-én és 7-én mért értékek csak 0,01°C-al voltak kisebbek. A hónap első és harmadik hetében a hőmérséklet átmenetileg meghaladta az iparosodás előtti szint feletti 1,5°C-os küszöböt. A globális átlaghőmérséklet emelkedésének ezt a küszöbértéket tűzte ki kívánatos célul 2015-ben a párizsi éghajlatvédelmi egyezmény, – a Párizsi Megállapodás –, az éghajlatváltozás hatásainak csökkentése érdekében.

A kivételesen meleg júliushoz hozzájárul a szokatlanul magas tengerfelszíni hőmérséklet (SST) hosszú időszaka is. Április óta a globális átlagos napi SST az évszakban rekordértékeken maradt. Május közepétől a globális SST-értékek az évszakban soha nem látott szintet értek el. Az ERA5 adatai szerint július 31-én a napi SST-érték rekordmagasságot ért el, 20,96°C-ot, ami 0,01°C-kal haladja meg a valaha mért legmagasabb, 2016. március 29-i 20,95°C-ot.

A májusban kialakuló El Niño jelenség szintén növeli a globális hőmérsékletet. A jelenségnek az éghajlatváltozással való kombinációja valószínűsíti, hogy idén még több hónap dönt majd rekordokat. Az év egésze is várhatóan az eddigi legforróbb évek közé fog tartozni.

A C3S egy webes írásában Prof. Petteri Taalas, a Meteorológiai Világszervezet főtitkára megjegyzi:

„A szélsőséges időjárás, amely sok millió embert érintett júliusban, sajnos az éghajlatváltozás rideg valósága és a jövő előképe. Az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának csökkentésére minden eddiginél sürgetőbb szükség van.”





# MAKSAY GÁBOR: Tudományos kaleidoszkóp

*L' Harmattan kiadó 2023*

A szerző, Maksay Gábor, okleveles vegyészként diplomázott az ELTE Természettudományi Karán. A MTA KKKI munkatársaként, a bioorganikus kémia több területén folytatott kutatásokat, szerzett PhD fokozatot (1976), hazai és nemzetközi elismertséget. Kutatóként hosszabb ideig dolgozott az Egyesült Államokban, Angliában és a németországi Max Planck Intézetben. Több, mint 100 tudományos közlemény szerzője. Szakmai eredményeit az MTA Doktori Tanácsa a biológiai tudományok doktora fokozattal ismerte el 1993-ban.

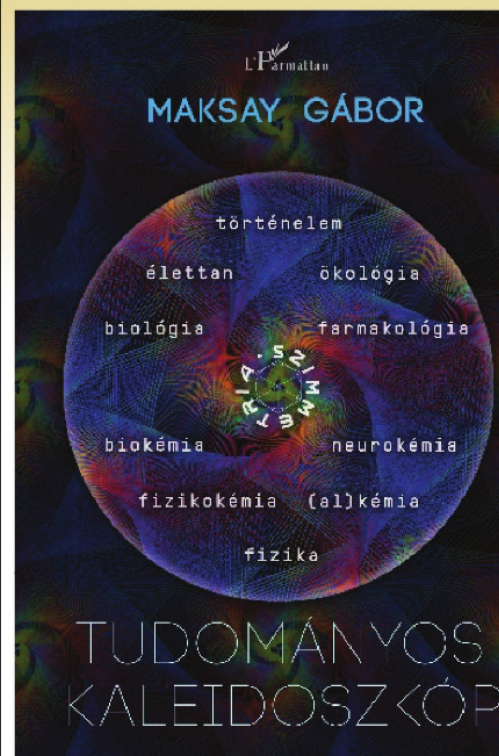
A szerző, Maksay Gábor, okleveles vegyészként diplomázott az ELTE Természettudományi Karán. A MTA KKKI munkatársaként, a bioorganikus kémia több területén folytatott kutatásokat, szerzett PhD fokozatot (1976), hazai és nemzetközi elismertséget. Kutatóként hosszabb ideig dolgozott az Egyesült Államokban, Angliában és a németországi Max Planck Intézetben. Több, mint 100 tudományos közlemény szerzője. Szakmai eredményeit az MTA Doktori Tanácsa a biológiai tudományok doktora fokozattal ismerte el 1993-ban.

Szakterülete az évek során a neurobiokémiai, a molekuláris farmakológiai és a bioorganikus kémiai jelenségek vizsgálata, értelmezése volt, amely kiegészült elektrofiziológiai és nanobiológiai vonatkozásokkal.

Maksay Gábor a Természettudományi Kutatóközpont kutató professor

emeritusa, aki az utóbbi években fokozott figyelmet fordít tudományos, elsősorban természettudományos megfigyelések értelmezésére, segíti az érdeklődő olvasót az új tudományos eredmények megértésében, ekként folytat szakszerű és egyben gondolatébresztő tudományos ismeretterjesztést.

A kulcsszavak - természettudományos ismeretterjesztés, kémiai kommunikáció, receptorszerkezet, átmeneti szimmetriasértés, tudománytörténet, interdiszciplinaritás - a természettudományi tartalom mellett felhívják a figyelmet a tudomány, a tudományos ismeretek történelmi beágyazottságára és egyben rámutatnak arra is, hogy a jelenségek, a vegyületek, molekulák szerkezete, az anyagi tulajdonságok és a viselkedés megértése több tudományterület együttes eredményeinek a fényében lehet csak megalapozott. Az olvasóban kialakuló



képnek van tehát nélkülözhetetlen beágyazottsága és figyelemfelhívó hatása arra nézve, hogy a különböző tudományterületek eredményeinek megértése, e területek együttműködésének (pl. biofizika, kémia, sejtbiológia) átlátása ugyancsak nélkülözhetetlen.

A kötet három fejezetből, egy, az eligazítást célzó bevezetőből és egy záró, kitekintést megfogalmazó epilógusból, utószókból épül fel. Az olvasót 25 jól megválasztott illusztráció segíti. Az első fejezet a tudományos megismerés és a befogadó kapcsolatáról szól. Az általános megfontolások mellett

példákkal szemlélteti a tudományos kutatást régen és most. Megfogalmazza és összeveti a természet- és élettudományi, valamint a bölcsészettudományi ismeretszerzés határait. Ehhez három, általánosságban használható, kérdőszó alkalmazását javasolja: a mi, a hogyan és a miért alapkérdéseket. Elemzi József Attila „Két hexameter” című versét a sztereoekémiában használt, a térbeliség szerkezetének leírására bevezetett szimmetria fogalom párral. E fejezetben kapott helyet az az összehasonlító elemzés is, amely bemutatja a 18. századi és a napjainkban, hazánkban érzékelhető természettudományos kutatás körülményeinek főbb jellemzőit, hatásukat a kutatás színvonalára és a kutatók munkahelyi közérzetére. Egy következő tanulmány, Mengyelejev öröksége alapján levezethető módon, elemzi a kémia/szerkezeti és az egyre izgalmasabb következményekkel járó – biokémiai/biológiai periodicitás eddigi fejlődéstörténetét.

A következő, rész meghatározó kutatók (pl. Lavoisier, Cavendish, Galvani, Langley, Ehrlich) munkásságán, illetve felfedezésein (pl. az oxidáció értelmezése, bioelektromosság, hisztokémia) keresztül mutatja be a modern kémia születésének néhány mozzanatát. Így például az idegingerület átvitelének molekuláris természetét. Bepillantást enged a gyógyszerkutatás receptor-elméletének kialakulásába, alkalmazásába, a kísérletek helyes értelmezésének folyamatába. Kiemeli a jelenségek értelmezésének lehetséges sokféleségét, felhívja a figyelmet a téveszmékre is. A példák jól szemléltetik a tudományágak kölcsönhatásának fejlődéstörténetét.

A harmadik, élettani rész összefüggésekre utal, például az alkohol vagy a feromonok hatására releváns receptorokon; felvillantja a szimmetria szerepét a tudomány és a művészet területén is; bemutatja, hogy szimmetrikus alegyszerszerkezetű

jelátviteli fehérjék aktivációja átmeneti szimmetriasértéssel jár együtt. És végül, a „mi az idő?” kérdés megismerés-tudományi elemzésével ad innovatív áttekintést az emberi „időérzékről” és ennek környezeti befolyásolhatóságáról – Ebben Salvador Dali, a szürrealista spanyol festő az „Elfolyt idő” festménye ad segítséget.

A kötet bemutatja az elmúlt közel másfél évtizedben megjelent írásokat, amelyek a színvonalas magyar szakmai folyóiratokban jelentek meg az elmúlt másfél évtizedben, 2009 és 2023 között (pl. Magyar Tudomány, 2015, 2019, 2021, 2023; Biokémia 2009, 2010, 2011, 2014, 2019, 2014; Kémiai Panoráma, 2010, 2011, 2013, 2020; Természet Világa 2015, 2023.)

Ezen írások alapján az Olvasó első kézből kap, esetenként személyes hangú ízelítőt, a szerző tudományos kutatói felkészültsége mellett a személyesen a kutatólaborban vagy könyvtárban, itthon és külföldön szerzett tapasztalatokról. Az áttekintés főként a természet- illetve az élettudományokhoz kötődik, de meggyőzően bemutatja azokat a kémiai, orvosi és műszaki tudományi gondolatokat is, amelyek korábbi századok felfedezőihez, a természetbúvárokhoz, az elődökhöz és a kortársakhoz kapcsolódnak. Ezek felvillantása történeti/történelmi környezetben való bemutatása külön kiemelő e rövid könyvbemutató keretében.

Befejezésül a szerzőt idézem: „Kezdetben ismeretterjesztő írásokat főleg felkérésre és jubileumokra írtam”. Később egyre inkább „belső indíttatásból készültek” a cikkek, tudjuk meg a záró fejezetből. Ugyancsak itt, az epilógusban foglalja össze gondolatébresztő véleményét „néhány, az életpálya során megismert tudományág múltjára alapozott jövőképeről”.

A kötet összeállítása és az írások egymás melletti, kaleidoszkópikus bemutatása kissé provokatív, de kitérő gondolatnak bizonyult. A könyvet

legalább kétszer ajánlott átolvasni. Először folyamatosan, talán a részletekre kevésbé fókuszálva. E módszerrel átfogó „képet”, áttekintést kap az olvasó, és meggyőződhet arról, hogy jól választott. A második olvasás során az olvasónak vélhetően kedve támad mélyebben utána olvasni például egy-egy izgalmas tudományos/műszaki problémának, egy-egy felfedezés körülményeinek, egy-egy kutató teljes életútjának.

Jó lett volna, ha az igényes kötet két mutatóval (név- és tárgymutató) is segít az olvasót, és a külön lista ad részleteket az illusztrációként megjelent képekről.

Örömmel jelzem, hogy a könyv kiadását a napokban 30 éves Béres Alapítványi támogatta. Köszönet érte.

**Hudecz Ferenc akadémikus, az MTA alelnöke**

Elhangzott a „Tudományos kaleidoszkóp” című kötet bemutatóján, Kossuth klub, Budapest, 2023. december 4

## TARTALOMJEGYZÉK

Prolóógus

### KALEIDOSZKÓP

Quo vadis, tudományos megismerés?

Gondolatok a kémia éve alkalmából

József Attila és aszimmetria

Lefejezés, befejezés nélkül. Tudományos kutatás régen és most

Periodicitás a természettudományokban -

Mengyelejev öröksége

### TUDOMÁNYTÖRTÉNET

A kémia TŰZkeresztje

Kémiai kommunikáció: négy úttörő, egy évszázad

Kémiai Nobel-díj először receptorszerkezetért

Max Perutz öröksége: hemoglobin, allosztéria és szimmetria

Légből kapott flogiszton és éter: korszakalkotó tudósok téveszméi

Az interdiszciplináritás fejlődéstörténete

### ÉLETTUDOMÁNYOK

Alkohol, újratöltve

Jelátvitel: szimmetria és szimmetriasértés

Kémiai kommunikáció az élővilágban

Allosztéria: receptorok, evolúció és tervezés

Állati és emberi idő?

Epilógus





# Hogyan tájékozódnak a vándormadarak?

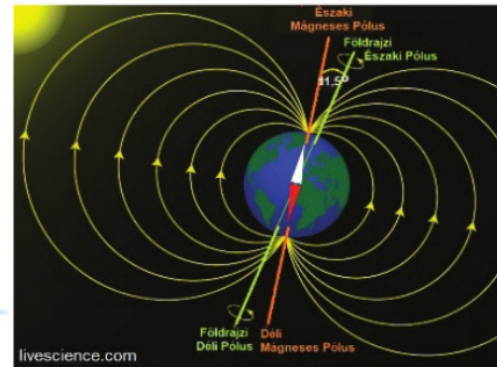
A vándorlás a természetben évmilliók óta ismétlődő jelenség. Az állatok ciklikusan vándorolnak néha több tizezer kilométer távolságra, évről évre gyakran ugyanazon a vonulási útvonalakon táplálék, menedék, szaporodás vagy megfelelő klíma keresése céljából. Különösen a vándormadarak, a bálnák, a lazacok nagytávolságú vándorlók. Jellemzően észak-déli irányban mozognak a szaporodási és táplálkozási területeik között. Tájékozódásuk módja vándorlásuk során, napjainkban is kutatások tárgya. Valószínűleg tájékozódnak vizuálisan felhasználva tereptárgyakat, vagy a Nap és csillagok helyzetét is. Az utóbbi évtizedekben végzett vizsgálatok alapján azonban erősödik az az elképzelés, hogy a vándormadarak tájékozódásukhoz magnetorecepcióra képesek, érzékelik a geomágneses tér irányát és nagyságát.

**A** magnetorecepció fogalma azt jelenti, hogy a madarak mintegy „látják” a mágneses mezőket, és ennek alapján igazodnak az általuk utazni kívánt cél felé. Ez a képesség lehetővé teszi számukra, hogy évről évre visszatérjenek ugyanazokra a helyekre szezonális vándorlásuk során.

**A Föld magnetoszférajának tengelye a Föld forgás tengelyével jelenleg 11,5°-ot zár be. A mágneses tér nagysága a felszínen 20 és 65**

***μTesla között változik. Ez a kis térerősség elég ahhoz, hogy megvédje a légkört és a Föld felszínét a Napból érkező töltött részecskéktől. (Egy rúd mágnes mágneses tere ~10mT).***

Azt az elképzelést, hogy bizonyos állatok érzékelik a Föld mágneses terét, kezdetben fizikusok és biológusok is lehetetlennek tartották. Azzal érveltek, hogy a Föld mágneses tere túlságosan gyenge ahhoz, hogy egy élő szervezet



észlelje, és nincsenek olyan lehetséges biológiai mechanizmusok, amelyek képesek a mágneses mező információit az idegrendszer által használt elektromos jelekké alakítani. Idővel azonban számos bizonyíték gyűlt össze arra vonatkozóan, hogy az állatok valóban érzékelik a mágneses mezőket. Ma már általánosan elfogadott, hogy a különböző állatok, a gerinctelenektől, a gerincesekig, a tengeri teknősökig és madarakig, kihasználják a Föld mágneses terében található információkat, hogy irányítsák mozgásukat vándorlásuk során. Azonban az még mindig nyitott kérdés, hogy pontosan hogyan teszik ezt.

A kémiai reakciók mágneses tér által történő modulációjára számos kísérleti

„Az éjszakai vándorló vörösbegyből származó CRY4 alkalmas mágneses szenzor.”

bizonyíték halmozódott fel. Már az 1970-es évek végén megszületett az úgynevezett gyökpár mechanizmus koncepciója, amely szerint a mágneses tér képes megváltoztatni a kémiai reakciók dinamikáját (R, Kaptein, 1978). A mechanizmus szerint a mágneses tér megváltoztathatja a kémiai reakciók termékeinek hozamait azáltal, hogy kölcsönhatásba lép egy a reakció során keletkező köztes gyökpár spinállapotával, (R. Schulten, 1978)

## GYÖK, GYÖKPÁROK. GYÖKPÁR MECHANIZMUS

A gyök olyan molekula, amely páratlan számú elektront tartalmaz ( $\bullet A$ ). (A pont a páratlan számú elektront jelzi). A gyökök mágnesesek, mert az elektronoknak (a protonhoz és a neutronhoz hasonlóan) a spinjüktől származó mágneses momentumuk van. A gyök mágnesessége a párosítatlan elektronjától ered. A spin nagyságát a spinkvantumszáma, határozza meg. Az elektronnak két ellentétes irányú spinje lehet ( $+1/2$  és  $-1/2$ ), így két lehetséges, ellentétes irányba mutató mágneses mező egyikét képes létrehozni.

Egy gyökpár két gyökből áll, amelyek általában kémiai reakcióval vagy fényrel történő gerjesztés hatására egyidejűleg jönnek létre, a kovalens kémia kötés felszakadásával elektronátadás nélkül vagy elektronátadással. A kovalens kémiai kötés az atomok közötti elektronpármegosztással jár.



Gyakori az elektrontranszfer olyan változata, melynek során az egyik zárt

héjú molekula egy elektront ad át a másíknak és ionos gyökpár keletkezik.



A mágneses térre érzékeny reakciók szinte mindig gyököket foglalnak magukban, tehát olyan molekulákat, amelyeknek páratlan számú elektrona van, s ennek spinje a két lehetséges állapot egyikében található:  $+1/2\uparrow$  vagy  $-1/2\downarrow$ . A gyökpár egy rövid élettartamú reakció közbenső terméke, amely 2 egyidejűleg képződő gyökből áll, amelyek páratlan elektronjainak spinjei vagy antiparallelek ( $\uparrow\downarrow$ , szingulett állapot, eredő spin  $S=0$ ) vagy párhuzamosak ( $\uparrow\uparrow$ , triplett állapot, eredő spin  $S=1$ ). Az elnevezések a spinállapothoz rendelt mágneses momentumnak a mágneses tér irányához képest lehetséges orientációs állapotok számára utalnak. A gyökök és gyökpárok különböznek a legtöbb zárt héjú molekulától, amelyeknek csak páros elektronjai vannak. és ezért csak szingulett állapotúak lehetnek.

Mivel minden elektronspinhez mágneses momentum tartozik, a szingulett és triplett állapotok egymásba való átalakulását és a reakció végtermékeinek arányát belső és külső mágneses mezők befolyásolhatják.

A gyökpár-elmélet alkalmazását a madarak magnetorecepciójának először Schulten és munkatársai javasolták. Az 1970-es évektől kezdődően számos elméleti és kísérleti irodalom foglalkozott a témával. Nem volt ismert azonban, hogy ezek a reakciók hol fordulnak elő állatokban. Mivel a legismertebb gyökpáros reakciók közül sokat fény elnyelése indukál, feltételezhető volt, hogy az állatok érzékelése kémiai fotoreceptorokra vezethető vissza.

**A fotoreceptorok a látható fényt idegi jelekké alakítják, amelyek a szemben meglévő receptoroktól a kapcsoló sejteken át a retinális ganglionsejteket, majd onnan az agyba továbbítódnak.** Ettől kezdve a figyelem



a kékre érzékeny kriptokróm fotoreceptor fehérjékre összpontosult. A kriptokrómok a kék fényre érzékeny növényekben és állatokban található flavoproteinek.

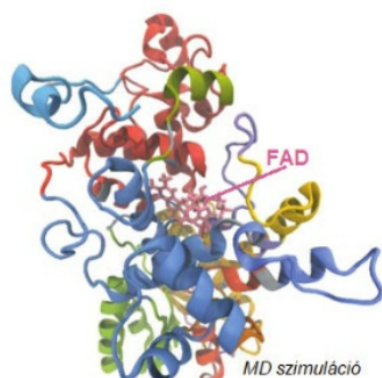
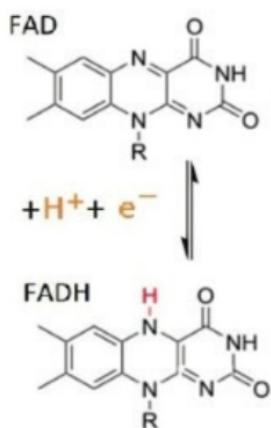
Később a vadmadarakkal végzett kísérletek bizonyítékot szolgáltatottak arra, hogy a madarak a retinájukban megtalálható CRY4 megnevezésű kriptokróm fehérjét használhatják a geomágneses tér gyökpár mechanizmuson alapuló érzékeléséhez. A kutatók ezt követően kidolgozták a CRY4 fehérje gyökpár mechanizmusának hipotézisét is. Azonban hiányzott a bizonyíték, hogy ezek a fehérjék valóban rendelkeznek a Föld rendkívül gyenge mágneses terének észleléséhez szükséges mágneses érzékenységgel és fizikai tulajdonságokkal. Az Oxfordi és az Oldenburgi Egyetem kutatói 2021-ben megvizsgálták laboratóriumban a vándorló európai vörösbegyek (*Erithacus rubecula*) retinájában található kriptokróm (*ErCRY4*) fehérjét, és megállapították, hogy rendelkezik a gyökpár mechanizmuson alapuló szükséges szintű mágneses érzékenységgel ahhoz, hogy fényfüggő iránytűként működjön.

**A kriptokrómok a mai napig egyetlen jelöltek a gyökpáros reakciók forrásaként. Az ismeretek szerint egyetlen más gerinces fotoreceptor molekulája sem alkot gyökpárokat fény gerjesztésére. Ismert, hogy állatokban a CRY1 és CRY2 elnevezésű kriptokróm fehérjék vesznek részt a napi (cirkadián) ritmus szabályozásában is, és jelenlétük**



**24 órán keresztül ciklikusan változik. A CRY4 kriptokróm fehérje ugyan nem vesz részt a cirkádián ciklus szabályzásában, ellenben kimutatták, hogy érzékeny a mágneses térre. A klorofil, az egyetlen olyan biomolekula, amelyről ismert, hogy in vivo fotoindukált gyökpárokat alkot, de ezek a madarakban nem fordulnak elő.**

A kutatók vizsgálataikhoz nem a madarakból kivont fehérjét használták, azt maguk állították elő, a fehérjét kódoló DNS génből azt E. coli baktériumokba helyezve. A baktériumok dekódolták a gént és legyártották a fehérjét (transzláció), amely megegyezett a madarak kriptokróm fehérjéjével. Ezután a kutatók egy mágneses térbe helyezték kémcsőben tanulmányozták a tér hatását a fehérje kémiai reakcióira. A



Daniél R Kattinig et al, *New J. Phys.* **20** 083018 (2018)  
ErCRY4-FAD kriptokróm fehérje komplex másodlagos szerkezetének modellje

fényindukált gyökök képződését 450 nm-es kék fény lézeres gerjesztésével érték el.

Kísérleteik igazolták, hogy az ErCRY4 fehérje fényvezérelt kémiai reakción megy keresztül, amelynek gyökpár köztes termékei lehetővé tehetik a mágneses jelek érzékelését. Kimutatták a szingulett és tripllett gyökpárok képződését és azok nagyfrekvenciás egymásba alakulását és a végtermékek arányának mágneses tér irányától való függését. A két gyök páratlan elektronjainak spinjei fluktuálni kezdenek, az egyik elektron megváltoztatja spinjének irányát, így a spinjeik egy irányba fordulnak majd másodpercenként közel egymilliószer

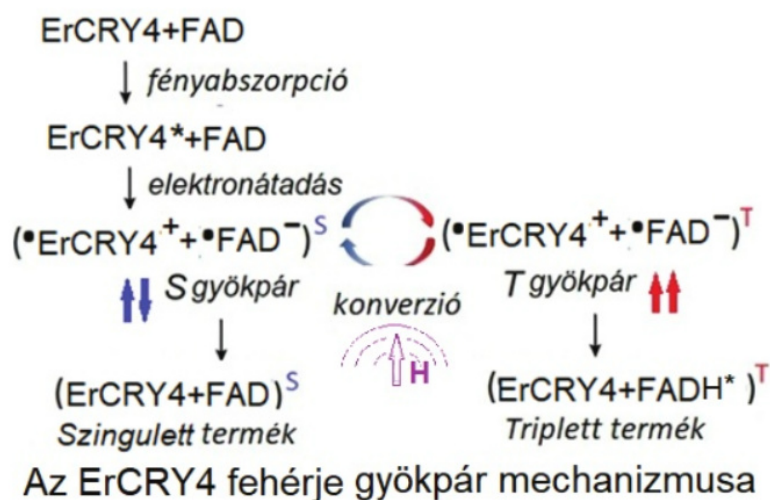
visszafordulnak. Míg az elektronok spinjei egy irányba állnak (tripllett állapot), több reakciótermék jön létre a neuronok számára, mint amikor a spinek ellentétesek. A mágneses tér irányától függött, hogy az elektronok mennyi időt töltenek az egyik vagy másik állapotban. A gyökpár reakciótermékei elegendő mennyiségben keletkeztek és elég hosszú volt az élettartamuk ahhoz, hogy jelzőanyagként működhessenek.

## ERCRY4 FEHÉRJE GYÖKPÁR MECHANIZMUSA

A vörösbegy madarak retinájában található fotoreceptorsejtek ErCRY4 nevű kriptokróm fehérjét tartalmaznak, amely a flavin-adenin-dinukleotid (FAD) molekulával komplexet képeznek.

A flavin-adenin-dinukleotid két részből áll: az adenin-nukleotidból (adenozin-monofoszfát) és a flavin-mononukleotidból, amelyek foszfátcsoportjaikon keresztül kapcsolódnak egymáshoz. Biológiai rendszerekben a FAD, H<sup>+</sup> és elektron akceptorként működik. Elektron és proton felvételével teljesen oxidált formájában (FADH), akceptorként és donorként is képes működni.

Amikor az ErCRY4–FAD komplex elnyeli a kék fény fotonját, az ErCRY4





fotogerjesztett állapotba kerül. Az adszorbeált fény a feltételezések szerint a fehérjén belüli elektronátvitelt vált ki, a fehérje három vagy négy triptofán (Trp) csoportból álló lánc mentén, ami egy reaktív gyökpárt hoz létre, kezdetben egy egyensúlyi szingulett elektronspin állapotban ( $\bullet\text{ErCRY4}^{++}\text{FAD}$ -)S. A gyökökön belüli elektronspin és a magspin hiperfinom kölcsönhatása hatására a két gyök elektronspin szimmetriája, a szingulett és triplett állapotok között MHz-es frekvenciákon fluktuál. Az oszcilláció érzékeny a külső mágneses tér (geomágneses tér) erősségére és irányára is. A két gyökpár egymásra reagálva két különböző terméket eredményez. A szingulett gyökből az eredeti állapot ( $\text{ErCRY4-FAD}$ ), a triplett gyökből pedig  $\text{ErCRY4-FADH}\bullet$  keletkezik. Ha a madár irányt változtat, a mágneses tér relatív orientációjának változása eltolódást okoz a szingulett és triplett állapotok arányában, ami potenciálisan megváltoztatja az  $\text{ErCRY4-FADH}\bullet$  hozamát. Az utóbbiról (amely egy relatívan hosszú életű reakciótermék)

tételezik fel, hogy szenzoros jelátviteli kaszkádot vált ki a madár agya felé.

A kutatók kimutatták, hogy az éjszakai vándorló vörösbegyből származó CRY4 alkalmas mágneses szenzor, és hogy azonos mérési körülmények között in vitro mágnesesen érzékenyebb, mint a nem vándorló galambból és csirkéből származó CRY4. Arra a következtetésre jutottak, hogy valószínűleg kulcsfontosságú összetevője a vörösbegyek navigálásának. Megjelent közleményükben a kutatók megjegyezték, hogy az in vitro vizsgálat természetesen nem bizonyítja, hogy a madarak  $\text{ErCRY-4}$  fehérjét használnak a mágneses mezők érzékelésére. Ehhez a kutatóknak a fehérjét in vivo, élő madárban is vizsgálniuk kell. (Magnetic sensitivity of cryptochrome-4 from a migratory songbird, Xu, J. et al. Nature (2021)).

További, jelenleg nem ismert kérdés a fotoreceptor-alapú mágneses információ feldolgozása a sejten belül és az idegrendszerben. Az, hogy hogyan vezethetnek a gyökpár állapotok

hozamainak változásai az agyban feldolgozható neuronok által közvetített jelekké, jelenleg is kutatások tárgya.

Bár ismeretünk bővültek, még mindig sok az ismeretlen a madárvonulás mechanizmusának felderítésében. További kutatások szükségesek, hogy megértsük, hogyan tájékozódik a madarak vándorlásaik során.

**Bella József**



IRODALOM

- R. Kaptein et al. Nature 274, 293–294 (1978)  
 R. Schulten et al., 1978. Z. Phys. Chem. 111:1–5  
 Xu, J. et al., Nature 594(7864), 535 (2021).  
 E.J.Warrant, Nature 594 497 (2021)  
 S. Lisovski & M., Liedvog, Nature 591 203 (2021)  
 D. R Kattinig et al., New J. Phys. 20 083018 (2018)  
 I.K. Kominis, Mod. Phy. Lett. B. 29, Suppl. 1 (2015) 1530013  
 Adams, et al., Sci Rep 8, 15719 (2018)  
 P. J. Hore and H.Mouritsen, Annu. Rev. Biophys. 45:299 (2016)  
 H. Mouritsen, Nature 558, 50–59 (2018)



# Magyar Kémikusok Lapja

<https://www.mkl.mke.org.hu/>

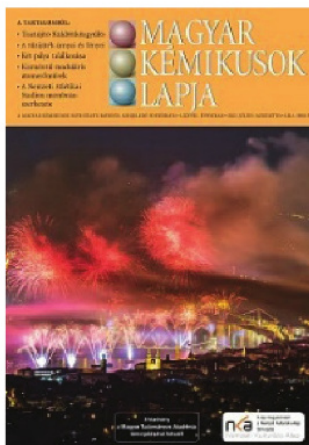
## 2023. JÚNIUS



Az atomerőművek működéséről egyszerűen, típusaik és jövőjük. Első rész  
 Király Márton, Radnóti Katalin  
 Huygens a Parnasszuson  
 Silberer Vera  
 Paradigmatikus névadás és elnevezések a kémiában  
 Braun Tibor  
 Katenénháló  
 Lente Gábor

## 2023. JÚLIUS–AUGUSZTUS

A tűzijáték árnyai és fényei  
 Salma Imre, Farkas Árpád, Weidinger Tamás, Balogh Miklós  
 Az atomerőművek működéséről egyszerűen, típusaik és jövőjük. Második rész  
 Király Márton, Radnóti Katalin  
 Szén-dioxid-megkötés felsőfokon, Tibeti őstejgazdaság  
 Lente Gábor  
 A hónap kémiai publikációja  
 Perczel András



## 2023. SZEPTEMBER



Újra téma az aszpartám esetleges rákkeltő hatása – mi történt valójában?  
 Csupor Dezső

A földi életformáktól eltérő (idegen) életformák rövid bemutatása  
 Braun Tibor

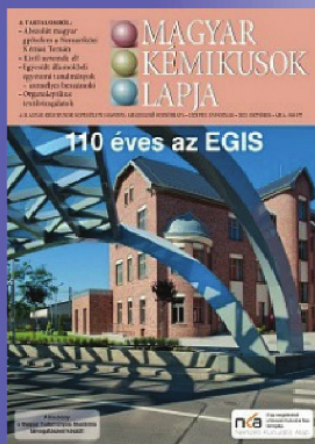
A Hónap hírei: Karikó Katalin útravaló gondolatai a fiatal kutatóknak  
 Dömötör Orsolya

## 2023. OKTÓBER

Kiről neveztek el? A Tafel-egyenlet  
 Inzelt György

Ínyenc őszi gasztronómia: a libamáj rövid története  
 Braun Tibor

Organoleptikus textilvizsgálatok és anatómiai vonatkozások  
 Kutasi Csaba



## 2023. NOVEMBER

Az akkumulátoros energiatárolás lehetőségei a hálózati szolgáltatások területén  
 Sörös Milán Attila, Hartmann Bálint

Kiről neveztek el? Kohlrausch törvényei  
 Inzelt György

Ínyenc étkezés a molekuláris gasztronómiától a „hangjegytől hangjegyig” konyháig  
 Braun Tibor



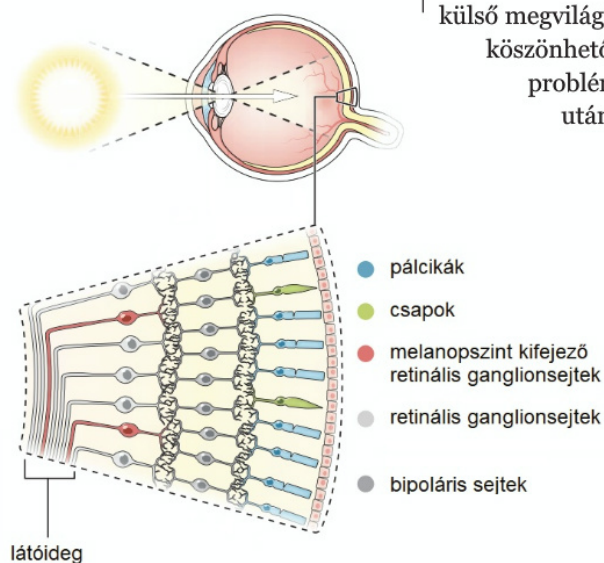
# A fényintenzitás kódolása

A fény érzékelése nemcsak a látás alapjául szolgál, hanem a legtöbb élőlénynél a napszaki ritmusokat is szabályozza. Az azonban még nem teljesen világos, hogyan történik ez pontosan.

Egy amerikai kutatócsoport feltárta a jelenség háttérében álló neurális kódolási stratégiát, aminek szerepe lehet a szezonális depresszió vagy az éjszakai műszak káros hatásainak enyhítésében.

**Az** ember a fényből nyeri ki a legtöbb információt, ezért is van az, hogy a látás a legfontosabb érzéki modalitás. A retinában lévő fotoreceptorok a fény hatására jelet képeznek, amit már a retina bonyolult hálózata elkezd feldolgozni. A jel a látórendszer köztes állomásain eljut a látókéregbe, ahol a további jelfeldolgozási folyamatok eredményeképp kialakul a látottak neurális reprezentációja. Mindennek eredményeképp kialakul az ember elméjében a látás szubjektív élménye. E folyamat a valóságban lenyűgözően

**A retina vázlata (Forrás: Martin, 2023 - Science).**



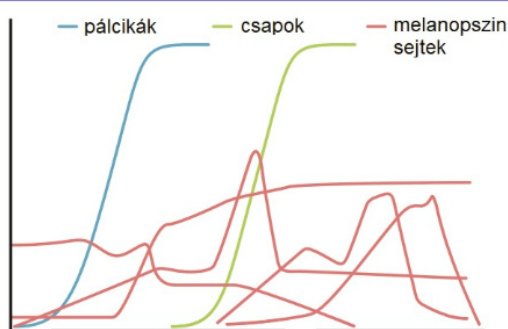
komplikált, olyannyira, hogy a kutatók máig sem értik minden részletét.

Mindezek mellett a látásból származó információ felhasználása is igen sokszínű. Alapvető jelentősége van például a mozdulatok megtervezésében, de hatással van a többi érzékszervtől érkező jelek értelmezésére is. A XXI. század elején azonban kiderült, hogy a külső megvilágítás intenzitásának érzékelése nem kifejezetten a látórendszer feladata. Pontosabban, a fényerősség érzékelése nem a klasszikus fotoreceptorokhoz köthető. A külső fény intenzitásának érzékelése azért fontos, mert ez hatással van a napszaki ritmusra. A napszaki ritmust magát a hipotalamusz egy sejtcsoportja (szuprakiazmatikus mag) hozza létre, azonban ismert, hogy ezt a ciklust a külső megvilágítás befolyásolja. Ennek köszönhető például az időátállási probléma a hosszú repülőutak után.

A XX. század végére már világos volt, hogy a retinohipotalamikus traktus e jelenség anatómiai alapja. A retinától a hipotalamuszig húzódó pálya változtatja meg a szuprakiazmatikus mag sejtjeinek aktivitását, átmettszése eredményeképp a külső megvilágítás nem

módosítja a kísérleti állatok napszaki ritmusát. 2002-ben egy amerikai kutatócsoport fedte fel, hogy a retinohipotalamikus traktus nem a retina fotoreceptoraitól származó jeleket továbbítja. A retinohipotalamikus traktuson a retinális ganglionsejtek egy speciális csoportja kommunikál a hipotalamusszal. A vizsgálataik során kiderült, hogy a retinohipotalamikus traktus azért továbbít jelet a csapok és pálcikák elnémítása ellenére is, mert a retinális ganglionsejtek némelyike maga is érzékeny a fényre, vagyis fotoreceptív. Ezek a sejtek a melanopszin nevű fehérjét fejezik ki, amely retinált köt. A retinál a fotonok hatására átalakul, amely beindít egy olyan jelátviteli mechanizmust, melynek eredményeképp ioncsatornák nyílnak a sejt membránjában. A retinális ganglionsejtek tehát jelet képeznek és így értesül a hipotalamusz a külső megvilágítás intenzitásáról.

E felismerés újabb kérdéseket vetett fel, például, hogy pontosan hogyan kódolják a sejtek a fényintenzitást. A kérdés azért igazán érdekes, mert a külső megvilágítás intenzitása egy nagyon széles tartományt ölel fel, míg az idegsejtek által létrehozható jel változatossága viszonylag szűk tartományban mozog. Az idegi kódolás alapjait Keith Lucas és Edgar Adrian fedezték fel a XX. század első felében. Azt találták, hogy minél magasabb frekvenciájú jelet képez a béka lábának egyik izmát beidegző ideg, annál nagyobb erővel húzódik össze az izom. Az idegsejtek által képzett jel, az akciós potenciál, lefutása mindig azonos, így az információt az akciós potenciálok létrehozásának gyakorisága kódolja. Az akciós potenciálok generálása azonban energiaigényes, így az idegsejtek nem képesek tartósan 50 Hz fölötti aktivitást létrehozni. Ez azért fontos szempont a fényintenzitás érzékelése



**A melanopszint kifejező retinális ganglionsejtek egyedi válaszmintázattal rendelkeznek, így a sejtek együttes erővel képesek kódolni a külső megvilágítás intenzitásának széles tartományát (Forrás: Martin, 2023 - Science).**

szempontjából, mert a fényintenzitás általában lassan változik és ismert, hogy a retinohipotalamikus traktusban a fényintenzitás nagyságának megfelelő nagyságú populációaktivitás alakul ki. Vajon hogyan? Erre a kérdésre kereste a választ egy amerikai kutatócsoport.

Mivel a retinális ganglionsejteknek csak nagyjából 0,4 %-a fejezi ki a melanopszint, a sejtek elektrofiziológiai vizsgálatához olyan módszerre van szükség, amivel egyértelműen azonosítani lehet ezeket. Az amerikai kutatók ezért egy antitestet hoztak létre,

amely a melanopszin sejten kívüli részéhez köt. Makákóktól származó retinákat vizsgáltak, melyeket eltávolítottak az állatokból és mesterségesen tartottak életben. Az antitestekkel megfestették a melanopszint kifejező sejteket és ezek elektromos tevékenységét vizsgálták.

Egyrészt kiderült, hogy ezek a ganglionsejtek sokkal szélesebb intenzitás tartományban képesek folyamatos aktivitást produkálni, mint a csapok és pálcikák. Ennek hátterében az a tényező állhat, hogy a melanopszin másként működik, mint a látásért felelős receptorok. A melanopszin a fotonok elnyelése hatására inaktiválódik, azonban szintén fotonok hatására kerülhet vissza az aktív állapotba. Ezzel szemben a klasszikus opszinok a foton elnyelését követően egy több lépésből álló

folyamaton keresztül válhatnak csak újra aktívvá. Emellett az is kiderült, hogy a retinohipotalamikus traktust létrehozó ganglionsejtek egyedi válaszmintázatokat mutatnak. Ez azt jelenti, hogy a fényintenzitás széles tartományát úgy fedik le a sejtek, hogy mindegyik más és más szeleteire érzékeny. A fényintenzitás széles és a neuronális kódolás szűk tartománya közötti űrt tehát az egységben az erő elvével hidalja át az idegrendszer. Az idegsejtek egymagukban valóban képtelenek lennének lefedni ezt a tartományt, ezért felosztják egymás között. Hogy ezt pontosan milyen sejtlejtani folyamatok teszik lehetővé, az egyelőre nem világos, további vizsgálatokra lesz szükség ennek megértéséhez.

Az új eredmények a szakértők szerint hozzájárulhatnak a szezonális affektív zavar kezelésének fejlődéséhez, sőt esetleg a napszaki ritmus megzavarásából adódó problémák enyhítéséhez is hozzájárulhatnak. A váltott műszakban dolgozók, a friss szülők és a világjárók alvási problémáit is enyhítheti a melanopszint kifejező sejtek működéséhez igazított megvilágítás használata a jövőben.

**Reichardt  
Richárd**

## Élelmi rostok szerkezetalakító szerepe

**Az** élelmi rostok olyan, főként növényi sejtfal alkotók, melyeket az emberi szervezet elsődleges emésztő folyamatai nem képesek teljes mértékben lebontani, egyes típusaik a vastagbélbe kerülve az ott élő mikroorganizmusok számára tápanyagként, ún. prebiotikumként szolgálnak. Az élelmi rostok fő beviteli forrásai a gabonafélék, hüvelyesek, valamint a zöldségfélék és

Az élelmi rostok fogyasztásának jelentőségére és a szervezetre gyakorolt, részben tudományosan is alátámasztott kedvező egészségügyi hatásaira az elmúlt évtizedek kutatási eredményei hívják fel a figyelmünket.

gyümölcsök. A gabonafélék és az álgabonák évezredek óta képezik az emberi táplálkozás alapját, számos alapvető élelmiszerünk nyersanyagai. Az

álgabonák (pl.: hajdina) a gabonafélékkel ellentétben kétszikű virágos növények, melyek magja hasonlít a gabonafélék szemterméséhez mind összetételben,

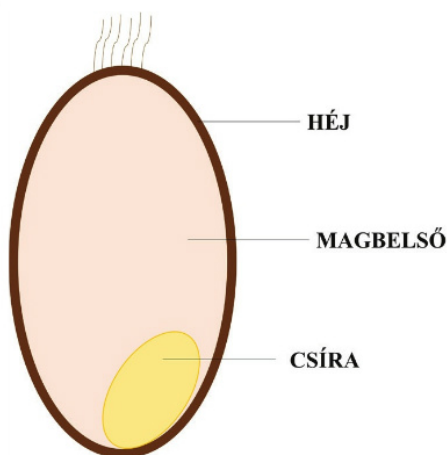
mind felépítésben, így gabonaként fogyasztathatók és dolgozhatók fel. A gabona és álgabona szemek három fő részből épülnek fel: a külső, védelmi szerepet betöltő héjból, a tartaléktápanyagokat tartalmazó magbelsőből és a növény kifejlődését biztosító csirából.

A szemek magas tápértékkel rendelkeznek, jelentős a szénhidrát (keményítő) (kb. 75-80%) és fehérjetartalmuk (kb. 8-15%). Emellett kiváló élelmi rost források is (kb. 7-20%), melyek elsősorban a héjközeli rétegekben dúsulnak fel. A rostalkotók mennyisége és minősége fajtól és fajtától függően igen változatos lehet.

Legjelentősebb rostösszetevőik az ún. nem-keményítő poliszacharidok, közülük is az arabinoxilánok és a  $\beta$ -glükánok emelhetők ki.

Az arabinoxilán (röviden AX) makromolekula gerincét xilóz cukoregységek építik fel, melyhez bizonyos egységeként egy vagy akár két arabinóz cukoregység is kötődhet. Az arabinózhhoz további, antioxidáns tulajdonságú molekulák, ún. fenolsavak is kapcsolódhatnak, melyek lehetővé teszik az AX láncok egymással történő keresztkötését, valamint egyéb sejttal alkotókkal történő kölcsönhatását. Az AX molekula szerkezete nagyban függ a botanikai eredettől, valamint a szemtermésben való elhelyezkedésétől is. Mindez a szemtermések feldolgozása során jelentkező technofunkcionális tulajdonságait (pl.: vízfelvétel, oldhatóság, gélképzés stb.) is befolyásolja. Az AX fő forrásai a rozs és a búza, de megtalálható más gabonákban is (pl.: árpa, tritikálé, zab, cirok).

A  $\beta$ -glükánok kizárólag glükóz egységekből felépülő makromolekulák, melyek alapszerkezete igen eltérő lehet, ugyanis a gabonák mellett gombák és baktériumok sejtfalát is alkotják. Míg a gombákban előforduló  $\beta$ -glükánok láncelágazásokat tartalmaznak, addig a bakteriális és gabona  $\beta$ -glükánok elágazásmentesek. Utóbbiak szerkezete a glükóz egységeket összekötő kétféle kötéstípus miatt kissé megért,



lépcsőzetes mintázatú. Ennek köszönhetően a gabona  $\beta$ -glükánok jellemzően vízdoldható rostok. Gabonák közül a zab jellemezhető kiemelkedően magas  $\beta$ -glükán tartalommal, de emellett az árpa is jelentős mennyiségben tartalmazza ezt a rostalkotót. Kisebb mennyiségben más gabonákban is előfordul, mint például a rozs vagy a búza.

A nagyüzemi malmi feldolgozás során a gabonaszemek külső részeit eltávolítják, így a rostok és a hozzájuk kötődő bioaktív anyagok jelentős része a korpába kerül. Azonban az egészségügyi táplálkozás terjedésével folyamatosan nő az igény a teljes kiőrlésű, illetve rostban gazdagabb élelmiszerek (pl.: sütőipari termékek, száraztészták stb.) iránt. A különféle rostok technológiai minőség alakításában betöltött szerepe, azok hatásmechanizmusa azonban még messze nem tisztázott, a szakirodalomban közölt eredmények hiányosak, gyakran ellentmondásosak.

Az AX-ok szerkezetalkító hatásának vizsgálata számos kutatás célkeresztjébe belekerült, melyeket elsősorban búza- és rozsliszt alapú mátrixokban végeztek. A búza egyedülálló a gabonafélék között, mivel lisztjéből víz hozzáadás és dagasztás hatására rugalmas és nagy gázvisszatartó képességgel rendelkező tészta képződik. Mindez a sikéreképző fehérjékből kialakuló térhálós fehérjeszerkezetnek, a sikérhálóknak

köszönhető. A rozs is tartalmaz sikéreképző fehérjéket, azonban kisebb mennyiségben, a kialakuló tészta kevésbé rugalmas, lágy és nehezen kezelhető. Mindkét mátrix esetén közvetve vagy közvetlenül megerősíthető az AX-ok kölcsönhatása a tésztában kialakuló fehérjehálóval, melyet saját kutatási eredményeink is alátámasztottak.

Az elmúlt években jelentősen nőtt az igény a gluténmentes alapanyagokból készült termékek iránt is, melyek azonban jellemzően alacsony élelmi rost és magas könnyen emészthető szénhidrát tartalommal rendelkeznek. Kérdés, hogy az AX-ok sikértartalmú tésztákban azonosított hatása általánosítható-e gluténmentes gabona- illetve álgabona tésztarendszerek esetére is. Nagy szerepe lehet ugyanis az AX-ok szerkezetalkotó képességnek gluténmentes sütőipari termékek tulajdonságainak javításában, élelmi rostként pedig növelhetik táplálkozási értéküket. Ennek előzményeként a bécsi BOKU egyetemmel közös projektben az AX-ok hatását és feltételezett hálózatképző képességét vizsgáltuk oxidáz enzim hozzáadása mellett gluténmentes köles- és hajdina-tésztákban. A kialakított oxidatív közegben javult a tészta állaga, valamint méréseink alapján valószínűsíthető a molekulák közötti keresztkötések kialakulása. Azonban az AX-ok egyéb lisztalkotókkal is kölcsönhatásba léphetnek, mely további vizsgálatok elvégzését igényli. A  $\beta$ -glükánok táplálkozás-élettani hatásával kapcsolatban számos tanulmány jelent meg a szakirodalomban, azonban a technofunkcionális tulajdonságainak feltérképezése még az AX-okhoz képest is kevésbé körüljárt terület.

A jelenleg folytatott kutatásaink alapfeltevése, hogy a különféle rostok összetett szerepet játszanak a gabona és álgabona alapú élelmiszer-mátrixok (tészta, híg tészta) fizikai, állagot és állományt befolyásoló, technológiai viselkedést meghatározó tulajdonságainak alakításában. **Németh Renáta**

**BME**



# Kémiai Panoráma

Kiadja a HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont  
1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2.

e-mail: [panorama@kemiaipanorama.hu](mailto:panorama@kemiaipanorama.hu)

Honlap: [www.kemiaipanorama.hu](http://www.kemiaipanorama.hu)

Felelős kiadó, főszerkesztő: Pálinkás Gábor

Szerkesztők: Simonyi Miklós, Gózon Ákos



Tördelés, képszerkesztés: Szarka Bernadett

The background features a large, tilted periodic table of elements. The elements are arranged in their standard periodic layout, with each cell containing the element's symbol, name, and atomic number. The table is oriented diagonally across the page, from the top-left towards the bottom-right. The elements shown include Hydrogen (H) through Oganesson (Og).