

NOWE WYDANIE

Aleksander Kołodziejczyk

Naturalne związki organiczne



WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN

Naturalne związki organiczne

Aleksander Kołodziejczyk

Naturalne związki organiczne

WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN
WARSZAWA 2013



Projekt okładki i stron tytułowych **Kaja Mikoszevska**

Ilustracja na okładce **Shutterstock: Mopic, Sylvie Bouchard, mathagraphics, Vitaly Korovin; sxc.hu: Zsuzsanna Kilian (nkzs), Nir N (nirnac), Alicia Solario (asolario), Mateusz Atroszko (atroszko), Nate Brelsford (runrunrun), Michael & Christa Richert (Ayla87), Andreas Krappweis (Krappweis), Ján Mesároš (humusak2)**

Wydawca **Bianka Piwowarczyk-Kowalevska**

Redaktor **Magdalena Kruszyna**

Koordinator produkcji **Mariola Grzywacka**

Skład i łamanie **Auto Graf**

Książka wydana dzięki dotacji Politechniki Gdańskiej

Książka wydana dzięki wsparciu finansowemu Ryszarda Wojnowskiego

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo.
Więcej na www.legalnakultura.pl
Polska Izba Książki

Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2013

ISBN 978-83-01-17347-0

Wydanie III zmienione

Wydawnictwo Naukowe PWN SA
tel. 22 69 54 321; faks 22 69 54 288
infolinia 801 33 33 88
e-mail: pwn@pwn.com.pl
www.pwn.pl

SPIS TREŚCI

WSTĘP	13
1. AMINOKWASY	23
1.1. Podział aminokwasów	23
1.1.1. Aminokwasy białkowe	24
1.2. Nomenklatura	33
1.3. Właściwości aminokwasów	34
1.3.1. Właściwości kwasowo-zasadowe	34
1.3.2. Rozpuszczalność i temperatura topnienia	36
1.3.3. Właściwości fizjologiczne aminokwasów kodowanych	37
1.3.4. Metabolizm aminokwasów	39
1.4. Aminokwasy niezbędne (egzogenne)	41
1.5. Naturalne aminokwasy niebiałkowe	43
1.6. Zastosowanie aminokwasów	49
1.7. Otrzymywanie aminokwasów	53
1.7.1. Syntezy chemiczne –wybrane przykłady	53
1.7.2. Otrzymywanie chiralnych aminokwasów	62
1.7.3. Przykłady chiralnych syntez aminokwasów	64
1.8. Rozdzielanie aminokwasów racemicznych na enancjomery	71
1.8.1. Tworzenie soli diastereoizomerycznych i ich krystalizacja	71
1.8.2. Pochodne diastereoizomeryczne	72
1.8.3. Krystalizacja spontaniczna	73
1.8.4. Zastosowanie enzymów do rozdzielania racemicznych aminokwasów	74
1.8.5. Metody chromatograficzne	76
1.8.6. Elektroforeza	88
1.9. Fizykochemiczne metody badania aminokwasów	90
1.9.1. Polarymetria	90
1.9.2. Spektrometria mas	93
1.10. Literatura źródłowa i uzupełniająca	94
2. PEPTYDY	96
2.1. Nazewnictwo peptydów	96
2.2. Synteza peptydów	99
2.2.1. Peptydowe osłony grup funkcyjnych – grupy ochronne	104
2.2.2. Metody tworzenia wiązania peptydowego	113

2.3. Wybrane peptydy biologicznie czynne	138
2.3.1. Glutation (GSH)	138
2.3.2. Tyreoliberyna	139
2.3.3. Adrenokortykotropina (ACTH, kortykotropina)	139
2.3.4. Proopiomelanokortyna	140
2.3.5. Melanotropina (MSH)	141
2.3.6. Lipotropina	141
2.3.7. Peptydy opioidowe	142
2.3.8. Somatotropina (STH)	150
2.3.9. Oksytocyna (OT) i wazopresyna (VP)	152
2.3.10. Liberyny i statyny	157
2.3.11. Insulina ludzka (HI – ang. <i>human insuline</i>)	159
2.3.12. Glukagon	163
2.3.13. Hormony tkankowe (żółdkowo-jelitowe)	164
2.3.14. Angiotensyna	165
2.3.15. Substancja P (SP)	166
2.3.16. Bradykinina	167
2.3.17. Peptydy wyizolowane ze skór płazów	167
2.3.18. Tuftsyna	168
2.3.19. Proktolina, przedstawiciel neuropeptydów owadzych	169
2.3.20. Naskórkowy czynnik wzrostu	170
2.3.21. Antybiotyki peptydowe	171
2.3.22. Toksyny peptydowe	179
2.3.23. Alkaloidy peptydowe	184
2.3.24. Muramylopeptydy	184
2.4. Zastosowanie syntetycznych peptydów w kosmetyce	188
2.5. Literatura źródłowa i uzupełniająca	191
3. BIAŁKA – PROTEINY	194
3.1. Budowa białek	196
3.1.1. Struktura pierwszorzędowa	196
3.1.2. Struktura drugorzędowa	203
3.1.3. Struktura trzeciorzędowa	209
3.1.4. Struktura czwartorzędowa	212
3.1.5. Sposoby badania konformacji cząsteczek białka	213
3.2. Denaturacja białek	214
3.3. Izolacja, rozdzielanie, oczyszczanie i identyfikacja białek	217
3.4. Klasyfikacja czyli podział białek	218
3.4.1. Podział białek według kształtu	218
3.4.2. Podział białek według składu	218
3.4.3. Podział białek według funkcji	219
3.4.4. Podział białek według pochodzenia	219
3.4.5. Podział białek według występowania	219
3.4.6. Podział białek według wartości odżywczej	219
3.5. Przykłady białek	220
3.5.1. Białka proste	220
3.5.2. Białka złożone	228
3.5.3. Białka enzymatyczne i ciała czynne	242
3.5.4. Białka słodkie	247
3.5.5. Enzymy niebiałkowe	248
3.5.6. Białka toksyczne	248
3.6. Literatura źródłowa i uzupełniająca	250

4. CUKRY (SACHARYDY, WĘGLOWODANY)	251
4.1. Podział cukrów	254
4.2. Stereochemia cukrów	254
4.3. Nomenklatura cukrów	255
4.4. Monocukry	256
4.4.1. Właściwości fizyczne	256
4.5. Właściwości chemiczne	266
4.5.1. Estryfikacja cukrów	266
4.5.2. Eteryfikacja	271
4.5.3. Utlenianie cukrów	276
4.5.4. Redukcja	279
4.5.5. Pochodne cukrów	281
4.5.6. Wzajemne przekształcanie cukrów	282
4.6. Ważniejsze monocukry naturalne	286
4.6.1. Triozy	286
4.6.2. Tetrozy	287
4.6.3. Pentozy	287
4.6.4. Heksozy	287
4.6.5. Heptozy	291
4.6.6. Deoksycukry	291
4.6.7. Aminocukry	291
4.6.8. Oligosacharydy	293
4.6.9. Polisacharydy	305
4.6.10. Serologiczne grupy krwi	316
4.6.11. Glikozydy naturalne	319
4.7. Literatura źródłowa i uzupełniająca	323
5. LIPIDY	325
5.1. Podział lipidów	326
5.2. Kwasy tłuszczowe – przedstawiciele pochodnych lipidów	326
5.2.1. Nasycone kwasy tłuszczowe	329
5.2.2. Nienasycone kwasy tłuszczowe	331
5.2.3. Niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT, EFA)	340
5.2.4. Znaczenie kwasów tłuszczowych w diecie	342
5.2.5. Aspekty biosyntezy kwasów tłuszczowych	343
5.2.6. Otrzymywanie kwasów karboksylowych na drodze syntezy chemicznej i ich zastosowanie	346
5.2.7. Otrzymywanie kwasów karboksylowych w procesach biochemicznych	349
5.2.8. Redukcja kwasów tłuszczowych	351
5.3. Prostaglandyny – prostanoidy (ejkozanoidy)	352
5.4. Tłuszcze	356
5.4.1. Mono- i diacyloglicerole (niepełne acyloglicerole)	357
5.4.2. Stereochemia tłuszczów	358
5.4.3. Hydroliza tłuszczów	358
5.4.4. Skład acylowy tłuszczów	360
5.4.5. Fizjologiczna rola tłuszczów	361
5.4.6. Tłuszcze jadalne	362
5.5. Oleochemia, przemysł oleochemiczny	365
5.5.1. Uwodornianie (utwardzanie) tłuszczów	366
5.5.2. Transestryfikacja (przeestryfikowanie) tłuszczów	367
5.5.3. Substytuty tłuszczów	370

5.6. Fosfolipidy i inne diacylowe pochodne glicerolu zawierające resztę fosforanową	371
5.6.1. Glicerofosfolipidy	372
5.6.2. Lipidowa warstwa podwójna (bimolekularna)	376
5.6.3. Liposomy	379
5.6.4. Inne lipidy błon komórkowych	380
5.6.5. Kwasy mykolinowe	382
5.7. Kwasy mykolinowe	383
5.8. Woski	385
5.9. Alkohole lipidowe	385
5.10. Węglowodory lipidowe	385
5.11. Psychoaktywne substancje konopi	385
5.12. Kelina	387
5.13. Literatura źródłowa i uzupełniająca	388
6. ALKALOIDY	389
6.1. Wprowadzenie	390
6.2. Występowanie	391
6.3. Rola fizjologiczna	391
6.4. Biosynteza	393
6.5. Otrzymywanie	393
6.6. Podział alkaloidów	394
6.6.1. Główne grupy alkaloidów	395
6.7. Przykłady alkaloidów	395
6.7.1. Alkaloidy niezawierające układów heterocyklicznych	405
6.7.2. Alkaloidy zawierające pierścień pirolidynowy	405
6.7.3. Alkaloidy pochodne piperydiny	409
6.7.4. Alkaloidy pochodne pirydiny	410
6.7.5. Alkaloidy zawierające nieskondensowane pierścienie pięcio- i sześcioczłonowe	412
6.7.6. Alkaloidy ze skondensowanym pierścieniem pirolidynowym i piperydynowym	421
6.7.7. Alkaloidy zawierające pierścień chinolinowy lub izochinolinowy	422
6.7.8. Alkaloidy opium	439
6.7.9. Alkaloidy zawierające układ indolowy	449
6.7.10. Kurara	451
6.7.11. Alkaloidy purynowe	454
6.7.12. Alkaloidy terpenoidowe	455
6.7.13. Alkaloidy steroidowe	424
6.7.14. Epibatydyna	457
6.8. Alkaloidy wydzielane przez organizmy żyjące w wodzie	457
6.9. Najsilniejsze psychotropy	460
6.10. Dopalacze	463
6.11. Literatura źródłowa i uzupełniająca	465
7. STEROIDY	466
7.1. Stereochemia sterydów	467
7.2. Podział i nomenklatura sterydów (steroidów)	468

7.3. Najważniejsze steroidy	469
7.3.1. Sterole	469
7.3.2. Witamina D	476
7.4. Kwasy żółciowe	477
7.5. Hormony płciowe	479
7.5.1. Androgeny	480
7.5.2. Anaboliki	483
7.5.3. Antyandrogeny	498
7.5.4. Estrogeny	499
7.5.5. Hormony ciążowe – progesteny	502
7.5.6. Środki przeciwciążowe (antykoncepcyjne)	504
7.5.7. Wpływ hormonów płciowych na psychikę	507
7.5.8. Hormonalna determinacja płci	510
7.6. Kortykosterydy (kortykosteroidy)	516
7.6.1. Mineralokortykosteroidy	517
7.6.2. Glikokortykosteroidy	518
7.6.3. Kliniczne zastosowanie kortykosterydów i ich analogów	518
7.7. Ekdysteroidy	521
7.8. Glikozydy nasercowe	521
7.8.1. Glikozydy kardenolidowe	522
7.8.2. Glikozydy bufadienolidowe	525
7.9. Saponiny	526
7.10. Steroidy wytwarzane przez organizmy morskie	527
7.11. Literatura źródłowa i uzupełniająca	527
8. KWASY NUKLEINOWE	529
8.1. Wprowadzenie	529
8.2. Występowanie kwasów nukleinowych	530
8.3. Rodzaje i budowa kwasów nukleinowych	532
8.3.1. Nukleoaminy	533
8.3.2. Nukleozydy	535
8.3.3. Nukleotydy	537
8.3.4. Kwasy deoksyrybonukleinowe (DNA)	542
8.3.5. Kwasy rybonukleinowe (RNA)	553
8.4. Rola fizjologiczna kwasów nukleinowych	557
8.4.1. Replikacja	557
8.4.2. Centralny dogmat biologii molekularnej	558
8.4.3. Transkrypcja	559
8.4.4. Kod genetyczny	561
8.4.5. Translacja	562
8.5. Uszkodzenia DNA i sposoby naprawy uszkodzeń	566
8.6. Chemiczna synteza oligo- i polinukleotydów	568
8.7. Peptydowe (proteinowe) kwasy nukleinowe – PNA	574
8.8. Odczytywanie genomów – sekwencjonowanie DNA	576
8.9. Biotechnologia molekularna – inżynieria genetyczna	581
8.10. Organizmy genetycznie modyfikowane	584
8.10.1. Żywność modyfikowana genetycznie	587
8.10.2. Organizmy klonowane	591

8.11. Wykorzystanie kwasów nukleinowych w terapii i w diagnostyce molekularnej	591
8.12. Genetyczna różnorodność populacji ludzkich	593
8.13. Literatura źródłowa i uzupełniająca	593
9. POLIFENOLE, FLAWONOIDY	596
9.1. Wprowadzenie	596
9.2. Taniny	600
9.3. Procyjanidyny, taniny skondensowane	602
9.4. Taniny hydrolizowalne	605
9.5. Pseudoaniny	606
9.6. Flortaniny	607
9.7. Lignany	607
9.8. Flawonoidy	608
9.8.1. Występowanie i izolacja flawonoidów	609
9.8.2. Budowa flawonoidów	610
9.8.3. Przykłady i zastosowanie flawonoidów	612
9.8.4. Antocyjaniny (antocyjany)	613
9.9. Wpływ polifenoli na zdrowie	614
9.10. Szkodliwe działanie polifenoli	618
9.11. Tanaza	619
9.12. Wchłanianie polifenoli	620
9.13. Zależność aktywności polifenoli od konstytucji aglikonów	620
9.14. Propolis	621
9.14.1. Skład propolisu	621
9.15. Taniny w winie	622
9.16. Garbowanie skór	623
9.17. Inne fenole roślinne	624
9.17.1. Hydroksykumaryny	624
9.17.2. Hydroksychinony	625
9.17.3. Hydroksyantrachinony	627
9.18. Literatura źródłowa i uzupełniająca	628
10. HORMONY OWADZIE I ROŚLINNE	629
10.1. Wprowadzenie	629
10.2. Hormony owadzie	630
10.2.1. Hormony mózgowie	630
10.2.2. Hormony juvenilne	630
10.2.3. Ekdysteroidy	633
10.2.4. Owadzie systemu obronne	635
10.3. Hormony roślinne	636
10.3.1. Auksyny	636
10.3.2. Gibereliny	638
10.3.3. Cytokininy	640
10.3.4. Eten (etylen)	642
10.3.5. Brasyneroidy	643
10.3.6. Kwas abscysynowy	644
10.4. Literatura źródłowa i uzupełniająca	646

11. TERPENOIDY I ZOPRENOIDY	647
11.1. Izopren	648
11.2. Biosynteza terpenów	649
11.3. Olejki eteryczne	649
11.3.1. Aromatoterapia	653
11.3.2. Substancje aromatyczne	656
11.4. Pozyskiwanie terpenów	660
11.5. Monoterpeny i monoterpenoidy	661
11.5.1. Monoterpeny i monoterpenoidy niecykliczne	661
11.5.2. Monoterpenoidy monocykliczne	663
11.5.3. Bicykliczne monoterpeny i monoterpenoidy	670
11.6. Seskwiterpeny i seskwiterpenoidy	675
11.6.1. Seskwiterpeny niecykliczne	675
11.6.2. Seskwiterpeny monocykliczne	676
11.6.3. Seskwiterpeny bicykliczne	677
11.6.4. Seskwiterpeny tricykliczne	678
11.7. Diterpeny (C₂₀H₃₂) i diterpenoidy	678
11.7.1. Kwasy żywiczne	678
11.7.2. Fitol	679
11.7.3. Labdany	679
11.7.4. Jatrofon i cembrene	680
11.8. Triterpeny i triterpenoidy	680
11.8.1. Skwalen	681
11.8.2. Lanosterol i cykloartenol	682
11.8.3. Amiryryny	683
11.9. Tetraterpeny i tetraterpenoidy	683
11.9.1. Karoteny i karotenoidy	683
11.9.2. Witamina A	685
11.9.3. Witamina E	687
11.9.4. Witamina K	689
11.10. Terpenoidy wytwarzane przez organizmy morskie	691
11.11. Literatura źródłowa i uzupełniająca	693
12. ZWIĄZKI SYGNAŁOWE (FEROMONY)	694
12.1. Podział feromonów	697
12.2. Skład feromonów	698
12.3. Identyfikacja feromonów	700
12.4. Wytwarzanie feromonów	702
12.5. Oddziaływanie feromonów	703
12.6. Rozprzestrzenianie feromonów	705
12.7. Selektywność feromonów	706
12.8. Rola chiralności	706
12.9. Najważniejsze grupy feromonów	710
12.9.1. Feromony płciowe	710
12.9.2. Feromony ścieżkowe	713

12.9.3. Feromony znaczące terytorium	714
12.9.4. Feromony alarmowe	714
12.9.5. Feromony agregacyjne i rozpraszające	715
12.9.6. Feromony dyskryminujące.	716
12.9.7. Feromony obronne i jady.	717
12.10. Rola feromonów w życiu ssaków	718
12.11. Feromony organizmów morskich	721
12.12. Feromony węży	725
12.13. Antyatraktanty	726
12.14. Zastosowanie feromonów	726
12.15. Feromony ludzkie	728
12.16. Literatura źródłowa i uzupełniająca	729
WYKAZ SKRÓTÓW I SYMBOLI	731
SKOROWIDZ	736

WSTĘP

Z naturalnymi związkami organicznymi (NZO) spotykamy się na co dzień. Wywierają one wielki wpływ na żywe istoty, w tym na ludzi, od poczęcia do śmierci. Organizmy produkują je na własne potrzeby, a także, by oddziaływać na swoje środowisko. Niektóre NZO są powszechnie znane, wielu jeszcze nie poznano, a są i takie, o których krążą mity niemające nic wspólnego z rzeczywistością. Warto więc wiedzieć o nich trochę więcej, a przynajmniej mieć pod ręką źródło informacji na ich temat. Do takich źródeł należy książka pt. *Naturalne związki organiczne*, wydana po raz pierwszy w 2003 r. Po dziesięciu latach nadszedł czas, żeby ją uzupełnić i uaktualnić, ponieważ wiedza o NZO poszerza się szybko. Prezentowana książka, w zasadzie przeznaczona dla studentów chemii zobowiązanych do zgłębiania wiedzy o NZO, okazała się też przydatna dla studentów medycyny, farmacji, biotechnologii, rolnictwa, a także uczniów szkół licealnych zainteresowanych tematyką przyrodniczą. Sięgają po nią również pracownicy naukowci. Książka spotkała się też z zainteresowaniem osób niezwiązanych zawodowo z chemią, ani w ogóle z nauką, ponieważ zawiera wydzielone paragrafy o charakterze popularnonaukowym, wręcz popularnym. Oczywiście w jednej książce, nawet na 800 stronach, nie da się pomieścić najistotniejszych informacji o NZO. Jej zawartość została dobrana subiektywnie i świadomie okrojona. Nie ma w niej informacji na temat prostych związków organicznych typu węglowodorów, halogenków alkilowych czy etanolu, produkowanych na ogromną skalę przez mikroorganizmy czy wodorosty. W porównaniu do poprzednich wydań została wzbogacona o nowe rozdziały, w tym jeden poświęcony kwasom nukleinowym. W czasie przygotowywania pierwszego wydania książki, badania nad kwasami nukleinowymi nabrały przyspieszenia, weszły w nowy etap, rozpoczęto odczytywanie genomów rozwiniętych organizmów, w tym człowieka, finalizowano niezwykle istotne odkrycia z tej dziedziny. W związku z tym obawiałem się, że znaczna część tekstu pisanego na przełomie XX i XXI w. szybko straci na aktualności, toteż świadomie zrezygnowałem z tego tematu. W nowym wydaniu pojawiły się jeszcze inne dodatkowe rozdziały. Jeden dotyczy polifenoli, związków naturalnych, których znaczenie dla utrzymania organizmu w dobrym stanie stało się oczywiste dopiero pod koniec XX w. Związki te odgrywają istotną rolę

w ochronie zdrowia, ponieważ zmniejszają ryzyko wielu chorób nieinfekcyjnych, przewlekłych, dietozależnych oraz degenerujących, a także opóźniają proces starzenia się. Kolejny nowy rozdział dotyczy hormonów owadzych i roślinnych. W poprzednich edycjach były pewne informacje na ten temat, jednak sporadyczne i rozrzucone w tekście. Teraz zostały uporządkowane, poszerzone i zebrane razem. Dotychczasowa zawartość książki została rozszerzona i uzupełniona.

Aktualnie książka zawiera 12 rozdziałów merytorycznych poświęconych takim grupom związków, jak:

- | | | |
|---------------|---------------------|----------------------------------|
| 1. Aminokwasy | 5. Lipidy | 9. Polifenole i flawonoidy |
| 2. Peptydy | 6. Alkaloidy | 10. Hormony owadzie i roślinne |
| 3. Białka | 7. Steroidy | 11. Terpenoidy i izoterpenoidy |
| 4. Cukry | 8. Kwasy nukleinowe | 12. Związki sygnałowe (feromony) |

Czytelnik, zanim weźmie podręcznik do ręki, oczekuje informacji na temat przygotowania autora do jego napisania. Stosowna informacja jest tym bardziej zasadna dla książki o rozległej tematyce. Moja praca naukowa związana była ściśle z aminokwasami, peptydami i cukrami, a więc bezpośrednio ze związkami, którym poświęcone są trzy rozdziały książki. Białka, z uwagi na bliskie pokrewieństwo z peptydami, też nie są mi obce. W przygotowywanej przed laty *Encyklopedii chemii*, która niestety nie ujrzała światła dziennego, powierzono mi napisanie rozdziału nt chemii białek. Na Politechnice Gdańskiej działa silny zespół zajmujący się lipidami, dzięki temu miałem możliwość zgłębiania wiedzy o tych ciekawych, choć bardzo różnorodnych związkach. W świat terpenów wprowadził mnie nieżyjący już pracownik PG – dr A. Rudowski, uczeń L. Rużički, twórcy chemii terpenów. Alkaloidy oraz feromony zaś fascynowały mnie od dawna i zbieranie wiadomości na ich temat traktowałem jako swoiste hobby. Do rozwinięcia pozostałych tematów musiałem się solidnie przygotować, ale nadal nie uważam się za specjalistę w ich zakresie. Warto jednak wiedzieć, że nie jest to podręcznik przeznaczony dla specjalistów z poszczególnych dziedzin. Każdy rozdział stanowi wprowadzenie dla osób, które chcą zapoznać się z bliżej nieznaną sobie tematyką. Dlatego nie ma w nich pogłębionych informacji czy trudnych problemów, zrozumiałych jedynie dla naukowców tworzących i rozwijających daną dziedzinę nauki. Starłem się tak przedstawić podejmowaną tematykę, żeby do jej zgłębienia wystarczyła wiedza z przedmiotów przyrodniczych na poziomie liceum.

Wszystkie rozdziały w prezentowanej książce zawierają systematykę, zasady nomenklatury, informację o izolacji, otrzymywaniu, właściwościach fizycznych, chemicznych i fizjologicznych wybranych przedstawicieli poszczególnych grup związków oraz literaturę źródłową. Pod tym względem ta publikacja jest podobna do wielu innych podręczników akademickich. Setki wzorów chemicznych stanowią jej szatę graficzną. Książka ta jednak wyróżnia się na tle typowych monografii. Na jej kształt wpłynęły moje humanistyczne zainteresowania, często biorące górę nad ścisłą naukową analizą typową dla nauk przyrodniczych. Nie jest to nic nadzwyczajnego, o czym świadczą chociażby słowa Mickiewicza zawarte w wierszu *Romantyczność*: „Czucie i wiara silniej do mnie mówi

niż mędrca szkiełko i oko”. Staram się zwykle w każdym problemie widzieć aspekt ludzki i poszukuję rozwiązań korzystnych dla naszego gatunku. Właśnie takie przemyślenia przeplatają się między wierszami. Zwrócili na to uwagę recenzenci, wyrażając opinię, że książka naukowa powinna ściśle trzymać się określonej tematyki, zawierać informacje jedynie z dziedziny wiedzy, którą reprezentuje autor. Według nich nie należy mieszać wiedzy przyrodniczej z typowo humanistyczną. Ja natomiast korzystam z każdej okazji, żeby budować pomosty pomiędzy elementami poszufladkowanej wiedzy. Musiałem z recenzentami stoczyć bój o pozostawienie humanistycznych fragmentów i po dłuższej dyskusji zgodzili się na nie, ale pod warunkiem wyróżnienia ich w druku. I za to jestem im wdzięczny. Te paragrafy, niezwykle cenne moim zdaniem, stanowiące integralną część książki, zostały wydrukowane mniejszą czcionką, z powiększonym marginesem, przez co łatwo wyłowić je z tekstu. Są napisane w taki sposób, żeby były przystępne również dla nieprzyrodników.

W rozdziale dotyczącym *aminokwasów*, zwracam uwagę Czytelnika na ich właściwości, które i dla mnie są szokujące. Otóż aminokwasy, podstawowe składniki ciała większości organizmów, mogą być szkodliwe, wręcz toksyczne. I nie są to jakieś specyficzne aminokwasy niebiałkowe, takie jak np. silna trucizna – *homarin* – produkowany przez pewne ślimaki, ale właśnie aminokwasy kodowane, tzn. takie, z których syntezowane są białka. Stwierdzenie „toksyczne” w stosunku do niektórych z nich jest trochę na wyrost, ponieważ szkodliwy wpływ wywierają zwykle wtedy, gdy występują w nadmiarze, szczególnie wobec niedoboru innych aminokwasów. Wcale nie znaczy to, że te aminokwasy szkodzą tylko wówczas, kiedy przyjmuje się je jako dodatki do zwyczajnej diety. Przejawiają te właściwości jako składniki normalnego pożywienia. Przykładem może być *L-leucyna* (Leu), jeden z dwudziestu kilku aminokwasów kodowanych, szkodząca ludziom, dla których głównym pożywieniem jest sorgo – zboże popularne w Afryce. W jego białku Leu występuje w nadmiarze w stosunku do innych aminokwasów i wywołuje pelagrę czyli rumień lombardzki. Pelagra dawała się we znaki także więźniom łagrów i innych obozów koncentracyjnych, żywionym małowartościowymi pokarmami. Pisali o tym A. Sołżenicyn, G. Herling-Grudziński i G. Fittkau. Kilka innych aminokwasów występujących w białkach wykazuje podobne działanie. Są też aminokwasy takie, jak *kwasy L-asparaginowy*, *L-arginina*, *kwasy L-glutaminowy*, *L-ornityna* czy *L-lizyna*, które podaje się jako leki i nawet w kilkugramowych dawkach nie wywołują niekorzystnych skutków, a *monoglutaminian sodu* (MGN) – polepszacz smaku, jest składnikiem wielu pokarmów.

Analizując budowę aminokwasów szkodliwych i nieszkodliwych, łatwo dostrzec analogię witamin. Te, których nadmiar jest szkodliwy, są nierozpuszczalne w wodzie, czyli mają właściwości hydrofobowe, a te, które nie szkodzą nawet w nadmiarze, są hydrofilowe. Podobnie jest z aminokwasami – potencjalnie szkodliwe mają charakter hydrofobowy. Oczywiście wszystko ma swoje granice, nawet najbardziej hydrofilowy związek, jakim jest woda, w dużych ilościach też staje się szkodliwy. Z tego powodu dietetycy ostrzegają, żeby nie nadużywać np. MGN, gdyż jego kilkugramowe dzienne dawki są w stanie wywołać przykre dolegliwości.

W rozdziale dotyczącym *peptydów* dużo uwagi poświęciłem ich bezpośredniemu oddziaływaniu na żywe organizmy. Przykładem takiej aktywności jest promowanie przez

oksytocynę instynktu macierzyńskiego i zachowań socjalnych. W podrozdziale o dopingu opisałem, jak *insulina* i *hormon wzrostu* z jednej strony podwyższają sprawność, umożliwiając bicie nowych rekordów sportowych, a z drugiej strony wyniszczają organizm; ich nadużywanie prowadzi do tragicznych skutków, ze śmiercią włącznie. Inny hormon peptydowy – *wazopresyna*, bliski analog *oksytocyny*, ma za zadanie między innymi sterować procesem zatężania moczu. Bez niego wydalalibyśmy nawet 20 l płynów dziennie. Jego poziom w prawidłowo funkcjonującym organizmie rośnie w nocy, umożliwiając wielogodzinny sen nieprzerywany wstawaniem, jak się to mówi „za potrzebą”. U niektórych dzieci ten mechanizm zawodzi i pojawia się przykra dolegliwość zwana *nocnym moczeniem*. Na szczęście chemicy znaleźli na nią lek. Zsyntezowali silnego agonistę, a więc analog o znacznie większej aktywności antydiuretycznej niż sama *wazopresyna*, tak skuteczny, że zwykle wystarczy jedno „psiknięcie” do nosa aerozolem zawierającym ten peptyd, żeby uwolnić dziecko i rodziców od nocnego koszmaru. Z kolei *peptydy opioidowe* kształtują nasze samopoczucie. Pisząc o peptydach, nie sposób pominąć powszechnie występujące peptydy toksyczne. Należą do nich zarówno antybiotyki peptydowe, jak i jady grzybów, węzów, owadów czy pajaków. W rękach specjalisty mogą zostać użyte jako trucizna niepozostawiająca śladów – po spełnieniu swojej funkcji ulegają bowiem hydrolizie do aminokwasów, często takich samych, z jakich składa się nasze ciało. Twardym dowodem na zatrucie grzybami nie są trujące peptydy, ale nieszkodliwe zarodniki trujących grzybów znajdujące w treści żołądkowej. Zbrodnia doskonała poprzez podanie syntetycznych lub wyizolowanych toksyn grzybowych, niezawierających zarodników, nie jest pomysłem z rodzaju *science fiction*.

Białka, czyli duże peptydy, stanowią 75% suchej masy ciała człowieka i ponad 80% ogółu związków organicznych występujących w organizmach żywych. Fascynują z wielu powodów, przede wszystkim przez swoją różnorodność. Mogą być tak delikatne i przezroczyste jak rogowka oka lub twarde jak beton, tworząc z polimerem fosforanu wapnia budulec kości. Białka są materiałem konstrukcyjnym, zapasowym, pełnią funkcję katalityczną, transportową, obronną i regulującą. Te różnorodne właściwości wynikają wprost z nieograniczonych możliwych kombinacji ich składu, sekwencji reszt aminokwasowych i labilności konformacyjnej. Przyjmując liczbę 20 jako liczbę najważniejszych aminokwasów kodowanych, tzn. takich, z których syntezowane są białka, można wyliczyć, iż cząsteczka białka zawierająca 150 takich reszt może występować w postaci 20^{150} izomerów różniących się sekwencją, czyli kolejnością ułożenia reszt aminokwasowych, a w rezultacie i właściwościami, w tym biologicznymi. W rzeczywistości w cząsteczkach białek występuje nie 20, ale ponad 100 różnych aminokwasów i mogą one zawierać od 100 do kilkuset reszt aminokwasowych. Liczba możliwych kombinacji jest powiększana dodatkowo przez fakt, że w skład białek wchodzi również inne nieaminokwasowe fragmenty. Tak więc teoretycznie możliwa liczba białek jest tak przeogromna, że przekracza naszą wyobraźnię. Przyroda jednak redukuje populację białek do tych, które są potrzebne, to znaczy pełnią określoną funkcję. W komórce *E. coli* znaleziono około 3000 różnych białek. Do niedawna sądzono, iż w organizmie ludzkim występuje ponad 100 000 białek, ale rozszyfrowanie ludzkiego genomu pozwoliło zredukować tę liczbę do niecałych 21 000. Znane jest powiedzenie, że życie jest formą istnienia białka i jest w tym dużo racji, ale

zdarzają się białka, które stanowią zagrożenie dla życia – niektóre z nich należą do najsilniejszych znanych trucizn.

Do ciekawostek dotyczących białek można zaliczyć informacje o procesach chemicznych zachodzących podczas robienia trwałej ondulacji. Jej trwałość zależy zarówno od sposobu utrwalania loków, jak i cech osobniczych, czyli jakości włosów. Dlaczego trwała ondulacja jest często krótkotrwała? Na to pytanie można znaleźć odpowiedź na kartach prezentowanej książki.

Z chemicznego punktu widzenia uwagę zwracają poważne konsekwencje zdrowotne, włącznie z zagrożeniem życia, powodowane wymianą chociażby tylko jednej reszty aminokwasu w cząsteczce białka zbudowanego nawet z setek tych cegiełek. Jednocześnie wymiana nawet 25% składu aminokwasowego nie hamuje podstawowej aktywności biologicznej białka. Wszystko to zależy od tego jakie aminokwasy ulegają wymianie i w jakiej części białka. Zdumiewa proces przenoszenia tlenu przez hemoglobinę. Jak to się dzieje, że hemoglobina matki przekazuje tlen hemoglobinie płodu i na jakiej zasadzie mioglobina przejmuje tlen od hemoglobiny i magazynuje go w mięśniach, mając tlen związany tak samo, z identyczną częścią niebiałkową zwaną hemem?

W rozdziale o *cukrach* zwróciłem uwagę na ich istotną właściwość, czyli słodki smak. Słodkość nie jest cechą wyłącznie cukrów i nie tylko one służą do słodzenia pokarmów. Oprócz znanego już powszechnie słodkiego peptydu – *aspartamu*, od dawna stosowanej *sacharyny* – związku aromatycznego, w użyciu jest również aminokwas – *glicyna*, którego nazwa, podobnie jak nazwa glukozy związana jest ze słodkim smakiem. Wiele innych aminokwasów ma także słodki smak. Słodkie są *poliole*, czyli produkty redukcji cukrów. Jeden z nich – *ksylitol* służy do słodzenia gum do żucia. Takie gumy są nieszkodliwe dla zębów, *poliole* bowiem nie stanowią pożywki dla bakterii. Do słodkich pochodnych cukrów należą niektóre naturalne glikozydy, np *glicyrhizyna*, wydobywana z lukrecji. Inny glikozyd – *stewiozyd*, kilkaset razy słodszy od cukrozy, o przyjemnym słodkogorkim smaku staje się coraz popularniejszym substytutem cukru. W ostatnich latach duże zastosowanie znalazły syntetyczne słodziki o dużej mocy słodzącej, niektóre z nich przewyższają tysiące razy słodkość cukrozy. W Unii Europejskiej dopuszczono do użycia siedem słodzików intensywnie słodzących. Nawet nie zdajemy sobie sprawy z tego, jak powszechnie dodawane są one do produktów spożywczych wytwarzanych przemysłowo w celu wzbogacenia smaku i uatrakcyjnienia potraw. Znane są też substancje setki tysięcy razy słodsze od cukrozy; jak na razie niedopuszczone do spożycia. Słodkość jest odczuciem subiektywnym – różnie odczuwamy zarówno jej moc, jak i jakość. Przez niektórych ludzi uznawana jest za kryterium nieszkodliwości, co nie odpowiada prawdzie, znane są bowiem toksyczne substancje o słodkim smaku, np. *glikol etylenowy* czy *galaktitol*.

Warto zdawać sobie sprawę z tego, że produkty naturalne są zwykle skomplikowaną mieszaniną różnych związków, np. w skład mąki, miodu, mleka, aromatu piwa i wielu innych produktów może wchodzić kilkadziesiąt, a nawet kilkaset związków chemicznych. W użyciu są związki naturalne bardzo czyste. Cukroza, zwana również sacharozą, cukrem buraczanym lub trzcinowym, czyli poczciwy cukier powszechnie stosowany do słodzenia, jest produktem o wyjątkowej czystości; zawarte w nim zanieczyszczenia nie przekraczają 0,05%. Nawet wysokiej klasy odczynniki chemiczne o czystości analitycznej

rzadko osiągają taką jednorodność. Można stwierdzić, że ta popularna substancja, powszechnie dostępna w sklepach, należy do najczystszych i najtańszych organicznych związków chemicznych; jej 1 g kosztuje pół centa.

Składniki *tuszców* – *kwasy tłuszczowe* – odgrywają ważną rolę w przemianie materii i stanowią jeden z podstawowych składników pożywienia. Poglądy w sprawie ich udziału w diecie ulegały ciągłym i dość radykalnym zmianom. Był czas, kiedy tłuste jedzenie było cenione najwyżej. Potem przysła moda na unikanie tłuszczów, szczególnie tych zawierających nasycone kwasy tłuszczowe. Później pojawiły się głosy, że kwas stearynowy nie należy do tych najbardziej szkodliwych, ponieważ w organizmach ssaków ulega desaturacji do kwasu oleinowego, a ten uważany jest przecież za najcenniejszy składnik diety śródziemnomorskiej, chroniący ludzi przed zawałem serca. Ostatnio mówi się, że niskocząsteczkowe nasycone kwasy tłuszczowe (występują np. w maśle) również nie są tak szkodliwe, jak do niedawna sądzono. Obok wielu diet proponowanych do obniżenia wagi ciała lansowane są zalecenia spożywania wyłącznie białek oraz tłuszczów (bez cukrów). Ułatwiają one utrzymanie smukłej sylwetki, ale czy są korzystne dla zdrowia? Na pewno wydają się atrakcyjne, ponieważ pozwalają na delectowanie się boczkami, golonką, ciemnym mięsem, dużymi ilościami masła i wielu innymi smacznymi, choć „zakazanymi” przez innych dietetyków pokarmami. Jestem przekonany, że dietetycy jeszcze nie raz zrobią nam mętlik w głowach.

Problemem związanym z dietą jest niewątpliwie głód. Towarzyszył on ludziom i zwierzętom cały czas, chociaż wraz z rozwojem cywilizacji i udoskonaleniem sposobów przechowywania żywności stawaliśmy się w coraz większym stopniu niezależni od klęsk żywiołowych – głównej przyczyny głodu. W skali globu jednak nadal daleko jest do całkowitego uwolnienia się od tego nieszczęścia. Wiele narodów Afryki, Azji i Ameryki Południowej cierpi na brak pożywienia, pomimo że w innych częściach świata występuje nadprodukcja żywności. Jej nadmiar też sprawia problem, ponieważ przechowywanie zapasów żywności jest bardzo kosztowne. Do niedawna głód był jednym z bardzo skutecznych narzędzi oddziaływania politycznego. Wywoływany celowo, ułatwiał rządzenie despotom, za cenę tragedii narodów. W Związku Radzieckim w czasie *wielkiego głodu* wywołanego celowo przez władze na przełomie lat 1932. i 1933. z głodu zginęło 6 milionów ludzi, z czego 4 miliony na Ukrainie. Jeszcze w latach 50. i 60. ubiegłego wieku głód zbierał ogromne żniwo w Chinach. Nadal przerażenie budzą filmy pokazujące głodujące dzieci w Etiopii, Somalii, Korei Północnej i w wielu innych krajach. Zdarza się również w Polsce, że dzieci mdleją z głodu, a ludzie starsi cierpią z niedożywienia.

Do lipidów, oprócz tłuszczów, fosfolipidów, wosków i ich pochodnych można zaliczyć też takie substancje, jak *tetrahydrokanabinole* – psychoaktywne składniki konopi. Są one przedmiotem wielu kontrowersji. Niewątpliwie wprowadzone do powszechnego użycia mogą wyrządzić dużo zła, tak jak inne narkotyki. Znajdują jednak coraz większe zastosowanie jako leki i pojawia się coraz więcej zwolenników legalizacji tego typu psychotropów. Oczywiście większość narkotyków wywodzi się nie z lipidów, ale z alkaloidów, przy czym nie wszystkie alkaloidy są narkotykami.

Alkaloidy zawsze budziły grozę. Przez tysiąclecia były wykorzystywane do wykonywania wyroków śmierci; do tego celu stosowano na przykład wywar z cykuty lub szaleju.

Strychninę używano do skrytobójczego usuwania niewygodnych osób, a *kurarę* do zatrucia broni. *Pavulon* – cenny lek, który niedawno okrył się złą sławą wskutek użycia przez pozbawionych ludzkich uczuć pracowników pogotowia ratunkowego, został zsyntezowany na wzór kurary i ma do niej podobne zdolności paraliżowania mięśni. Chemia alkaloidów rozwija się bardzo szybko, odkrywane są coraz to nowe związki zaliczane do tej grupy, poznano ich już kilkadziesiąt tysięcy.

Dużo uwagi w książce poświęciłem *narkotykom* i powodowanym przez nie zagrożeniom. Przeprowadziłem analizę przyczyn zagrożeń ze strony tych znanych i stosowanych od tysięcy lat psychoaktywnych substancji. Nasuwa się pytanie: dlaczego dopiero teraz, od drugiej połowy XX wieku stały się one plagą rozwiniętych społeczeństw, przekleństwem i nieszczęściem milionów ludzi, zarówno biorących, ich najbliższych, jak i postronnych? Do tych nieszczęść przyczyniły się między innymi rządy państw, w tym tych największych, a więc USA i ZSRR, które dostarczały narkotyki swoim żołnierzom. Dla niektórych państw narkotyki stanowią główne źródło zasilania budżetu. Wielki dochód narkobiznesu, porównywalny z dochodem przemysłu naftowego, dostarcza środki na korumpowanie polityków i policji w krajach cywilizowanych. Na przestrzeni tysiącleci narkotyki były wykorzystywane przede wszystkim podczas obrzędów religijnych i teraz niejednokrotnie służą jako substytut głębokich wzruszeń, stanowią surogat szczęścia. Duży wpływ na rozwój narkomanii miał postęp cywilizacyjny, który uwolnił ludzi od dużego wysiłku fizycznego, a to właśnie zmęczenie stymuluje organizm do wydzielania endorfin i innych endogennych czynników zapewniających prawidłowe funkcjonowanie organizmu. Narkomania to choroba, a narkomani potrzebują pomocy i leczenia, gdyż sami nie są w stanie powrócić do zdrowia. W książce podjąłem temat uzależnienia, tolerancji, głodu narkotycznego i problemów związanych z leczeniem uzależnień.

Narkotyki są nie tylko przyczyną nieszczęść, służą także w lecznictwie – nie ma leków skuteczniejszych od nich w terapii przeciwbólowej. Takie same lub podobne substancje endogenne, czyli wytwarzane przez organizm, decydują o naszej psychice, samopoczuciu i kształtowaniu uczuć – bez nich życie byłoby nie do zniesienia. To *fenyloetyloamina* bierze aktywny udział w kreowaniu uczucia zwanego miłością, a zdolność do wytwarzania *peptydów opioidowych* gwarantuje utrzymywanie długotrwałej przyjaźni. Dlaczego więc ta sama fenyloetyloamina lub jej analogi w tabletkach ekstazy działają destrukcyjnie, a nawet zabójczo? Odpowiedź jest prosta – organizm wytwarza psychoaktywne substancje w bardzo małych ilościach i one precyzyjnie trafiają do miejsc przeznaczenia, czyli do receptorów, a dawki psychotropów wprowadzanych z zewnątrz są często miliony razy większe i rozchodzą się po całym organizmie, wywołując szkody w miejscach, do których nie powinny dotrzeć.

W grupie *steroidów* dużo emocji budzi *cholesterol*, substancja, która z jednej strony jest czempionem wśród pozostałych związków naturalnych, była bowiem podstawą przyznania wielu nagród Nobla i innych prestiżowych wyróżnień, a z drugiej strony wywołuje obawy, wręcz przerażenie. Jako składnik błony komórkowej znajduje się w każdej komórce zwierzęcej, a w mózgu stanowi 10–15% jego suchej masy. Z niego organizm wytwarza inne związki niezbędne do życia, takie jak hormony płciowe, kortykosteroidy, kwasy żółciowe czy witaminę D. Przysparza jednak trosk i obaw osobom dbającym o swoje