

KETTŐS CSAVAR – A MEGKETTŐZÖTT TUDOMÁNY

Hargittai István

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár, BME Általános és Analitikai Kémiai Tanszék,
kutatóprofesszor, ELTE-MTA Szerkezeti Kémiai Tanszéki Kutatócsoport
www.roadtostockholm.com

A DNS kettős csavar szerkezete felfedezésének 50 éves jubileumát ünnepeljük. Nem szokványos jubileumi ünneplés ez, mert ebben az ünneplésben legalább annyira előrettekintünk, mint amennyire visszaemlékezünk. A kettős csavar szerkezet ugyanúgy utal az orvosbiológia, a gyógyítás és megelőzés és a korszerű élelmiszertermelés igényeire, mint arra a több mint 50 évvel ezelőtti történetre, amely megrengette a tudomány világát. Ha valamivel szimbolizálni lehet a tudomány eredményeit az életminőség javításában, akkor a kettős csavar legalább annyira lehet ez a szimbólum, mint bármi más. Ha pedig arra gondolunk, hogy a tudomány egyik általános szimbólumaként a kettős csavar szinte felváltotta az atomrobbantás gombafelhőjét, akkor a különbség szinte sziruposan égbekiáltó.

Szimbolikus az is, hogy Akadémiánk négy osztálya fogott össze ennek az előadó ülésnek a megszervezésére, hogy hangsúlyozza a különböző tudományok szerepét ebben a felfedezésben, amihez természetesen más tudományok, elsősorban a fizika is hozzájárult. Szeretném kiemelni a kémia szerepét a DNS kettős csavar szerkezetének a felfedezésében, akár a röntgenkristallográfia alkalmazását, akár a modellezést, akár pedig a kémiai kötésre vonatkozó, már ötven évvel ezelőtt is rendelkezésre álló és valóban fel is használt ismereteket tekintjük. Azért is tartom fontosnak ezt hangsúlyozni, mert a

kémikusok sokáig vonakodtak a nukleinsavakat, de még a fehérjéket is, a többi természetes vegyülettel együtt vizsgálódásaik középpontjába helyezni. Ha a mai kutatásokban és finanszírozásban a kémia halványabban van jelen, mint ahogyan a súlya és jelentősége megilletné, ezért elsősorban maguk a kémikusok a felelősek. A gyengébb jelenlét azonban csupán látszólagos, mert például amit ma szerkezeti biológiának neveznek, azt ugyanúgy lehetne szerkezeti kémiának is nevezni és így tovább.

A kettős csavar elnevezés még nem egészen bevett szóhasználat a magyar nyelvben. Én először Marx Györgytől hallottam a kifejezést, aki a hibás kettős spirál helyett ajánlotta. A kettős hélix is helyes magyarul. A spirál fokozatosan változó átmérőjű, míg a DNS szerkezete állandó átmérőjű, ezért hélix. A csavar vagy a hélix a helyes szó, de a spirál ellen sem kell hadakoznunk, hiszen az élő nyelv nem mindig tudományos pontosságú. A spirálfüzet is helyesen hélixfüzet lenne, a csigalépcső pedig hélixlépcső vagy csavarlépcső. Azonban jó ha tudjuk, hogy a hélix vagy csavar valóban megfelel a szerkezetnek, míg a spirál nem.

Amint azt ma már az iskolások is tudják, a DNS molekula négyféle nukleotidból épül fel. A nukleotidok foszfátcsoportból, cukorból és egy nitrogéntartalmú bázisból állnak. A négyféle nukleotidban négyféle bázis egyike fordulhat elő: a citozin, timin (ez a kettő

gyűjtőnéven pirimidin bázis), adenin és guanin (ezek purin bázisok) valamelyike. A másik alapvető nukleinsav, a ribonukleinsav esetében (RNS) a timint az uracil helyettesíti.

A James Watson és Francis Crick által felfedezett szerkezetnek két fontos jellegzetesége van. Az egyik szerint a két csavar ugyanazon tengely körül tekeredik fel, de egymással ellentétes irányban. Az egymással szemben haladó csavarok egymás kiegészítői. A másik jellegzetesség az a mód, ahogy a két csavart a hidrogénkötések összetartják. Az egyik csavar egy bázisát hidrogénkötés kapcsolja össze a másik csavar egy bázisával. Purin bázis mindig pirimidin bázishoz kapcsolódik és megfordítva. Ha tehát a bázisok sorrendje az egyik csavarban adott, akkor ebből a másik csavar bázisainak sorrendje már automatikusan következik. Ha a kettős csavar két csavarját egymástól elválasztjuk, akkor mindkét „rég” csavarhoz külön-külön az öt kiegészítő új csavar fog kialakulni (feltevé, hogy olyan közegben vannak, ahol az ehhez szükséges anyagok rendelkezésre állnak). Az egyik csavar adeninjéhez a másik csavar timinjé kapcsolódik, valamint az egyik csavar citozinjához a másik csavar guaninja és megfordítva. Azt már a most ötven évvel ezelőtt megjelent rövid egyoldalas cikkben is megjegyezte Watson és Crick, hogy a kettős csavar szerkezet szinte önmagát kínálja a genetikai anyag másolási mechanizmusának értelmezésére.

Vaskos köteteket írtak már a kettős csavar történetéről, de ahogyan időben távolodunk az eseményektől, egyre inkább kibontakozik néhány alapvető tanulság, amely nagyobb távlatokból jobban kivehető, mint közvetlen közelről. Néhány ilyen tanulsággal szeretnék előadásomban foglalkozni. Ezek a különböző tudományok összefogásának hasznosságára, a felfedezés elkerülhetlenségére, a felfedezés megtermékenyítő hatására, az egyén és a stílus szerepére a tudományos felfedezésben és az induló tuda-

mányos pályák szempontjából levonható következtetésekre vonatkoznak.

Idealizált felfedezés

A DNS kettős csavar szerkezetének felfedezése történhetett volna a következő forgatókönyv szerint:

Gregor Mendel óta foglalkoztatta a kutatókat, hogy mi lehet az az anyag, amely az örökletes tulajdonságokat továbbviszi. Ke-resték azt a biológiai nagymolekulát, amely képes ezt a feladatot ellátni. A kémikusok egyre növekvő méretű molekulák háromdimenziós szerkezetét tanulmányozták, hogy amint azonosítják ezt az anyagot, készen álljanak az öröklődés anyagának szerkezetmeghatározására. Ebben kiváló eszközként számíthattak a század elején felfedezett röntgenkristallográfia módszerére. Az mindenki számára nyilvánvaló volt, hogy az örökítést hordozó anyagok ugyanolyan atomokból és molekulákból épülnek fel, mint minden más anyag, és szerkezetét éppúgy, mint működési mechanizmusát a már felállított fizikai és kémiai alapismeretek szerint fogják megállapítani. Baktériumok hosszadalmas vizsgálata eredményeként Oswald Avery és munkatársai, Colin MacLeod és Maclyn McCarty, 1944-ben megállapították, hogy az öröklődés anyaga a DNS. Ennek folytatásaként 1950-re Erwin Chargaff vizsgálatai nyomán már az is kiderült, hogy a különböző élőlények DNS-ében található bázisok aránya az adott élőlényre specifikus. Chargaff azt is megállapította, hogy bizonyos bázisok 1:1 arányban vannak jelen a DNS molekulában, amiből Watson és Crick hamarosan eljutott a páros bázisok gondolatához. Ezzel összhangban volt a Rosalind Franklin röntgendiffrakciós felvételei által meggyőzően sugallt dupla-helikális szerkezet. Ezt jól kiegészítették Sven Furberg korábbi röntgenkristallográfiai eredményei, amelyek szerint a bázisok síkja merőleges a foszfát-cukor vázra. Watson és Crick számára már

csak az maradt hátra, hogy Linus Pauling kémiai kötésre vonatkozó tanításait és modellezési módszerét alkalmazzák a DNS szerkezetére. Így hamarosan eljutottak a kettős csavar szerkezetéhez, amely az örökítés mechanizmusára is ésszerű megoldást jelentett. A kettős csavar szerkezet *Nature*-beli publikálását minden kutató, aki a szerkezet felfedezését a saját munkájával és felfedezéseivel elősegítette, kitörő örömmel üdvözölte.

Valóságos felfedezés

A dolgok azonban nem egészen így alakultak, noha a felfedezés valóságos története nem volt kevésbé izgalmas, mint az idealizált változat. Néhány jellegzetességét a következőkben foglalom össze.

Gregor Mendel korát megelőző öröklődési vizsgálatait a 20. század elején újra felfedezték, de még évtizedekig nyitott kérdés maradt, vajon mi hordozza az örökítés információját. Orvosbiológiai vonalon a fertőző tuberkulózis elleni küzdelem vetette fel a transzformáció anyagának azonosítását, és így történt, hogy immunológusok állapították meg először – Oswald Avery és munkatársai 1944-ben –, hogy a transzformálás anyaga a DNS. Sajnos a kutatók nagy többsége még évekig nem találta elég meggyőzőnek Avery eredményeit, annyira erősen élt a fehérjék meghatározó szerepére vonatkozó elképzelés.

Ugyanakkor a fizikusok is felismerték, hogy az élet megértéséhez fel kell tárni az öröklődés mechanizmusát. A természetes kíváncsiságon túl, a fizikusokat a kérdés azért is érdekelte, mert arra gondoltak, hogy míg az atomok és molekulák az élet lényegét tekintve ugyanúgy alapvető szerepet játszanak, mint egyéb természeti jelenségekben, lehet, hogy a természet eddig még nem ismert törvényeit kell az élet megértéséhez feltárni. Erwin Schrödinger *Mi az élet?* című könyve meghatározó jelentőségű volt abban, hogy több jelentős fizikus is biológiai

kérdések felé fordult. Abban pedig, hogy sokan új, addig még nem ismert természeti törvényeket sejtettek az élet titkai mögött, Max Delbrück tanításai játszottak szerepet.

A hagyományos szerkezeti kémia az elektrondiffrakció és a röntgenkristallográfia sikereit felhasználva elsősorban Linus Pauling tevékenysége nyomán fejlesztette tovább a kémiai kötésre vonatkozó ismereteket, és az intuíció és modellezés segítségével szép eredményeket ért el a biológiai nagymolekulák szerkezetének feltárásában. Ennek a komplex kutatási módszernek volt látványos sikere a fehérjék alfa-csavar szerkezete. Pauling tovább folytatta vizsgálatait, de sem ő, sem a többi kutató többsége nem számított arra, hogy ezek a háromdimenziós szerkezetek a nagy biológiai molekulák működésére közvetlen információt szolgáltatnának.

A DNS molekulát a kutatók többsége nem tudta könnyen elfogadni a fertőzés vagy az öröklődés anyagául, mivel csak négy különböző építőelemből épült fel, és ráadásul sokáig úgy tartották, hogy ez a négy építőelem azonos arányban van jelen a legkülönbözőbb élőlények DNS molekuláiban. Erwin Chargaff kivétel volt, mert Avery felfedezése nyomán abbahagyta addigi sikeres biokémiai kutatásait, és a továbbiakban a DNS biokémiájának szentelte munkáját. Hamarosan megállapította, hogy a DNS nem olyan monoton felépítésű, mint amilyennek feltételezték. Ellenkezőleg, összetétele a biológiai forrás függvénye. Chargaff munkája nyomán vált a DNS molekula 1950 körül a sokak által csak unalmas töltőanyagként tartott biológiai polimerből a Schrödinger által megsejtett „aperiodikus kristállyá”.

Sajnos azonban Chargaff eredményei ugyanúgy, mint Avery felfedezése, nem hoztak áttörést a DNS kutatásában. Ez a szerep a kevésbé pontos Hershey-Chase kísérletnek jutott 1952-ben. Alfred Hershey és technikusa további kísérlettel bizonyította azt, amit már Avery óta tudni lehetett – nevezetesen, hogy

a DNS a transzformálás anyaga. A különbség az volt, hogy közben megérett az idő ennek az elképzelésnek az elfogadására, hiszen közben megszülettek Chargaff eredményei, és az is fontos volt, hogy Hershey a megfelelő körökben mozgott. Avery ezzel szemben immunológus volt, ráadásul csendes és visszahúzódó természete nem engedte meg eredménye megfelelő propagálását.

Egy-egy tudományos felfedezésnek sokféle, közvetlenül nehezen mérhető hatása is lehet. Így például az alfa-csavar felfedezése ébresztette rá James Watsonra arra, hogy egy bizonyos ponton abbahagyja addigi munkáját, és további tevékenységét a DNS háromdimenziós szerkezete felderítésének szentelje. Erre Francis Crick is rávette, és párosuk sikere ma már a tudománytörténet része. Chargaff ezúttal is döntő szerepet játszott a sikerben. Megállapította ugyanis, hogy a DNS molekulákban összetételbeli ekvivalencia áll fenn a guanin és citozin, valamint az adenin és a timin között. Ebből a megfigyelésből vonta le azután Watson és Crick a bázispárokra vonatkozó következtetését.

A DNS kutatásának másik ága a röntgenkristallográfiai vizsgálatokra épült. Linus Pauling részben röntgenkristallográfiára alapította saját vizsgálatait, amelyekben továbbra is nagy szerepe volt a modellezésnek. Hiányzott azonban belőlük a DNS feltételezett működésének figyelembe vétele. Legjobban pedig az hiányzott, hogy Pauling nem volt meggyőződve a DNS kivételes fontosságáról. Azt is el kell ismerni, hogy a Pauling számára rendelkezésre álló röntgendiffrakciós adatok nem a legjobb minőségűek voltak. Abban az időben a legjobb felvételeket Rosalind Franklin és munkatársa készítette.

A röntgenkristallográfia eredményei többszörösen is benne voltak a DNS szerkezetének felderítésére irányuló munkában. A J. D. Bernal laboratóriumában vendégkutató Sven Furberg megállapította, hogy a bázisgyűrűk és a cukorgyűrűk egymásra

merőlegesek. Franklin a King's College-ban dolgozott a Londoni Egyetemen, ahol rajta kívül és tőle függetlenül Maurice Wilkins is a DNS röntgenkristallográfiájával foglalkozott. Wilkins jóban volt Watsonnal és Crickkel, míg Franklint ellenfelének tekintette. Franklin hátránya nemcsak határozott, nagy tudású és független gondolkodású egyénisége volt, hanem az is, hogy a női kutatók abban az időben hátrányos megkülönböztetésektől szenvedtek. Mindezt Wilkins azzal tetézte, hogy Franklin tudta nélkül megmutatta annak röntgenfelvételeit és jegyzőkönyvi adatait a tulajdonképpen riválisnak számító Watsonnak. Franklin felvételeiből a DNS szerkezetének kettős helikális szerkezete egyértelműen levezethető volt. Ötven évvel ezelőtt Watson és Crick sorsdöntő dolgozatával egy számban jelent meg Wilkins és munkatársainak, valamint Franklin és munkatársának dolgozata is. De Franklin néhány évvel később úgy hunyt el, hogy sohasem tudta meg: a háta mögött Wilkins megmutatta eredményeit Watsonéknak.

Watson elszántsága és az összefüggéseket zseniálisan felismerő egyénisége a legszerencsésebb módon párosult Francis Crick elmélyült analitikus képességeivel, fizikai és matematikai tudásával. Watson *A kettős spirál* című könyve sok mindent jól érzékelt a tudományos kutatás természetéről, de azt nem, hogy milyen kemény munka és háttértudás is kell az új eredmények eléréséhez. Crick, például, részt vett a helikális szerkezetek röntgendiffrakciós elméletének kidolgozásában.

A DNS szerkezetének felderítéséről Watson és Crick egyoldalas cikkben számolt be a *Nature* 1953. április 25-i számában; ezekben a napokban világszerte ennek 50. évfordulójára emlékezünk.

A szálak összefutnak

A kettős csavar felfedezésének története egész sor emberi drámát tartalmaz. Ezen túlmenően ez a felfedezés a különböző tudo-

mányok együttes sikere volt. Mintha a sok szál a kettős csavar felfedezésében találkozott volna, hogy azután ezzel a felfedezéssel is gazdagodva és megtermékenyülve újra szétágazzanak. Benne volt ebben a sikerben a matematika, amely lehetővé tette a hélixek röntgendiffrakciójának levezetését, és ugyanígy lehetővé tette a helikális szerkezetek leírását is. Ezen belül természetesen a szimmetria-megfontolásoknak is döntő szerepük volt. Benne volt a fizika, amely annak idején létrehozta a röntgenkrisztallográfia módszerét. Más korszerű szerkezet-meghatározási módszerekhez hasonlóan tipikus utat járt be először fizikai alapkutatásként, majd szerkezeti kémiai eszközként jelentkezve. A legközvetlenebb módon benne volt a kémia is: az analitikai kémia kromatográfias módszereitől kezdve a keto-enol átalakulások értelmezéséig és a kémiai kötés természetének megértéséig. És ott volt természetesen a biológia, de az orvostudományok is. Mindezek a tudományok együttesen megsokszorozták a lehetőségeiket, és a kettős csavar megszületése tovább növelte ezek számát. Ha csak az egyébként vonakodó kémiát tekintjük, ma az irodalom tele van a DNS molekula kémiájának tanulmányozásával, ma már a legkorszerűbb számítási vizsgálatokat is beleértve. Hol vagyunk ma már attól, amikor a nukleinsavakat a kémikusok szennyezett keverékeknek tekintették, és nem akarták rájuk vesztegetni tiszta eszközeiket!

Tanulságok

Avery felfedezéséről sokszor elmondták, hogy idejét megelőző felfedezés volt. Lehet, hogy így volt, de ha így is volt, legfeljebb néhány évvel előzte meg korát. A kettős csavar felfedezése viszont a legjobb pillanatban történt. A tudományos világ készen állt erre a felfedezésre, szinte várta azt. Ezt azzal is jellemezhetjük, hogy a felfedezést követően, de még az érte járó Nobel-díj előtt mások

Nobel-előadásában többször is megidéztek a kettős csavart. Olyannyira így volt ez, hogy amikor a Crick-Watson-Wilkins Nobel-díjra került sor, már csak Wilkins vállalkozott arra, hogy a kettős csavarról beszéljen Nobel előadásában, Watson is és Crick is más témát választott. Watson az RNS szerepéről beszélt a fehérjeszintézisben, Crick pedig a genetikai kódról.

A kettős csavar felfedezése egyéni teljesítmény volt, de mögötte ott voltak mindazok az összetevők, amelyeket a legtöbb tudományos felfedezés háttérében meg lehet találni. Nagyszerű mentorok és kutatóhelyek szolgáltatták ezt a háttérét. Watson az Indianai Egyetemen végezte doktori munkáját, miután sem a Harvard Egyetem, sem a Kaliforniai Műegyetem nem vette fel. De ezen az Indianai Egyetemen dolgozott akkor a Nobel-díjas Hermann Muller, többször odalátogatott a későbbi Nobel-díjas Max Delbrück, és Watson mentora – a szintén későbbi Nobel-díjas Salvador Luria volt. Crick a legendás Cavendish Laboratóriumban dolgozott doktori disszertációján, a későbbi Nobel-díjas Max Perutz csoportjában, a Nobel-díjas William Bragg általános felügyelete alatt. A Cavendish Laboratóriumba a világ minden részéből jöttek látogatók, hogy beszámoljanak legújabb eredményeikről, szinte házhoz szállítva mindazt az ismeretet, amire Watsonnak és Cricknek szüksége lehetett.

A siker fontos összetevője volt a két kutató egyénisége, egyéniségük és szakmai előéletük egymást kiegészítő jellege. Ideális partnerei voltak egymásnak. Watson a biológiából jött, Crick a fizikából, és egyik közös vonásuk a kémiai ismeretek hiánya volt. Ennek a hiányosságnak azonban tudatában voltak, és igyekeztek mindent megtudni, amire a projekt során szükségük volt, akár tanúlással, akár másokkal való konzultálással, akár pedig nem igazán etikus módszerekkel, mint ahogyan az a Franklintól származó

röntgenkristallográfiai adatok esetében történt. Kutatói elhivatottságuk teljes volt. Crick, aki már jócskán túlkoros doktoránsnak számított, inkább elhalasztotta doktori témáján való munkáját, semmint feladja a Watsonnal való együttműködést. Watson pedig a sokak által irigyelt Merck ösztöndíját kockáztatta, amikor Stockholm helyett Cambridge-be ment. Meg is vonták tőle a Merck ösztöndíját, és helyette csak tekintélyes patronusainak, Max Delbrücknek és Salvador Luriának gyors közbenjárására sikerült a gyermekparalízis leküzdésére létrehozott alapítványtól ösztöndíjat szereznie.

Egyértelműen Watsont dicséri, hogy bele mert vágni a DNS háromdimenziós szerkezete meghatározásának feladatába, amit mások örütségnek tartottak. A feladat nemcsak példátlanul nehéz volt, hanem Watson semmiféle előzetes tapasztalatot nem szerzett az ilyen jellegű kutatásban. Zsenialitás nyilvánult meg abban, hogy nemcsak a probléma fontosságát ismerte fel, hanem azt is, hogy a probléma megoldható. Ebben Crick és Watson a legkiválóbb kutatói kvalitásokat mutatta fel, amennyiben meg tudták állapítani, hogy milyen mélységű szerkezet-felderítés az, ami még realisan megvalósítható. A frontvonalbeli tudományos kutatás mindig a vágyak és a lehetőségek kompromisszuma. Ha pontos atomi koordinátákat akartak volna meghatározni, akkor vállalkozásuk abban az időben reménytelen lett volna. Ha csak egy kettős csavar szerkezettel álltak volna elő, de adósak maradtak volna a bázispárok jelenlétének a felismerésével, akkor viszont a szerkezet biológiai jelentősége maradt volna homályban. Mesterien találták meg a részletek és elhanyagolások között szükséges és elégséges kompromisszumot.

A genetikai kód

A DNS kettős csavar szerkezetének felfedezésével azonban Schrödinger eredeti programjának csak az egyik felét valósították

meg. Hátra volt még annak a kapcsolatnak a feltárása, amely a DNS által hordozott információtól elvezet a fehérjék szintéziséig. Hiába van ott az információ a DNS-ben arról, hogy valakinek barna a haja, a kérdés továbbra is az, hogyan lesz ebből a barna haj. Ez megint egy olyan kérdés volt, ami egyaránt foglalkoztatott különböző területen dolgozó és különböző háttérű kutatókat. Crick és Watson már a DNS szerkezetének felderítése során foglalkozott a genetikai kód problémájával, de – igen bölcsen – a részletesebb munkát elhalasztották. Utólag könnyű belátni, hogy a bázisok helyzetének ismerete nélkül ezt a kérdést nem lett volna értelme tovább vizsgálni. Amint azonban megvolt a kettős csavar szerkezet, a kérdés izgalmasan időszerűvé vált. A szerkezet nyilvánosságra hozatala után Crick és Watson levelet kapott a számukra addig ismeretlen orosz-amerikai elméleti fizikustól, George Gamowtól, aki a DNS nyelvét a bázisok négy betűjében látta megtestesülni, és számelméleti módszerek alkalmazását javasolta a genetikai kód feltörésére. Gamow a genetikai kód esetében ugyanolyan eredeti és megtermékenyítő gondolatokkal lépett fel, mint a világ keletkezésére vonatkozó Nagy Robbanás hipotézisében. Különlegesen eredeti tudós volt.

A DNS szerkezetének felderítésétől kezdve nyilvánvaló volt, hogy a következő nagy áttörés a tudományban a genetikai kód feltörése lesz. Ritkán adódik a tudomány fejlődésében hasonló pillanat, amikor tudják, hogy mi lesz a következő nagy felfedezés. Azonban hiába versenyeztek a világ legjobb biokémiai laboratóriumai a kód feltöréséért, a siker egyelőre elkerülte a kutatókat. Senki sem várta például, hogy az 1961-ben Moszkvában rendezett nagy nemzetközi biokémiai kongresszuson bárki is áttörésről számoljon be ebben a kérdésben, ahogy más nagy eredmény bejelentését sem várták ezen a kongresszuson. A rendezvényt kapcsolatban már maga az a tény is elég nagy

szenzációnak számított, hogy Moszkvában rendezik meg.

Ebben az időben ugyanis a szovjet tudomány, a biológia pedig különösen, még mindig egy tudománytalan diktátor, a mezőgazdász T. Gy. Liszenko szorításában vergődött. Sztálin és Hruscsov uralma alatt is ő szabta meg a szovjet mezőgazdaság tudományos hátterét. Esküdt ellensége volt az öröklődés tanának, és így azt sem hitte el, hogy létezik az öröklődést hordozó anyag. Ezzel szemben azt hirdette, hogy a környezeti hatások révén kialakult tulajdonságok öröklődnek. Az egymást követő szovjet vezetőknek Liszenko gátlástalanul tett ígéreteket a szovjet mezőgazdaság felvirágoztatására, amelyek zálogául saját „tudományos” módszereinek bevezetését jelölte meg. Szinte korlátlan hatalommal rendelkezett, kegyetlenül elnyomta tanainak ellenzőit, és a Szovjetunióban évtizedekig gátolta a genetika és a biológia fejlődését. Bár az ötvenes évek végétől kezdve hatalma hanyatlásnak indult, de a moszkvai kongresszus idején újra a csúcson volt. Arról a tudományterületről, amely a huszadik század második felében a legfontosabbnak bizonyult, a molekuláris biológiáról, akkoriban még mindig nem lehetett nyíltan beszélni a Szovjetunióban. Mégis, az a tény, hogy a biokémikusok kongresszusát Moszkvában rendezték meg, jelezte, hogy a Szovjetunióban is eljött a változások ideje. A szovjet hatóságok nem voltak mindenben engedékenyek. Nem engedélyezték azt, hogy az egyik szekció neve „molekuláris biológia” legyen. Ehelyett alakították ki a „Biológiai szerkezet és működés a molekuláris szinten” erőltetett hangzású címet.

A szervezők nem tudták előre, de erre a kongresszusra az akkor még ismeretlen Marshall Nirenberg fontos bejelentéssel készült. Tíz percet kapott, és előadására egy kis teremben került sor, de bejelentésének híre eljutott a vezető tudósokhoz. Megtörtént az a példa nélkül álló eset, hogy Nirenbergnek

meg kellett ismételnie előadását, de a második alkalommal a kongresszus plenáris ülésén, a zárónapon. A hatás leírhatatlan volt, a résztvevőket felvillanyozta, amikor Nirenberg bejelentette, hogy megtette az első lépést a genetikai kód megfejtésében. Ma már tudjuk, hogy a nukleinsavak bázisainak hármas egységei határozzák meg, hogy mely aminosavak képződnek. Ezekben a hármas egységekben nemcsak az számít, hogy mely bázisok a résztvevők, hanem az is, hogy milyen sorrendben követik egymást. A hármas egységek egymást követő sorrendje pedig a létrehozott fehérjében az aminosavak sorrendjét határozza meg. Nirenberg munkahelye, az Egyesült Államok Nemzeti Egészségügyi Intézetei (National Institutes of Health – NIH) abban az időben még nem rendelkezett olyan tekintéllyel és anyagi lehetőségekkel, mint ma, de munkájához már akkor is ideális hátteret biztosított műszerezettségével, kiváló kollégákkal és azzal a nyugodt légkörrel, amely nem követelte meg munkatársaitól a mindenáron való gyors és gyakori publikálást. Johann Heinrich Mattheaei posztdoktor közreműködésével Nirenberg egyik kísérlete szerint az RNS felépítésében részt vevő uracilt (a DNS-ben ez a timinnek felel meg) választotta ki további vizsgálódásra. Több szempontból is szerencsés volt ez a választás, de ez a szerencse az egyébként keményen dolgozó kutatókat érte megérdemelten. A kísérlet azt mutatta, hogy a poliuridilsav a polifenilalanin fehérjélánc szintézisét irányítja. Ennek megfelelően a bázisok tripletjeit tekintve UUU az aminosavak körében a fenilalanint kódolja. Ez volt az első lépés, a drámai áttörés, amit azután a következő néhány évben a kód teljes megfejtése követett.

Nirenberg saját ötletgazdagságát célbalövéshez hasonlíítja, a találatok nemcsak a központi körben vannak, hanem a céltábla körül az egész falat beborítják, de néhány közülük igazi telitalálat. Linus Paulingtól gyakran

megkérdezték, hogy hogyan születnek azok a kiváló ötletei, amelyekről méltán volt híres. Pauling azt válaszolta, hogy rengeteg ötlet jut eszébe, amelyek többsége nem ér semmit, de néhány közülük nagyon jó. Az értéktelenekeket elveti, és a néhány jót megtartja. Pauling zsenije abban is állt, hogy meg tudta különböztetni az értékes ötleteket azoktól, amelyeket nem volt érdemes megtartani. Nirenberg láthatólag nem vállalkozik arra, hogy ötleteit osztályozza, ez majd az utókor feladata lesz, mert minden ötletét gondosan feljegyzí.

Befejezés

A kettős csavar és a genetikai kód felfedezése megváltoztatta a tudományos kutatás arcát és korábban elképzelhetetlen módon megváltoztatta a tudomány közvetlen alkalmazási lehetőségeit is, amire sok példát fogunk látni előadóülésünk hátralevő részében. Bevezető előadásom célja az volt, hogy emlékeztessen e felfedezések hátterére és a részt vevő tudósok egynémelyikére. Legfontosabb tanulságnak azt látom, hogy a kutatók összefogása és a különböző tudományterületek együttes alkalmazása megsokszorozza a tudomány és a tudósok lehetőségeit.

IRODALOM

- Hargittai István (2003): *Életeink: Egy tudományos kutató találkozása a 20. századdal*. Typotex, Bp
- Hargittai István (2002): *The Road to Stockholm: Nobel Prizes, Science, and Scientists*. Oxford University Press, Oxford

Egy befejező megjegyzésem pedig a könyvek fontosságára vonatkozik. Számos Nobel-díjas tudósról tudjuk, hogy figyelemüket már gyerekkorukban Paul de Kruif *Bacillusvadászok* című könyve fordította a tudomány felé. Schrödinger *Mi az élet?* című könyve is rendkívül befolyásos volt elsősorban azoknak a fizikusoknak és kémikusoknak a körében, akik a II. világháborút követően, a fizikai forradalmat és az atombombát követően új kihívást kerestek. Gunther Stent a könyvet a biológia *Tamás bátya kunyhójá-*nak nevezte. Harriet Beecher Stove könyve az elmúlt évtizedekben már alkalmatlan lett volna arra, hogy az amerikai polgárjogi harcosok zászlajukra tűzzék, de Abraham Lincoln még úgy gondolta, hogy a rabszolga-tartást felszámoló amerikai polgárháború jórészt ennek a könyvnek köszönhetően tört ki. Mai ismereteink tükrében olvasva Schrödinger könyvét helyenként naivnak találhatjuk, de közel hatvan évvel ezelőtt forradalmian új gondolatokra ösztönzött.

Kulcsszavak: *DNS, kettős csavar, genetikai kód, James Watson, Francis Crick, Marshall Nirenberg*

- Hargittai István – Hargittai Magdolna (2003). *Szimmetriák a felfedezésben*. Vince, Budapest
- Venetianer Pál (2003): *Csillagórák a tudományban: A molekuláris biológia diadalútja a Nobel-díjak tükrében*. Medicina, Budapest