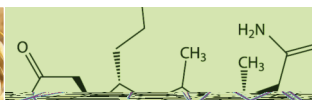


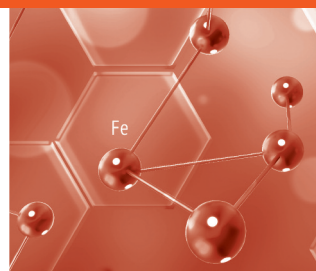
Zywienie zwierząt i paszoznawstwo ^{tom} I

Fizjologiczne i biochemiczne podstawy żywienia zwierząt



NOWE WYDANIE

pod redakcją
Doroty Jamroz



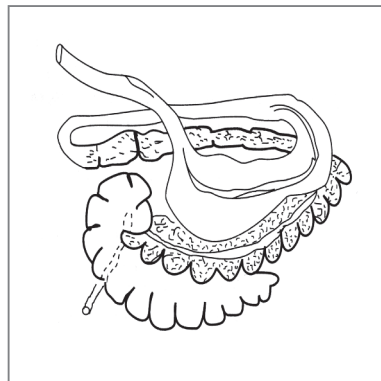
Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo

AUTORZY:

Jan Barteczko, Lucyna Buraczewska, Stanisław Buraczewski,
Andrzej Chwalibóg, Adam Cieślak, Paweł Górka, Dorota Jamroz,
Damian Józefiak, Julian Kamiński, Zygmunt M. Kowalski,
Andrzej Potkański, Ewa Sawosz-Chwalibóg, Stefania Smulikowska,
Małgorzata Szumacher-Strabel, Stanisław Wójcik, Aleksandra Ziotecka,
Barbara Zwierko-Pastuszewska

Zywienie zwierząt i paszoznawstwo ^{tom} I

Fizjologiczne i biochemiczne podstawy żywienia zwierząt



pod redakcją
Doroty Jamroz

Projekt okładki i stron tytułowych *Przemysław Spiechowski*

Ilustracje na okładce

Timur Kulgarin/Shutterstock

Fotokostic/Shutterstock

Stoom/Shutterstock

Tracey Patterson/Shutterstock

MDOGAN/Shutterstock

Ariene Studio/Shutterstock

Michael G McKinne/Shutterstock

Macrovector/Shutterstock

Ivan Kireiev/Shutterstock

chromatos/Shutterstock

Wydawca *Małgorzata Nawrot*

Redaktor *Krystyna Kruczyńska*

Produkcja *Mariola Grzywacka*

Łamanie *ALINEA*

Wydanie książki zostało dofinansowane przez Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Zakład Doświadczalny Żywnienia Zwierząt w Gorzynie

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 2001, 2015

ISBN 978-83-01-18227-4 t. 1

ISBN 978-83-01-14279-7 t. 1-3

Wydanie 2 zmienione

Warszawa 2015

Wydawnictwo Naukowe PWN S.A.

02-460 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2

infolinia 801 33 33 88

tel. 22 69 54 321; faks 22 69 54 288

e-mail: pwn@pwn.com.pl; www.pwn.pl

Druk i oprawa: Pabianickie Zakłady Graficzne SA

PRZEDMOWA

Ciągle, często dynamiczne zmiany szeroko pojętego środowiska — klimatu, zanieczyszczenia wód, powietrza, funkcjonowania kompleksów glebowych, technologii produkcji roślinnej — wpływają nie tylko na wegetację i wartość pokarmową roślin uprawnych stanowiących bazę paszową dla zwierząt użytkowych, ale także na warunki utrzymywania zwierząt. Zmieniają się cele chowu i hodowli zwierząt. Ich doskonalenie genetyczne wymaga także coraz większej precyzji w żywieniu i formułowaniu dawek pokarmowych. W organizmie zwierzęcia odbywa się fenomen przetwarzania roślinnego pokarmu na produkty konsumpcyjne o najwyższej wartości pokarmowej dla człowieka.

Żywnienie jest jednym z najsilniej oddziałujących czynników środowiskowych, jest narzędziem sterowania wzrostem i rozwojem, rozrodem, zdrowiem, składem chemicznym i jakością produktów mleka, mięsa i jaj. Wreszcie koszty żywienia i pasz decydują o ekonomicznych efektach produkcji zwierzęcej.

Trzytomowy kompleksowy podręcznik *Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo* opracowany przez specjalistów — pracowników naukowych ośrodków akademickich wyższych uczelni i instytutów naukowych — zawiera informacje dotyczące podstaw fizjologii i biochemii żywienia zwierząt oraz potrzeb pokarmowych różnych gatunków grup użytkowych i wiekowych zwierząt gospodarskich i hobbyistycznych. Przedstawiono szczegółowe zasady żywienia zwierząt, a także charakterystykę i wartość pokarmową pasz oraz omówiono dodatki paszowe.

W kolejnym wydaniu podręcznika uwzględniono aktualny stan wiedzy oraz uwarunkowania żywienia zwierząt wynikające z rozwoju nauki, a także z przepisów prawnych obowiązujących w Unii Europejskiej. Autorzy pozostają z nadzieją, że z tej wiedzy skorzystają studenci wydziałów biologii i hodowli zwierząt, bio-

technologii, medycyny weterynaryjnej, wydziałów rolniczych, pracownicy ośrodków doradztwa rolniczego, specjaliści z zakresu produkcji pasz przemysłowych i dodatków paszowych, hodowcy i producenci mięsa, mleka, jaj i ryb. Również dla miłośników zwierząt towarzyszących i dla hobbystów uwzględniono podstawowe informacje dotyczące żywienia ich ulubieńców.

Za wszystkie uwagi i dostrzeżone usterki będziemy wdzięczni.

W imieniu autorów
prof. dr hab. *Dorota Jamroz*

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	5
1. SKŁADNIKI CHEMICZNE PASZ I ICH ZNACZENIE DLA ORGANIZMU ZWIERZĄT	13
1.1. Woda i jej rola biologiczna	13
• <i>Julian Kamiński</i>	
1.2. Węglowodany (cukrowce)	15
1.2.1. Monosacharydy (cukry proste)	16
1.2.2. Oligosacharydy	18
1.2.3. Polisacharydy	19
1.2.3.1. Polisacharydy skrobiowe	20
1.2.3.2. Polisacharydy nieskrobiowe	21
1.2.3.3. Lignina i inne substancje strukturalne	24
1.3. Tłuszczowce (lipidy)	27
1.3.1. Kwasy tłuszczowe	28
1.3.2. Tłuszcze proste	32
1.3.3. Tłuszcze złożone	34
1.3.4. Pochodne tłuszczowców	35
1.3.5. Wskaźniki charakteryzujące jakość tłuszczu	39
1.4. Białka i inne związki azotowe	40
• Stanisław Buraczewski	
1.4.1. Aminokwasy	41
1.4.1.1. Budowa aminokwasów	41
1.4.1.2. Podział aminokwasów	42
1.4.1.3. Właściwości i reakcje aminokwasów	46

1.4.1.4.	Aminokwasy niezbędne	47
1.4.1.5.	Skład aminokwasowy pasz i dawek	50
1.4.1.6.	Strawność białka pasz i wchłanianie aminokwasów	52
1.4.2.	Peptydy	53
1.4.3.	Białka	54
1.4.3.1.	Klasyfikacja białek	54
1.4.3.2.	Białko pasz	57
1.4.4.	Związki azotowe niebiałkowe	57
1.4.4.1.	Aminokwasy niebiałkowe	58
1.4.4.2.	Kwasy nukleinowe	58
1.4.4.3.	Alkaloidy	59
1.4.4.4.	Glikozydy	60
1.4.4.5.	Glukozynolany	60
1.4.4.6.	Inne związki niebiałkowe	61
1.4.5.	Związki azotowe nieorganiczne	61
1.5.	Składniki mineralne	62
	• <i>Dorota Jamroz</i>	
1.5.1.	Wapń (Ca)	64
1.5.2.	Fosfor (P)	68
1.5.3.	Magnez (Mg)	71
1.5.4.	Potas, chlor, sód	72
1.5.5.	Siarka (S)	74
1.5.6.	Mikroelementy i pierwiastki śladowe	75
1.5.7.	Metale toksyczne	89
1.6.	Witaminy	91
	• <i>Stanisław Wójcik</i>	
1.6.1.	Rodzaje witamin	92
1.6.2.	Struktury chemiczne i cechy fizyczne	92
1.6.3.	Mierniki ilościowe	94
1.6.4.	Działanie witamin w organizmie zwierząt	94
1.6.5.	Ewolucja stosowania witamin	96
1.6.6.	Wrażliwość witamin na czynniki środowiskowe	97
1.6.7.	Nazewnictwo witamin	98
1.6.8.	Witamina A	100
1.6.9.	Kalcyferole — witamina D	103
1.6.10.	Tokoferole — witamina E	105
1.6.11.	Menadion — witamina K	107
1.6.12.	Tiamina — witamina B ₁	108
1.6.13.	Ryboflawina — witamina B ₂	110
1.6.14.	Niacyna — witamina B ₃	111
1.6.15.	Kwas pantotenowy — witamina B ₅	113
1.6.16.	Pirydoksyna — witamina B ₆	114
1.6.17.	Biotyna — witamina H	115
1.6.18.	Kwas foliowy	116

1.6.19. Cyjanokobalamina — witamina B ₁₂	117
1.6.20. Kwas askorbinowy — witamina C	119
1.6.21. Substancje traktowane jako witaminy	120
1.7. Antyżywieniowe i toksyczne składniki pasz	122
• <i>Dorota Jamroz</i>	
2. BUDOWA PRZEWODU POKARMOWEGO ZWIERZĄT GOSPODARSKICH	134
• <i>Julian Kamiński</i>	
2.1. Przewód pokarmowy świni	136
2.2. Przewód pokarmowy konia	142
2.3. Budowa przewodu pokarmowego kury	146
2.4. Budowa przewodu pokarmowego przeżuwaczy	150
3. POBRANIE, TRAWIENIE I WCHŁANIANIE	157
• <i>Zygmunt Maciej Kowalski</i>	<i>157</i>
3.1. Pobranie paszy	157
3.1.1. Regulacja mechaniczna pobrania paszy	160
3.1.2. Regulacja fizjologiczna pobrania paszy	161
3.1.3. Inne czynniki decydujące o pobraniu paszy	164
3.2. Trawienie	166
3.2.1. Enzymy trawienne	168
3.2.2. Trawienie u zwierząt jednożołądkowych	170
3.2.2.1. Trawienie w jamie gębowej	170
3.2.2.2. Trawienie w żołądku	171
3.2.2.3. Trawienie w jelicie cienkim	173
3.2.2.4. Trawienie w jelicie grubym	176
3.2.2.5. Trawienie u drobiu	177
3.3. Wchłanianie	179
3.3.1. Wchłanianie cukrów	180
3.3.2. Wchłanianie białek	180
3.3.3. Wchłanianie tłuszczów	181
3.3.4. Wchłanianie wody, składników mineralnych oraz witamin	182
3.4. Trawienie i wchłanianie składników pokarmowych u przeżuwaczy	183
3.4.1. Trawienie węglowodanów w żwaczu	188
3.4.2. Przemiany składników azotowych w żwaczu	194
3.4.3. Przemiany tłuszczów w żwaczu	202
3.4.4. Trawienie i wchłanianie w jelicie cienkim przeżuwaczy	206
3.5. Metody oznaczania strawności składników pokarmowych	209
3.5.1. Metody <i>in vivo</i>	210
3.5.1.1. Metoda bilansowa, czyli klasyczna	210
3.5.1.2. Metoda wskaźnikowa	212
3.5.1.3. Strawność pozorna i rzeczywista	214
3.5.1.4. Badania strawnościowe u drobiu	215

3.5.2.	Metody woreczków nylonowych	215
3.5.3.	Metody laboratoryjne (metody <i>in vitro</i>)	216
3.5.4.	Szacowanie współczynników strawności na podstawie składu chemicznego paszy (metody matematyczne)	219
3.6.	Czynniki wpływające na strawność składników pokarmowych	221
4.	PRZEMIANA MATERII I ENERGII	228
4.1.	Przemiana węglowodanów	228
	• <u>Stanisław Buraczewski</u> , <i>Lucyna Buraczewska</i>	
4.1.1.	Synteza glukozy	229
4.1.2.	Rozkład glukozy	229
4.1.3.	Cykl kwasów trikarboksylowych	233
4.1.4.	Cykl pentozofosforanowy	236
4.1.5.	Synteza glikogenu i laktozy	237
4.1.6.	Przemiany u przeżuwaczy	239
4.2.	Przemiana tłuszczowców	241
	• <i>Stefania Smulikowska</i>	
4.2.1.	Przemiana lipidów, rozkład, synteza	241
4.2.2.	Niezbędne kwasy tłuszczowe	247
4.2.3.	Dynamika odkładania tłuszczu	249
4.2.4.	Wpływ jakości tłuszczu paszy na jakość i skład odłożonego tłuszczu	251
4.2.5.	Skład tłuszczu mleka	252
4.2.6.	Zakłócenia w przemianie tłuszczów	254
4.2.7.	Tolerancja na tłuszcz	255
4.2.8.	Zapotrzebowanie na tłuszcz	256
4.3.	Przemiana białek	257
	• <i>Lucyna Buraczewska</i> , <u>Stanisław Buraczewski</u>	
4.3.1.	Biosynteza i rozkład aminokwasów	257
4.3.2.	Biosynteza i rozkład białek	263
4.3.3.	Zapotrzebowanie na białko	268
	4.3.3.1. Zapotrzebowanie bytowe	270
	4.3.3.2. Zapotrzebowanie produkcyjne	272
4.3.4.	Bilans azotu	283
	• <i>Barbara Pastuszewska</i>	
4.3.5.	Metody oceny wartości odżywczej (biologicznej) białka	286
4.3.6.	Optymalne profile aminokwasów w diecie dla zwierząt monogastrycznych — „białko idealne”	291
	• <i>Dorota Jamroz</i>	
4.4.	Przemiana energii	299
	• <i>Andrzej Chwalibóg, Ewa Sawosz Chwalibóg</i>	
4.4.1.	Wprowadzenie do bioenergetyki	299
4.4.2.	Procesy kataboliczne	301
	4.4.2.1. Utlenianie węglowodanów	302

4.4.2.2.	Utlenianie tłuszczu	303
4.4.2.3.	Utlenianie białka	305
4.4.3.	Procesy anaboliczne	307
4.4.3.1.	Wydatek energii na syntezę węglowodanów	307
4.4.3.2.	Wydatek energii na syntezę tłuszczu	308
4.4.3.3.	Wydatek energii na syntezę białka	309
4.4.4.	Pomiary przemiany energii	311
4.4.4.1.	Kalorymetryczne metody określania produkcji ciepła	311
4.4.4.2.	Metoda RQ (respiratory quotient — współczynnik oddechowy)	314
4.4.4.3.	Metoda CN (bilans węgla i azotu)	316
4.4.4.4.	Oszacowanie produkcji ciepła metodą podwójnie znakowanej wody	318
4.4.4.5.	Inne metody oznaczania bilansu energii	319
4.4.5.	Podział energii w organizmie	320
5.	PRZEMIANY SKŁADNIKÓW MINERALNYCH	326
	• <i>Dorota Jamroz</i>	
5.1.	Absorpcja i wydalanie, dostępność składników mineralnych	326
5.2.	Tworzenie rezerw i mobilizacja składników mineralnych	330
5.3.	Współzależności między składnikami mineralnymi (synergistyczne i antagonistyczne działanie)	332
5.4.	Metody określania zapotrzebowania zwierząt na składniki mineralne	334
5.5.	Zawartość składników mineralnych w dawkach dla różnych gatunków zwierząt — zapotrzebowanie na makro- i mikroelementy	336
6.	ŻYWIENIOWE METODY OGRANICZANIA SKAŻENIA ŚRODOWISKA NATURALNEGO	340
	• <i>Adam Cieślak, Małgorzata Szumacher-Strabel, Damian Józefiak, Andrzej Potkański</i>	
6.1.	Emisja gazów cieplarnianych	340
6.2.	Emisja azotu i fosforu	344
6.2.1.	Zwierzęta przeżuwające	344
6.2.2.	Zwierzęta nieprzeżuwające	345
7.	SYSTEMY OCENY WARTOŚCI POKARMOWEJ PASZ I ZAPOTRZEBOWANIA ZWIERZĄT	349
7.1.	Historia systemów i mierników wartościowania pasz	349
	• <i>Aleksandra Ziotecka</i>	
7.2.	Systemy oceny wartości pokarmowej pasz i zapotrzebowania u przeżuwaczy	357
	• <i>Zygmunt Maciej Kowalski</i>	
7.2.1.	Systemy oceny wartości energetycznej pasz i zapotrzebowania zwierząt przeżuwających	357
7.2.2.	Wartość energetyczna pasz dla przeżuwaczy według francuskiego systemu INRA	359

7.2.3.	Zapotrzebowanie energetyczne zwierząt przeżuwających	363
7.2.4.	Systemy oceny wartości pokarmowej białka pasz i zapotrzebowania zwierząt przeżuwających	366
7.2.5.	Wartość pokarmowa białka pasz według francuskiego systemu INRA	368
7.2.6.	Zapotrzebowanie zwierząt na BTJ	372
7.2.7.	MetTJ %BTJE i LizTJ %BTJE — dodatkowe jednostki systemu białkowego INRA	374
7.2.8.	System wypełnienia w systemie INRA	376
7.2.8.1.	Wartość wypełnieniowa pasz	376
7.2.9.	Zdolność pobrania paszy	378
7.3.	Systemy wartościowania energii i białka dla świń	380
	• <i>Stanisław Buraczewski</i>	
7.3.1.	Wartość energetyczna pasz dla świń	380
7.3.2.	Wartość białka dla świń	388
7.4.	Określenie zapotrzebowania na energię i białko u koni	390
	• <i>Aleksandra Ziotecka</i>	
7.4.1.	Zapotrzebowanie koni na energię	390
7.4.2.	Zapotrzebowanie koni na białko	392
7.5.	Systemy oceny wartości pokarmowej i zapotrzebowania u drobiu	394
	• <i>Jan Barteczko</i>	
7.6.	Systemy oceny wartości pokarmowej i zapotrzebowania u zwierząt futerkowych	403
7.7.	Systemy oceny wartości pokarmowej i zapotrzebowania u psów i kotów	408
7.8.	Systemy oceny wartości pokarmowej i zapotrzebowania u ryb	413
8.	NUTRIGENOMIKA	417
	• <i>Zygmunt M. Kowalski, Paweł Górka</i>	
8.1.	Definicje	418
8.2.	Nutrigenomika, czyli poszukiwanie diety optymalnej	420
8.3.	Mechanizmy wpływu składników pokarmowych na ekspresję genów	421
8.4.	Narzędzia nutrigenomiki	424
8.5.	Przykład wykorzystania techniki DNA microarray w badaniach nutrigenomicznych na zwierzętach	425
SKOROWIDZ	429

Rozdział 1

SKŁADNIKI CHEMICZNE PASZ I ICH ZNACZENIE DLA ORGANIZMU ZWIERZĄT

1.1. Woda i jej rola biologiczna

Julian Kamiński

W procesie tworzenia się na planecie Ziemia materii nieorganicznej i organicznej woda powstała zapewne jako jeden z pierwszych związków chemicznych. Jej uniwersalne właściwości fizykochemiczne miały decydujący wpływ na kierunek rozwoju i organizację wyższych form życia na naszej planecie. Udowodniono ponad wszelką wątpliwość, iż woda jest jednym z najważniejszych atrybutów życia i że bez jej obecności żadna forma materii na kuli ziemskiej nie przejawia oznak życia w biologicznym znaczeniu tego słowa. Istnieje w tym względzie pełna zgodność wśród badaczy powstania życia na Ziemi, że pierwsze formy materii ożywionej rozwinęły się w wodzie. Do chwili obecnej pozostaje ona jedynym środowiskiem, w którym zachodzą procesy określone wspólnym mianem *in vivo*.

W organizmach zwierzęcych woda spełnia wielorakie funkcje. Bierze udział w tworzeniu płynów ustrojowych odpowiedzialnych za transport jonów i składników odżywczych do komórek oraz usuwaniu końcowych produktów przemiany materii na zewnątrz organizmu. Jest uniwersalnym rozpuszczalnikiem dla wszystkich związków organicznych i mineralnych, tworzy środowisko, w którym przebiegają wszystkie reakcje biochemiczne i fizjologiczne związane z procesami anabolicznymi i katabolicznymi. Wysoka pojemność cieplna wody, jak również duży wydatek energetyczny przy jej parowaniu sprawiają, że jest ona doskonałym regulatorem temperatury zwierząt stałocieplnych. Pozwala im to na bytowanie w warunkach ekstremalnych w różnych strefach klimatycznych naszego globu. Na równiku i w rejonach do niego przyległych temperatura otoczenia bardzo często jest wyższa niż ciepłota ciała zwierzęcia i wtedy odprowadzanie nadmiaru ciepła z organizmu odbywa się jedynie poprzez parowanie wody. Z kolei w strefach klimatycznych, gdzie temperatura spada bardzo znacznie poniżej ciepłoty ciała, woda, będąc głównym składnikiem krwi, rozprowadza ciepło po całym organizmie, działając na zasadzie centralnego ogrzewania.

Woda stanowi od 60 do 75% masy ciała zwierząt. Jej zawartość w organizmie zależy od wieku, stanu otłuszczenia, stężenia elektrolitów, wodochłonności kolloidów i poziomu adenozyntrifosforanu. Woda nie jest równomiernie rozmieszczona we wszystkich tkankach ustroju. Mięśnie są najbardziej uwodnione i zawierają około 80%, tkanka tłuszczowa 45%, kości 32%, a w zębach jest tylko 5% wody.

Bilans wodny dorosłego człowieka zakłada obieg 2,8 kg wody w ciągu doby, u krowy zaś o masie ciała 500 kg i wydajności 25 kg mleka wynosi on od 40 do 50 kg. Koń o masie 450 kg pobiera w ciągu doby od 15 do 30 kg wody.

Zwierzęta zaopatrują się w wodę, pobierając ją z paszą oraz w postaci pójła, a także korzystając z wody endogennej, która powstaje w wyniku utleniania w organizmie tłuszczu, cukrów i białka. W trakcie utleniania 100 g tłuszczu powstaje 107 g wody, ze 100 g cukrów — 56 g wody, natomiast przy spalaniu 100 g białka powstaje jedynie 41 g wody. Ilość wody syntetyzowanej na tej drodze stanowi 12% jej dobowego obiegu w organizmie, dlatego też ilość wody przyjmowanej przez ustrój jest mniejsza od wydalanej. Najwięcej wody wydalają organizm przez nerki w postaci moczu, następnie z kałem oraz przez płuca i skórę w postaci pary wodnej czy potu.

Na gospodarkę wodną organizmu zwierzęcego mają wpływ liczne układy i hormony, jak również stan fizjologiczny oraz żywienie. Dużą rolę odgrywa układ nerwowy współczulny i przywspółczulny. Pobudzenie pierwszego zmniejsza wydalanie wody, podczas gdy podrażnienie układu przywspółczulnego zwiększa je. Głównym regulatorem zawartości wody w organizmie jest układ wydzielania wewnętrznego. Tyroksyna, hormon syntetyzowany przez tarczycę, zwiększa wymianę wodną. Odwadniająco działa również parathormon. Niski poziom kortykosteroidów powoduje nadmierne usuwanie wody z organizmu. Do hormonów zmniejszających wydalanie wody przez nerki należą oksycytyna i wazopresyna, natomiast adrenalina po ukazaniu się we krwi początkowo hamuje wydalanie wody, aby następnie je zwiększyć. Cięża i laktacja przyczyniają się do zwiększenia zawartości wody w ustroju, natomiast nadmierne otłuszczenie prowadzi do zmniejszenia procentowej zawartości wody w tuszy. Przykładem tego są tuczniki o masie ciała powyżej 120 kg, u których procentowa zawartość wody może się obniżyć nawet do 55%.

Ujemny bilans wodny bardzo często występuje podczas schorzeń przewodu pokarmowego, gdy zwierzęta wymiotują lub mają biegunkę bądź moczówkę. Może wtedy dojść do odwodnienia organizmu powodującego utratę nawet 15–20% wody, a wtedy następuje śmierć zwierzęcia.

Istnieje duże zróżnicowanie gatunkowe odnośnie do oszczędnego gospodarowania wodą i odporności organizmu na jej niedobór. Najodporniejszy z przeżuwaczy jest wielbłąd. Dzięki oszczędnej gospodarce wodnej (niewielka ilość gruczołów potowych w skórze, niska wilgotność odchodów i zwiększona synteza wody endogennej z tłuszczu) może on żyć bez pobierania wody nawet do 12 dni. Odporne na niedobór wody są również owce. Podobnie jak wielbłądy, należą one do zwierząt pustynno-stepowych, u których wykształciły się, prawdopodobnie

na drodze ewolucyjnej, mechanizmy oszczędnego gospodarowania wodą. Do ssaków, które wykazują wielką rozrzutność w gospodarce wodnej, należy świnia. Brak okrywy włosowej zwiększa parowanie przez skórę. Zwierzęta te wydalają duże ilości wody z moczem w stosunku do masy ciała, a ich kał zawiera 20–40% suchej masy.

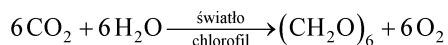
Zapotrzebowanie zwierzęcia na wodę określone jest ilością pobrania suchej masy z pasz w ciągu doby. Tak więc: świnie potrzebują 5–6 kg wody na jeden kg suchej masy, konie i bydło — 3 kg, drób — 2,5 kg, natomiast owce — 1,5 kg wody.

Woda, którą poimy zwierzęta, powinna odpowiadać takim samym kryteriom, jakich przestrzega się przy przeznaczaniu jej do celów spożywczych. Przyjmuje się, że w porze letniej woda powinna działać ochładzająco, a w okresie zimowym nie powinna mieć temperatury niższej niż panująca w pomieszczeniu dla zwierząt. Woda używana do pojenia (bez przetworzenia) musi być wolna od bakterii chorobotwórczych, może zawierać niewielką ilość drobnoustrojów nieszkodliwych. Powinna być bezbarwna, przezroczysta, wolna od metali ciężkich i związków trujących, takich jak sole arsenu, cyjanku, fenole i siarkowodor. Nie powinna zawierać substancji powodujących korozję urządzeń — przewodów, zbiorników i poidel automatycznych. Woda przeznaczona do pojenia zwierząt powinna podlegać okresowym analizom na zawartość metali ciężkich oraz chlorków, azotanów i grup siarczanowych.

1.2. Węglowodany (cukrowce)

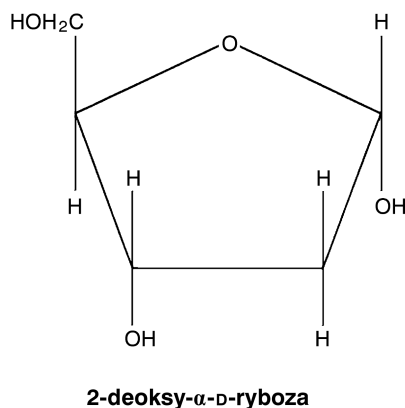
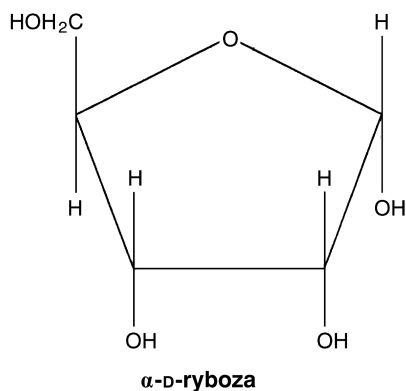
Nazwą tą objęte są wszystkie związki organiczne zbudowane z węgla, tlenu i wodoru, lecz nie zawsze wodór i tlen w tych związkach występują w takim stosunku jak w wodzie, czyli na dwa atomy wodoru przypada jeden atom tlenu — $C_nH_{2n}O_n$. Jednakże w przyrodzie istnieją związki, których przynależność do grupy cukrowców nie budzi wątpliwości, a mimo to występujące w nich atomy wodoru i tlenu nie układają się w takim stosunku jak w wodzie. Przykładem tego mogą być deoksycukry, takie jak deoksyryboza czy ramnoza. Z kolei spotyka się związki mające sumaryczne wzory o podobnym stosunku węgla, wodoru i tlenu jak w cukrowcach, a nie mające ich właściwości (kwas octowy i mlekowy).

Pod względem chemicznym węglowodany są wielohydroksyaldehydami lub wielohydroksyketonami, lub pochodnymi tych związków. Związki te powstają w roślinach zielonych z dwutlenku węgla i wody w złożonym procesie fotosyntezy, gdzie w obecności chlorofilu dochodzi do reakcji chemicznej z udziałem energii słonecznej wg wzoru:



W reakcji tej powstaje węglowodan i 6 cząsteczek tlenu zasilających atmosferę ziemską.

Węglowodany stanowią grupę związków szeroko rozpowszechnionych w przyrodzie. Są głównym składnikiem organizmów roślinnych, a i w pewnym



Rys. 1.1. Wzory strukturalne rybozy i deoksyrybozy

węglowodanów przy wyzwaniu energii. Stanowi ponadto substrat w syntezie witaminy C. Wolna glukoza występuje w osoczu krwi zwierząt i ludzi w ilościach od 0,06% u przeżuwaczy do 0,18% u ptactwa domowego, u człowieka stanowi około 0,12%.

Fruktoza występuje głównie w świecie roślinnym. W stanie wolnym spotyka się ją w owocach, miodzie, krwi płodowej i w plazmie nasienia zwierząt. W formie związanej jest obecna w sacharozie, rafinozie i w inulinie (bulwy topinamburu). Należy do najstarszych cukrów występujących w przyrodzie.

Galaktoza w stanie wolnym występuje niezmiernie rzadko, a jeżeli już, to raczej u osobników dotkniętych defektem genetycznym polegającym na braku enzymów przekształcających ją w glukozę w organizmach osesków i wtedy pojawia się we krwi (galaktozemia) i w moczu (galaktozuria). W formie związanej występuje w cukrze mleka laktozie, w rafinozie, stachiozie oraz w wielu polisacharydach i heterosacharydach, takich jak: galaktany, hemicelulozy, składniki agaru, a także w pektynach, gumach i śluzach roślinnych.

Mannoza należy do heksoz rzadko występujących w przyrodzie w stanie wolnym. Wykryto ją jedynie w skórkach pomarańczy. Natomiast bierze udział w two-

rzeniu takich wielocukrów, jak mannany, galaktany i galaktomannany występujące obficie w ścianach komórkowych i gumach roślinnych. W organizmach zwierzęcych wchodzi w skład budowy glikolipidów i glikoprotein. Mannoza, w przeciwieństwie do glukozy i galaktozy, jest bardzo źle przyswajana przez organizm zwierzęcy.

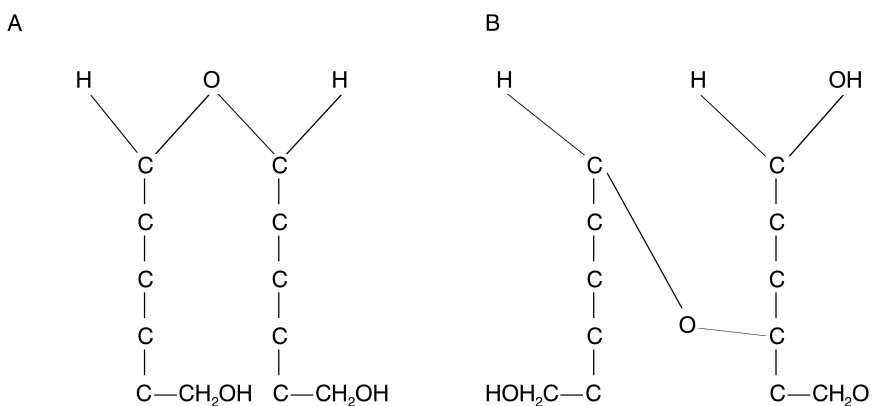
1.2.2. Oligosacharydy

Powstają przez łączenie dwóch, trzech lub czterech cukrów prostych z wydzielaniem cząsteczki wody. Wytworzone wiązanie między jednostkami cukrów nazywa się O-glikozydowym. W przypadku aldoz łączenie następuje przez atom C-1, ketoz C-2.

Ze względu na charakter łączenia rozróżnia się dwa typy dwucukrowców:

A — powstałe przez połączenie się glikozydowych (aldehydowych) grup OH obu cukrów prostych,

B — powstałe przez połączenie grupy aldehydowej (OH) jednego cukrowca z grupą alkoholową cukrowca drugiego.



Rys. 1.2. Wzory wiązań glikozydowego (A) i aldehydowego (B)

W pierwszym typie wiązania dochodzi do zablokowania obu wolnych grup glikozydowych, przez co dwucukry takie nie przejawiają izomerii typu „, ani też mutarotacji. Cukry takie nie wykazują właściwości redukcyjnych i nie tworzą osazonów. Reprezentantami tego typu wiązań w przyrodzie są sacharoza, trehaloza i ich pochodne — rafinoza i stachioza. W drugim typie wiązania zostaje wolna grupa aldehydowa, przez co taki dwucukier przejawia właściwości izomerii „, „, mutarotacji, redukuje roztwór Fehlinga i tworzy osazon. Dwucukrowcami przejawiającymi powyższe właściwości są: maltoza, celobioza i laktoza.

Do ważniejszych dwu- i trzycukrów występujących w przyrodzie należą:

Sacharoza jest -D-fruktofuranozylo- . D-glukopiranozydem (1→2). Nazywa się ją inaczej cukrem trzcinowym lub buraczanym, a to z tego powodu, że jest

w tych roślinach materiałem zapasowym. Z tych roślin pozyskuje się prawie 100% światowej produkcji sacharozy. Cukier ten, obok skrobi, stanowi podstawowy składnik energetyczny diety ludzi i zwierząt. Sacharoza poddana hydrolizie za pomocą kwasów lub enzymu inwertazy daje jednakowe ilości D-glukozy i D-fruktozy. Mieszanina tych dwóch monozy jest znana pod nazwą cukru inwertowanego, ponieważ jest lewoskrętna, podczas gdy sacharoza skręca światło spolaryzowane w prawo. Cukier ten jest głównym składnikiem miodu pszczelego.

Maltoza jest zbudowana z dwóch cząsteczek α -D-glukopiranozylo-(1 \rightarrow 4)- β -D-glukopiranozy. Jest to dwucukier redukujący, praktycznie nie występuje w stanie wolnym. Powstaje w wyniku łagodnej hydrolizy enzymatycznej skrobi w przewodzie pokarmowym zwierząt monogastrycznych i człowieka oraz w kiełkujących ziarnach i nasionach.

Celobioza zbudowana jest z dwóch cząsteczek β -(1 \rightarrow 4)-glikozydowych. Jest dwucukrem redukującym, nie występuje w stanie wolnym. Można ją otrzymać w trakcie łagodnej hydrolizy celulozy. Cukier ten odróżnia się od maltozy jedynie typem wiązania glikozydowego. W organizmach zwierząt roślinożernych (przeżuwacze i koniowate) powstaje w przedżołądkach i jelicie grubym pod wpływem celulaz bakteryjnych, a następnie jest rozkładany przez β -glukozydazę do glukozy, która jest wykorzystywana przez te zwierzęta jako dodatkowe źródło energii.

Laktoza jest cukrem występującym w mleku ssaków. Syntetyzuje ją gruczoł mlekowy z D-galaktozy i D-glukozy. Chemicznie jest β -D-galaktopiranozylo-(1 \rightarrow 4)- β -D-glukopiranozydem. Jest dwucukrem redukującym, pięciokrotnie mniej słodkim niż sacharoza. W przewodzie pokarmowym zwierząt i ludzi ulega rozkładowi do monozy pod wpływem β -galaktozydazy. Synteza tego enzymu odbywa się w ścianie jelita cienkiego i jest indukowana obecnością laktozy.

Spośród trójcukrowców na wzmiankę zasługuje **rafinoza**. Jest to α -D-galatozydo-6- β -D-glukozydo- β -fruktofuranozyd. Cukier ten nie ma właściwości redukujących. Występuje dość powszechnie w soku wielu roślin.

1.2.3. Polisacharydy

Są to złożone związki organiczne zbudowane z wielu cząsteczek cukrów prostych połączonych za pomocą wiązań glikozydowych. Masa cząsteczkowa wielocukrów wynosi od kilkudziesięciu tysięcy do kilku milionów daltonów (Da). Należą do związków trudno rozpuszczalnych, choć niektóre z nich tworzą z wodą roztwory koloidalne. Polisacharydy zbudowane z cząsteczek jednego monocukrowca nazywamy homoglikanami. Jeśli w budowie uczestniczą różne monosacharydy, wówczas przyjmują nazwę heteroglikanów. Wielocukry zbudowane z heksoz zwą się heksozanami, a z pentoz — pentozanami.

Niezwykle praktyczny z żywieniowego punktu widzenia jest podział wielocukrów ze względu na ich skrobiowe lub nieskrobiowe pochodzenie.

1.2.3.1. Polisacharydy skrobiowe

Jest to niezbyt liczna grupa wielocukrów rozpuszczalnych w wodzie, odznaczających się dużą strawnością w przewodzie pokarmowym ludzi i zwierząt. Stanowią materiał zapasowy roślin i zwierząt. Do tej grupy, oprócz skrobi, należą inulina i glikogen.

Skrobia jest polimerycznym węglowodanem zbudowanym z wielu jednostek α -D-glukozowych. W jej skład wchodzi dwa rodzaje: amyloza i amylopektyna. Amyloza jest liniowym polimerem zbudowanym z cząsteczek α -D-glukozy połączonych ze sobą wiązaniami α -(1 \rightarrow 4). Tak wytworzony łańcuch może ulegać zwinięciu w podwójną helisę. Jej masa cząsteczkowa waha się od 30 do 60 tys. Da. Druga część składowa skrobi — amylopektyna jest rozgałęzionym polimerem α -D-glukozy o średniej masie cząsteczkowej 400 tys. Da. Cząsteczki α -D-glukozy w łańcuchu głównym są połączone wiązaniami α -(1 \rightarrow 4)-glukozydowymi, natomiast w łańcuchach rozgałęzionych występują połączenia typu α -(1 \rightarrow 6) i α -(1 \rightarrow 3). Stosunek amylozy do amylopektyny w skrobi jest uwarunkowany genetycznie i wynosi w ziarnach zbóż oraz w ziemniakach od 1: 3,5 do 1:5. W niektórych odmianach kukurydzy zawartość amylopektyny w skrobi dochodzi nawet do 98%.

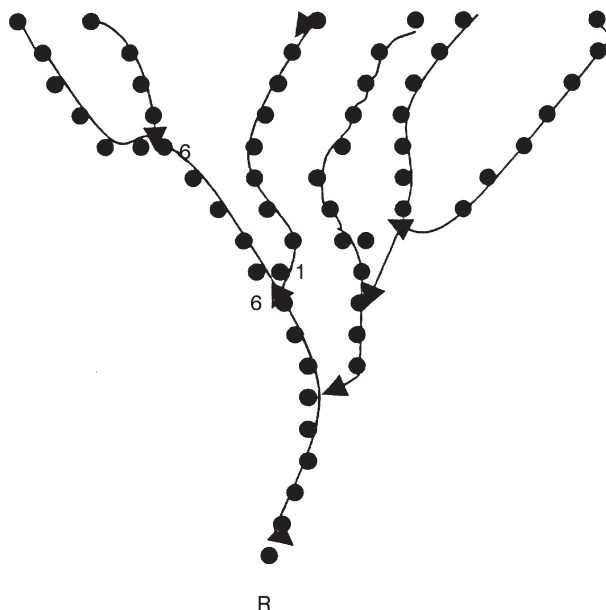
Skrobia jest najbardziej rozpowszechnionym węglowodanem zapasowym w świecie roślin. W komórkach roślinnych tworzy ziarna skrobiowe otoczone błoną lipidowo-białkową. Najwięcej skrobi, bo ponad 50% suchej masy, zawiera ziarno zbóż i kukurydzy oraz bulwy ziemniaka. Zawierają ją także niektóre nasiona roślin bobowatych, jak soja, groch, bobik, bób oraz fasola. Brak natomiast skrobi w nasionach lufki.

Skrobia pokrywa ponad 50% zapotrzebowania na energię u ludzi i zwierząt. Jest łatwo przyswajalna przez przewód pokarmowy; odznacza się wysokim współczynnikiem strawności dochodzącym u świń do 90%. Jednak skrobia jest trawiona przez świnie tylko po skleikowaniu.

Inulina jest wielocukrowcem zbudowanym z β -D-fruktofuranozy. Poszczególne cząstki są połączone między sobą wiązaniem β -2 \rightarrow 1-glikozydowym. Jest wielocukrem zapasowym roślin występującym głównie w kłączach kosaćca, bulwach topinamburu, korzeniach mniszka pospolitego oraz w korzeniach cykorii. Niezwykle ilości tego wielocukrowca występują również w trawach. Inulina, w przeciwieństwie do skrobi i glikogenu, nie stanowi poważniejszego źródła energii w odżywianiu się ludzi i zwierząt. Odgrywa jednak pewną rolę przy zakiszaniu zielonek z traw, stanowiąc podłoże dla procesów fermentacyjnych bakterii kwasu mlekowego.

Glikogen, zwany inaczej „skrobią” zwierzęcą, jest jedynym polisacharydem zapasowym w organizmie zwierzęcym. Jego głównym miejscem składowania jest wątroba, gdzie u osobników dobrze odżywionych może stanowić od 5 do 15% jej masy. Glikogen odkłada się również w mięśniach szkieletowych, gładkich, w mięśniu serca i w mózgu. Stanowi wprawdzie tylko 0,4–1% masy mięśni, jednak ogólna ilość glikogenu w nich zawarta wielokrotnie przewyższa zapasy znajdujące się w wątrobie.

Glikogen budową przypomina amylopektynę występującą w skrobi, jednak różni się od niej większym stopniem rozgałęzień. W jego skład wchodzi reszty α -D-glukopiranozydowe połączone wiązaniami reszt α -(1→4)-glikozydowymi. W odstępach 8–12 reszt glukozowych następuje rozgałęzienie łańcucha połączone wiązaniem α -(1R→6).



Rys. 1.3. Budowa glikogenu

Masa cząsteczkowa glikogenu jest różna i zależy od narządu, z którego pochodzi. Glikogen wątrobowy osiąga wielkość 3 miliardów daltonów, podczas gdy mięśniowy nie przekracza 3 milionów. Poziom glikogenu w ciele zwierzęcia regulują dwa hormony — insulina i glukagon + adrenalina. Pierwszy powoduje jego odkładanie, pozostałe zwiększają rozpad do glukozy.

1.2.3.2. Polisacharydy nieskrobiowe

Do tej grupy zalicza się cukrowce występujące w paszach roślinnych, które w przeciwieństwie do polisacharydów pochodzenia skrobiowego są odporne na działanie hydrolaz wytwarzanych w przewodzie pokarmowym ssaków. W budowie przestrzennej cukrowców występują zarówno łańcuchy liniowe, jak i rozgałęzione. Monomerami składowymi wielocukrów nieskrobiowych są aldoheksozy (D-glukoza, D-galaktoza, D-mannoza) i aldopentozy (L-arabinoza, D-ksyloza) oraz kwasy uronowe: D-galakturonowy i D-glukuronowy.

Większość polisacharydów nieskrobiowych występujących w roślinach stanowi budulec ścian komórkowych (celuloza, ksylany, arabiniany, ksyloglukany). Na-

tomiast cukrowce, takie jak mannany, fruktany, galaktomannany i pektyny oraz rozpuszczalne frakcje α -glukanu, stanowią lepsze przestrzeni międzykomórkowych.

Rozkład polisacharydów nieskrobiowych do monomerów następuje w wyniku działania enzymów hydrolitycznych, wytwarzanych przez mikroflorę i mikrofaunę (bakterie, grzyby, pierwotniaki oraz niektóre bezkręgowce). Zachodzi to w przyrodzie, przy utylizacji szczątków roślin, a także w przewodzie pokarmowym zwierząt roślinożernych (przeżuwacze, konie), w efekcie działania enzymów mikroflory bytującej w przedżołądkach i w jelicie grubym.

Obecność poszczególnych polisacharydów w pożywieniu w znacznym stopniu oddziałuje na funkcję przewodu pokarmowego. Cukrowce, takie jak β -glukany, pektyny czy arabinoksyłany, ze względu na ich duże powinowactwo do wody, zwiększają lepkość treści pokarmowej w jelitach, utrudniając jej przesuwanie oraz wchłanianie strawionego tłuszczu i aminokwasów ze światła jelit do krwi. Ograniczony stopień wchłaniania składników pokarmowych, występujący z reguły u młodych zwierząt monogastrycznych, wpływa na pogorszenie wskaźników produkcyjnych. Dlatego też większość polisacharydów nieskrobiowych, z powodu ich negatywnego oddziaływania na fizjologię trawienia, zaliczana jest do substancji antyodżywczych.

W podstawowej analizie chemicznej pasz i żywności pochodzenia roślinnego posługujemy się dwoma pojęciami do określenia zawartości polisacharydów nieskrobiowych: włóknem surowym i włóknem pokarmowym. Włókno surowe oznaczane metodą Hennenberga–Stohmanna jest sumą związków włóknistych (celuloza, lignina, chityna oraz niektóre frakcje hemicelulozy) odpornych na działanie rozcieńczonych kwasów i zasad. Włókno pokarmowe obejmuje, oprócz składników włókna surowego, pozostałe frakcje polisacharydów nieskrobiowych nie ulegających rozpuszczeniu w naturalnym detergencie, stosowanym jako rozpuszczalnik składników wnętrza komórki w metodzie Van Soesta (NDF).

Do polisacharydów nieskrobiowych zbudowanych z jednego monocukrowca, zwanych homoglikanami, należą: celuloza, α -1 \rightarrow 3 glukany oraz chityna.

Celuloza występuje jako długi, nierozgałęziony łańcuch zbudowany z reszt glukozy połączonej wiązaniami α -1 \rightarrow 4-glikozydowymi. Wiązania wodorowe znajdujące się pomiędzy równoległymi łańcuchami nadają jej strukturę mikrowłókienną. Jest to najbardziej rozpowszechniony w świecie roślinnym polisacharyd o charakterze szkieletowym. Stanowi on połowę materiału, z którego zbudowane są ściany komórkowe roślin, w tym także drzew. Bawełna jest prawie w 100% celulozą i razem z łykiem lnianym stanowi najważniejszy surowiec dla przemysłu włókienniczego. Celuloza jest nierozpuszczalna w wodzie i w rozpuszczalnikach organicznych. Jest także odporna na działanie słabych kwasów mineralnych i zasad. Celuloza jest głównym składnikiem włókna surowego. Ludzie i większość zwierząt monogastrycznych tylko w niewielkim stopniu wykorzystują energię z tego polisacharydu, ponieważ w ich przewodzie pokarmowym nie jest syntetyzowana α -celulaza — enzym rozkładający celulozę. Jej rozkład odbywa się jedynie w wyniku działania mikroorganizmów jelitowych. U zwierząt roślinożernych,

a zwłaszcza przeżuwaczy, dzięki bogatej mikroflorze żwacza, celuloza ulega rozkładowi do glukozy i fermentacji do krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych. Powoduje to, iż strawność celulozy u dorosłych osobników sięga nawet 70%. Bardzo dobrze wykorzystują celulozę koniowate, z powodu bogatej flory bakteryjnej bytującej w jelicie grubym.

β -(1-3)(1-4)→glukany są polisacharydami o budowie zbliżonej do celulozy (rys. 1.4). Występujące w nich -glukozy są w trzech pierwszych resztach cukrowych połączone wiązaniami -1→4-glikozydowymi. Następna, czyli czwarta cząsteczka -glukozy, wytwarza wiązanie -1→3, po czym następują znowu trzy wiązania -1→4. Cykliczność tego typu powtarza się na całej długości łańcucha liniowego. Ta niezbyt duża zmiana w budowie chemicznej powoduje, iż cukrowce te różnią się od celulozy zarówno właściwościami fizycznymi, jak i chemicznymi. -glukany są związkami hydrofilnymi, pęczniejącymi w środowisku wodnym, zwiększając jego lepkość. W stanie wolnym związki te występują jedynie w roślinach, gdzie biorą udział w budowie ścian komórkowych lub tworzą materiał zapasowy. Najwięcej -glukanów zawiera ziarno zbóż, zwłaszcza jęczmienia, owsa i żyta.

W przewodzie pokarmowym zwierząt monogastrycznych polisacharydy te nie są trawione z braku endogennej -glukanazy. Chłonąc wodę, zwiększają lepkość treści jelit przez co utrudniona jest perystaltyka i następuje depresja w trawieniu i wchłanianiu tłuszczu oraz innych składników pokarmowych. Są więc związkami antyżywniowymi, zmniejszającymi wykorzystanie paszy, zwłaszcza u młodych zwierząt.

Chityna jest polisacharydem zbudowanym z reszt *N*-acetylo-D-glukozaminy połączonych wiązaniami -1→4-glikozydowymi. Podobnie jak w celulozie, jej łańcuchy nie mają odgałęzień, natomiast pomiędzy równoległymi jednostkami tworzą się wiązania wodorowe, nadając temu wielocukrowcowi budowę włóknistą.

Chityna stanowi podstawowy składnik zewnętrznego szkieletu wielu bezkręgowców. Zbudowany jest z niej pancerz skorupiaków i owadów. Można ją również spotkać w grzybach. Jeśli występuje w organizmach zwierząt, to tylko w połączeniach z białkiem lub z innymi cukrowcami. Ślimaki rozkładają chitynę do *N*-acetylglukozaminy za pomocą enzymu znajdującego się w ich ciele.

Polisacharydy pochodzenia nieskrobiowego, które są zbudowane z różnych monosacharydów, nazywane są heteroglikanami. W skład ich budowy wchodzi zarówno heksozy, jak i pentozy oraz kwasy uronowe – glukuronowy i galakturonowy. Do głównych reprezentantów tej grupy związków należą: hemicelulozy, pektyny, arabinoksylany i mannogalaktany.

Hemicelulozy. Nazwa ta obejmuje wszystkie wielocukry występujące obok celulozy i pektyn w ścianach komórkowych roślin, w których odgrywają rolę substancji nośnych i sklejających. Hemicelulozy są związkami niejednorodnymi chemicznie, mającymi w łańcuchu głównym oraz w bocznym różne reszty cukrowe, zarówno pentozy, jak i heksozy oraz kwas 4-*O*-metylo-D-glukuronowy, występujący wyłącznie w łańcuchu podstawowym. Do monosacharydów występujących najczęściej w hemicelulozach należą: D-ksyloza, D-mannoza, D-galaktoza, . arabinoza oraz kwas 4-*O*-metylo-D-glukuronowy. Spośród hemiceluloz najlepiej po-

znano ksylany i glukoksylany, będące głównym składnikiem ścian komórkowych roślin okrytozalążkowych. Dużo tego heterosacharydu spotyka się w drewnie i słomie oraz w łodygach traw. Hemicelulozy, zwłaszcza te nierozpuszczalne, tworzą masę włókna surowego i pokarmowego (rys. 1.4 i 1.5).

Pektyny. Substancje pektynowe, zwane inaczej pektynami, stanowią mieszaninę wielocukrowców, a kwas D-galakturonowy stanowi ich główny składnik. Z niego zbudowany jest łańcuch główny połączony wiązaniami typu β -(1 \rightarrow 4) glukozydowymi, w których nie występują rozgałęzienia. Łańcuch boczny również zawiera kwas D-galakturonowy, do którego dołączone są reszty cukrowe: ramnozy, arabinozy, ksylozy i fukozy. Pektyny występują w mięksiszu owoców mięsistych. Niektóre z nich mogą tworzyć z jonami dwuwartościowymi sole nierozpuszczalne w wodzie, zwane pektynianami. Pektyniany te spotykamy w blaszce środkowej między sąsiadującymi komórkami. Protopektyna jest także cukrowcem nierozpuszczalnym w wodzie i współtworzy strukturę ściany komórkowej. Jest obok celulozy głównym składnikiem włókna surowego.

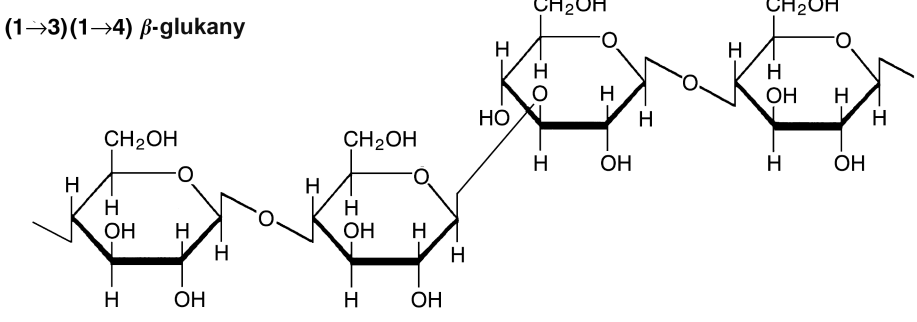
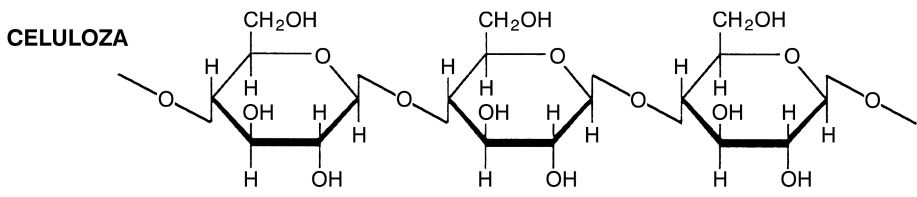
Arabinoksylany, zbudowane z cząsteczek pentoz: D-ksylozy i D-arabinozy, występują w postaci długich, często rozgałęzionych łańcuchów. Ich szczegółowa budowa nie jest jeszcze dokładnie poznana. Zdolność rozkładania pentozanów mają enzymy mikroorganizmów, pod których działaniem następuje hydroliza w zważu zwierząt przeżuwających oraz w jelicie grubym zwierząt monogastrycznych. W przewodzie pokarmowym tych ostatnich pentozany, podobnie jak β -glukany, reagując z wodą, zwiększają lepkość treści pokarmowej, upośledzając tym samym procesy trawienia i wchłaniania składników pokarmowych. Duże ilości arabinoksylianów występują w ziarnie żyta; znacznie mniej jest ich w pszenicy i pszenicy.

Mannogalakty są zbudowane z heksoz: D-mannozy i D-galaktozy. Mechanizm oddziaływania tych związków na fizjologię przewodu pokarmowego zwierząt monogastrycznych jest podobny jak w przypadku β -glukanów i pentozanów. Mannogalakty należą do kompleksu niestrawnych węglowodanów pasz roślinnych. Cukrowce te występują głównie w nasionach roślin strączkowych oraz w surowcach roślinnych zawierających gumy (guar). Szczegółowa budowa i oddziaływanie tych związków na organizmy zwierząt są jeszcze mało znane.

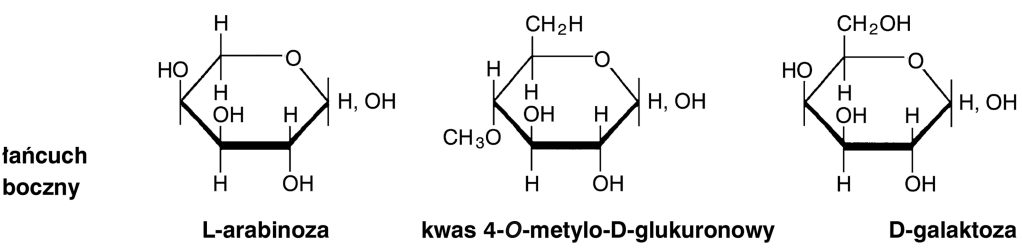
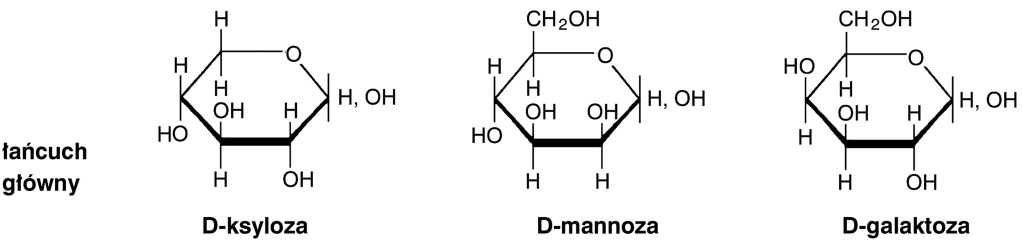
1.2.3.3. Lignina i inne substancje strukturalne

Lignina nie jest cukrowcem, jednakże ze względu na jej duże powinowactwo do tych związków bywa w tej grupie omawiana. Jest ona trójwymiarowym polimerem zbudowanym z około 40 podjednostek fenoli, między którymi występują bardzo mocne wiązania, czyniąc z niej substancję o dużej zwartości. Głównymi fenolami występującymi w ligninie są: koniferylowy, synapilowy i kumarylowy.

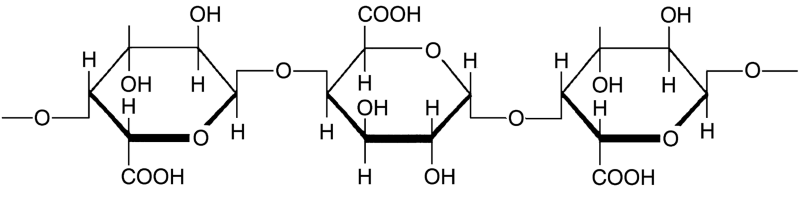
Lignina jest związkiem nierozpuszczalnym ani w wodzie, ani w rozcieńczonych kwasach mineralnych i zasadach, nie ulega trawieniu w przewodzie pokarmowym zwierząt. W roślinach, a zwłaszcza w drzewach, stanowi materiał podporowy drewna. Wchodzi szczególnie łatwo w połączenia z cukrowcami, takimi jak celuloza, arabinoksylany, a również przyłącza cukry proste. W takim kom-



HEMICELULOZY

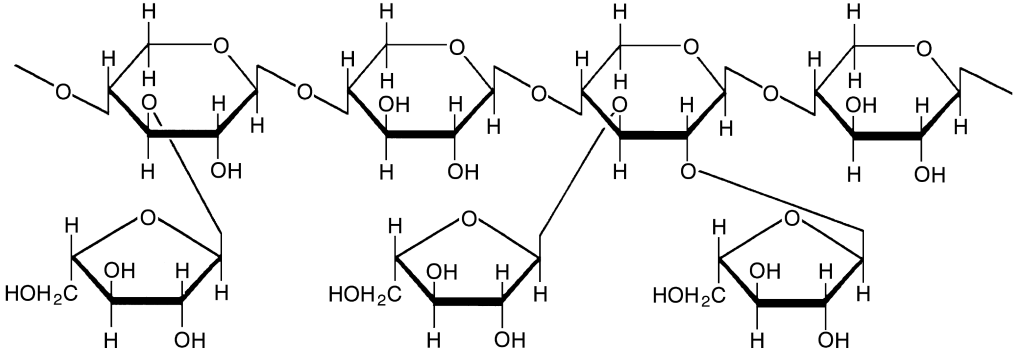


PEKTYNY

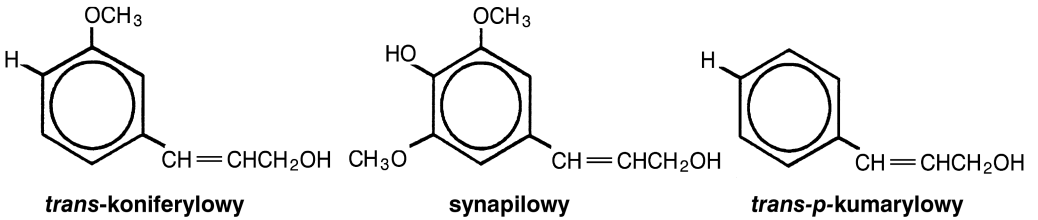


Rys. 1.4. Wzory strukturalne niektórych polisacharydów nieskrobiowych

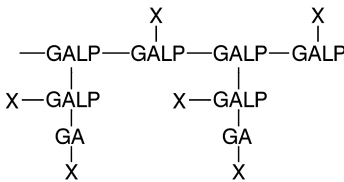
ARABINOKSYLAN



ALKOHOLE W LIGNINIE



GUMA ARABSKA



X: L-ramnopiranoza
GA: kwas glukuronowy
GALP: galaktopiranoza

Rys. 1.5. Wzory strukturalne niektórych składników włókna pokarmowego

pleksie ligninowo-cukrowym występuje wiele typów wiązań, od eterowych, estrowych poprzez wiązania O- lub C-glikozydowe. Kompleksy ligninowo-cukrowe występują głównie w zdrewniałych ścianach komórkowych drzew, roślin, a nawet grzybów.

Literatura

- Buraczewska L., 2001. Fibre components negatively affect ileal protein digestibility in pigs. *J. Anim. Feed Sci.* 10, Suppl. 1, 139–152.
- Działoszyński L., 1968. *Zarys biochemii zwierząt*. PWN, Warszawa.
- Hanczkowski P., Koreleski J., Wolski T., 2001. *Składniki pokarmowe i antyodżywcze występujące w roślinach*. Instytut Zootechniki, Kraków.
- Harper A.H., 1969. *Review of physiological chemistry*. USA-California.

- Kulka K., 1998. Elementy biochemii statycznej. (W:) *Biochemia kręgowców*, red. W. Minakowski i S. Weidner, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kupryszewski G., 1979. *Wstęp do chemii organicznej*. PWN, Warszawa.
- Mc Donald P., Edwards R.A., Greenhalgh J.F.D., Morgan C.A. 2001, *Animal Nutrition*. Preutice Hall Pearson Education.
- Morrison R.T., Boyd R.N., 1985. *Chemia organiczna*. T. 1–2. PWN, Warszawa.
- Priza M.W., 1997. Conjugated linoleic acid, a newly recognised nutrient. *Chemistry and Industry*, 16.06.1997.
- Strzeżek J., Kulka K., 2005. Elementy biochemii statycznej. (W:) *Biochemia kręgowców*, red. W. Minakowski, S. Weidner, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Stryer L., 1997. *Biochemia*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Truchliński J., Wójcik S., 1993. *Przewodnik do ćwiczeń z biochemii z elementami fizyki*. Wyd. AR w Lublinie.
- Veterinary Nutrition and Dietetics*, 2008. 1st Edition Ed. Fekete s.g. Pro Scientia Veterinaria Hungarica.

1.3. Tłuszczowce (lipidy)

Nazwa ta obejmuje grupę różnych związków zarówno pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego, które rozpuszczają się w rozpuszczalnikach organicznych, takich jak: eter, benzen, chloroform, benzyna czy alkohol.

Tłuszczowce są ważnymi składnikami komórek i tkanek organizmów żywych. Pełnią zarówno funkcje energetyczne, jak i strukturalne. Z chemicznego punktu widzenia są to estry alkoholi i wyższych kwasów tłuszczowych lub też związki mające zdolność tworzenia estrów. W skład ich budowy wchodzi węgiel, wodór i tlen, a niektóre z nich zawierają ponadto fosfor i azot. Wysoka zawartość węgla i wodoru w cząsteczce przy małej ilości tlenu sprawia, że tłuszczowce odznaczają się najwyższą koncentracją energii spośród wszystkich związków organicznych wytworzonych przez organizmy żywe.

Rozmieszczenie lipidów w różnych częściach roślin i organizmów zwierzęcych nie jest jednakowe. Pod tym względem istnieje swego rodzaju specjalizacja gatunkowa. Najwięcej tłuszczowców, jako materiału zapasowego, odkłada się w nasionach roślin oleistych (np. rzepak — 40% w suchej masie) i w nasionach niektórych roślin strączkowych (soja do 30% zawartości suchej masy) oraz wilczomleczowatych (rącznik 38% tłuszczu w s.m.). W ciele zwierząt najwięcej tłuszczu gromadzi się pod skórą i powłokami brzuszными. Do gatunków odkładających duże ilości tłuszczu, dochodzące nawet do 40% masy ciała, należą foki i wieloryby, a ze zwierząt lądowych świnia.

Ze względu na wielką różnorodność tłuszczowców występujących w świecie ożywionym ich klasyfikacja i podział nastroczą biochemikom wiele trudności. Spośród dotychczas przedstawionych najbardziej nowoczesna i zgodna ze współczesną terminologią jest klasyfikacja lipidów podana w *Biochemii kręgowców* pod redakcją W. Minakowskiego i S. Weidnera (1998).

Powyższa klasyfikacja dzieli tłuszcze na trzy grupy, uwzględniając ich budowę chemiczną.

Grupę I stanowią lipidy proste, czyli estry kwasów tłuszczowych i alkoholi. Rozróżnia się w niej dwie podgrupy:

- I.1. Tłuszcze właściwe — triacyloglicerole, które są estrami kwasów tłuszczowych i glicerolu.
- I.2. Woski — estry wyższych kwasów tłuszczowych i alkoholi jednowodorotlenowych o długim łańcuchu węglowodorowym.

Grupę II stanowią tłuszcze złożone — substancje, w których skład, oprócz alkoholi i kwasów tłuszczowych, wchodzi związek zarówno pochodzenia organicznego, jak i mineralnego. Również w tej grupie można wyróżnić co najmniej dwie podgrupy:

- II.1. Fosfolipidy — tłuszcze zawierające kwas ortofosforowy w postaci mono- lub diestru.
 - II.1.1. Glicerofosfolipidy, które są pochodnymi kwasu fosfoglicerynowego, mającymi przynajmniej jedną grupę *O*-acylową lub *O*-alkilową związaną z glicerolem.
- II.2. Glikolipidy — związki zawierające resztę cukrową połączoną z częścią tłuszczową wiązaniem glikozydowym.
 - II.2.1. Glikoglicerolipidy (erekozydy i gangliozydy). Są to związki zawierające oprócz glikolipidów reszty glicerolowe.
 - II.2.2. Glikosfingolipidy — substancje nie zawierające glicerolu. Mają za to przynajmniej jedną resztę cukrową i sfingozynę, przez co zwie się je glikozylosfingoidami.

W skład grupy III wchodzi związki pochodne tłuszczowców lub związki im towarzyszące. Do grupy tej są zaliczane: karotenoidy, tetrole, terpeny oraz witaminy rozpuszczalne w tłuszczach. Większość tych związków nie ulega zmydleniu.

1.3.1. Kwasy tłuszczowe

Kwasy tłuszczowe są stałymi składnikami wszystkich tłuszczów i stąd wywodzi się ich nazwa. Większość kwasów tłuszczowych zbudowana jest w postaci prostego łańcucha, który zawiera od 2 do 34 atomów węgla. Z reguły każdy kwas tłuszczowy ma parzystą liczbę tego pierwiastka w łańcuchu alifatycznym. Wynika to z tego, że synteza tych związków w organizmach żywych przebiega poprzez łączenie się dwuwęglowych reszt acetylo-CoA.

Naturalne kwasy tłuszczowe mają zazwyczaj jedną grupę karboksylową na końcu łańcucha węglowodorowego. Kwasy o budowie rozgałęzionej lub nieparzystej liczbie węgla w cząsteczce spotyka się w przyrodzie bardzo rzadko i na ogół w ilościach śladowych. Wyjątek stanowią krótkołańcuchowe kwasy o nieparzystej liczbie węgla, takie jak kwas propionowy oraz pokrewne związki — kwas pirogromowy i mlekowy należące do keto- i oksykwasów, odgrywające istotną rolę w metabolizmie cukrów. Ponadto, kwasy octowy, propionowy, masłowy i izowalerianowy, powstające w wyniku różnych typów fermentacji glukozy przez bakterie, stanowią bardzo ważną grupę tzw. krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych.

Są one obecne zarówno w przedżołądkach przeżuwaczy, jak i w jelicie grubym zwierząt monogastrycznych. Zawierają je również pasze poddawane konserwacji przez zakiszenie.

Nazewnictwo kwasów tłuszczowych wyprowadza się od nasyconych lub nienasyconych węglowodorów alifatycznych. Została przyjęta nomenklatura podstawnikowa polegająca na tym, iż przed nazwą węglowodoru macierzystego pisze się „kwas”, zaś do samej nazwy dodaje się przyrostek „owy”.

W przypadku kwasów tłuszczowych o nasyconych łańcuchach węglowodorowych przyjmują one nazwy: kwas heksanowy, oktanowy, dekanowy itd. Nazwy nienasyconych kwasów tłuszczowych wyprowadza się podobnie, tylko od węglowodorów nienasyconych, zaznaczając numer atomu, przy którym rozpoczyna się wiązanie nienasycone, np. kwas 4-heksenowy, kwas 4-oktenowy itd.

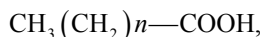
Jednakże oprócz nazw systematycznych w powszechnym użyciu są nazwy zwyczajowe zarówno w przypadku nasyconych, jak i nienasyconych kwasów tłuszczowych. W ostatnich latach wprowadzono nazewnictwo skrótowe w postaci dwóch liczb. Pierwsza określa liczbę atomów węgla w łańcuchu, druga liczbę wiązań nienasyconych.

16:0 — oznacza, że jest to kwas heksadekanowy (palmitynowy),

16:1 — oznacza, że jest to kwas heksadekenowy (palmitoleinowy).

Ponadto przy kwasach wielonienasyconych podaje się numer atomu węgla, przy którym rozpoczyna się nienasylenie, podwójne wiązanie oraz typ izomerii geometrycznej: *c-cis* i *t-trans*.

Kwasy tłuszczowe nasycone mają następujący ogólny wzór chemiczny:



przy czym *n* jest liczbą parzystą, choć od tej reguły zdarzają się wyjątki. Naturalne kwasy tłuszczowe nasycone mają w łańcuchu alifatycznym od 4 do 26 atomów węgla. Kwasy tłuszczowe o większej zawartości atomów węgla w cząsteczce spotyka się w woskach. Nasyconymi kwasami tłuszczowymi najczęściej występującymi w tłuszczach są: kwas palmitynowy (16:0) i stearynowy (18:0). Zawierają je w dość znacznych ilościach zarówno tłuszcze roślinne, jak i zwierzęce. Na przykład olej palmowy zawiera około 45% kwasu palmitynowego. W tłuszczach zwierzęcych dominuje również kwas palmitynowy i stearynowy. Tego ostatniego najwięcej, bo około 30%, znajduje się w łożu bydłęcym i baranim. Oprócz nich w tłuszczach występuje kwas arachidowy (20:0) oraz kwasy o krótszych łańcuchach węglowych, takie jak: laurynowy (12:0) i mirystynowy (14:0). Obydwa te kwasy w stosunkowo wysokim procencie występują w tłuszczu mleka i w niektórych olejach roślinnych, np. oleje kokosowy i palmowy zawierają prawie 50% kwasu laurynowego.

Stosunkowo liczną grupę reprezentują w tłuszczach kwasy mające wiązania etylenowe (nienasycone). Mając wiązania typu dienów, mogą przyjmować izomerię położeniową typu *cis* i *trans*. Kwasy nienasycone występujące w lipidach naturalnych mają konfigurację typu *cis*, która pod wpływem wysokiej temperatury zwykle przechodzi w formę *trans*, zmieniając diametralnie właściwości fizykochemiczne poprzedniego kwasu o konfiguracji *cis*.

W nienasyconych kwasach tłuszczowych ilość wiązań etylenowych (podwójnych) może wynosić od 1 do 2, 3, 4, 5 i 6 w tzw. związkach polienowych. Wiązania nienasycone w związkach polienowych rozmieszczone są w łańcuchu węglowodorowym w taki sposób, że tworzą układy izolowane, tzw. niesprężone. Każde podwójne wiązanie oddzielone jest od następnego przynajmniej jednym wiązaniem nasyconym (CH₂). Jednakże w ostatnich latach odkryto w tłuszczu mleka krowiego sprężone dieny kwasu linolowego.

Sprężony dien kwasu linolowego (SKL) 18:2 (9-*cis*, 11-*trans*) (conjugated linoleic acid — CLA) jest syntetyzowany w przedżołądkach przeżuwaczy przez mikroflorę żwacza. Dotychczasowe badania nad określeniem jego roli w organizmie zwierzęcym wykazały, że różni się on właściwościami od jego macierzystego związku, tj. 18:2 (9-*cis*, 12-*cis*) kwasu oktadekadienowego.

Pośród kwasów monodienowych do najbardziej rozpowszechnionych w przyrodzie należy kwas oleinowy (18:1; 9c). Stanowi on około 40% wszystkich kwasów tłuszczowych występujących w tłuszczach roślinnych i zwierzęcych. Związek ten, tak jak inne kwasy monodienowe, jest syntetyzowany w organizmach wyższych z kwasu stearynowego.

Pośród długołańcuchowych kwasów tłuszczowych z jednym wiązaniem nienasyconym należy wymienić kwas erukowy (22:1; 13c). Jest on głównym składnikiem tłuszczu z nasion tradycyjnych nie uszlachetnionych odmian rzepaku. Kwas ten zaliczany jest do tzw. substancji antyodżywczych występujących w roślinach z rodziny krzyżowych.

Wielonienasycone kwasy tłuszczowe, które występują w tłuszczach roślinnych i zwierzęcych, różnią się między sobą tak pod względem długości łańcucha, jak i liczby wiązań dienowych w cząsteczce. Ponadto, możliwość występowania izomerii położeniowej przy każdym wiązaniu podwójnym dodatkowo powiększa ich liczbę w przyrodzie.

Jak już wspomniano, w tłuszczach naturalnych występują przeważnie kwasy o izolowanym układzie wiązań nienasyconych. Taki układ ma duże znaczenie w procesie utleniania tych związków. Grupa metylenowa między podwójnymi wiązaniami w łańcuchu nabiera dużej reaktywności odnośnie do powinowactwa do tlenu. Prowadzi to do powstania rodników nadtlenkowych wzmagających proces tzw. autooksydacji w komórkach i tkankach zwierzęcych.

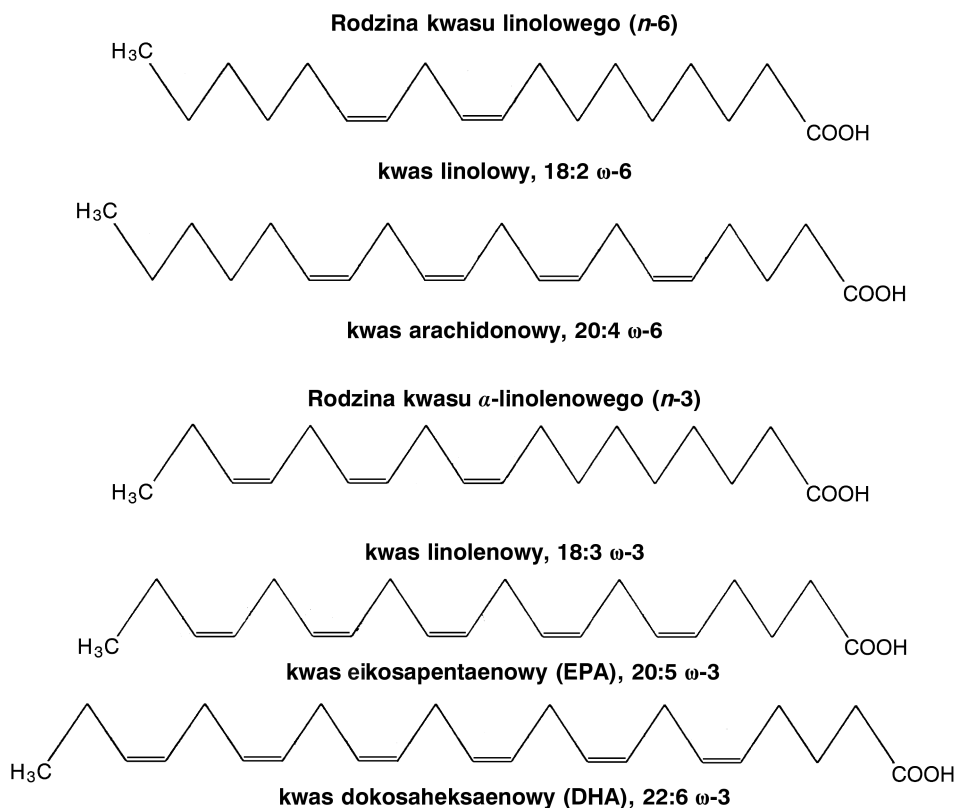
Pośród kwasów wielonienasyconych najpopularniejsze okazały się zwłaszcza kwasy dienowe i trienowe, bardzo dobrze znane pod zwyczajową nazwą kwas linolowy i linolenowy. Są to związki egzogenne dla wyższych organizmów zwierzęcych i człowieka, wytwarzane jedynie w roślinach lądowych i morskich. W wielu podręcznikach z zakresu biochemii i żywienia zwierząt określa się je jako witaminę F. Kwas linolowy (18:2; 9c, 12c) spotyka się niemal we wszystkich tłuszczach. Najwięcej zawierają go tłuszcze roślinne; w oleju słonecznikowym stanowi 30–70% całości kwasów tłuszczowych, a w soi 50–60%.

Z kolei kwas linolenowy (18:3; 9c, 12c, 15c) występuje tylko w nielicznych tłuszczach. Z tłuszczów roślinnych najwięcej zawiera go olej lniany, natomiast w przypadku zwierzęcych — najbogatsze w ten kwas są tłuszcze ryb i ssaków morskich.

Jeżeli zastosujemy w opisie obu tych kwasów specjalną formułę oznaczania pierwszego wiązania nienasyconego przez rozpoczęcie numeracji atomów węgla w cząsteczce od końca wiązania grupy metylowej, to w przypadku kwasu linolowego wiązanie to rozpoczyna się przy węglu 6 (&3, obecnie $n-6$), natomiast w przypadku kwasu linolenowego pierwsze wiązanie przypada przy węglu 3 (&3, obecnie $n-3$). Powyższa klasyfikacja pozwoliła na wyodrębnienie dwóch rodzin kwasów wielonienasyconych wywodzących się bądź to z kwasu linolowego $n-6$, bądź z kwasu linolenowego $n-3$. Oznaczenie $n-3$ lub $n-6$ obowiązuje od paru lat.

Na rysunku 1.6 przedstawiono dwie rodziny nienasyconych kwasów tłuszczowych, które są prekursorami pozostałych niezbędnych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (WNKT). Z kwasu linolowego przez elongację tworzy się bardzo ważny kwas arachidonowy (20:4 $n-6$), który z kolei jest prekursorem syntez prostaglandyn, prostacyklin i innych hormonów tkankowych o działaniu antymiażdżycowym. Dlatego obecność WNKT w diecie ludzi i zwierząt zapewnia prawidłowe funkcjonowanie układu nerwowego i hormonalnego.

Właściwości fizykochemiczne kwasów tłuszczowych w dużym stopniu zależą od długości łańcucha alifatycznego i stopnia nienasycecia. Kwasy tłuszczowe



Rys. 1.6. Formy strukturalne rodzin $n-6$ i $n-3$ wielonienasyconych kwasów tłuszczowych

nasycone charakteryzują się wyższą temperaturą topnienia niż kwasy nienasycone o tej samej liczbie atomów w cząsteczce. Również wraz ze wzrostem atomów węgla zwiększa się hydrofobowość kwasów tłuszczowych, a ich stan skupienia przechodzi od płynności do stanu stałego.

1.3.2. Tłuszcze proste

Zgodnie z podaną poprzednio klasyfikacją, do tłuszczów prostych zaliczane są estry kwasów tłuszczowych i alkoholi. Pierwszą grupę stanowią lipidy właściwe — acyloglicerole, czyli estry kwasów tłuszczowych i glicerolu. Acyloglicerole są estrami wyższych długo- i średniołańcuchowych kwasów tłuszczowych, zarówno nasyconych, jak i nienasyconych, i glicerolu. Jeżeli estryfikacja glicerolu następuje trzema cząsteczkami tego samego kwasu, np. stearynowego, to wtedy powstaje tristearynian glicerolu, jeśli w estryfikacji wszystkich trzech grup alkoholowych bierze udział kwas palmitynowy, to powstaje tripalmitynian glicerolu itd. Tłuszcze roślinne i zwierzęce składają się przeważnie z triacylogliceroli, w których wszystkie grupy alkoholowe zestryfikowane są różnymi kwasami tłuszczowymi. Jednakże w skład powyższych tłuszczów wchodzi również diacyloglicerole lub monoacyloglicerole, w których jedna lub dwie grupy alkoholowe nie są zestryfikowane, są to jednak niewielkie ilości tych związków. W tłuszczach roślinnych zwanych olejami występuje w triacyloglicerolach przewaga kwasów nienasyconych. Natomiast w lipidach zwierzęcych mamy przewagę kwasów tłuszczowych nasyconych, głównie kwasu stearynowego i palmitynowego, które powodują, że tłuszcze te w temperaturze pokojowej są ciałami stałymi.

Rodzaj kwasów tłuszczowych występujących w acyloglicerolach jest cechą gatunkową, genetycznie uwarunkowaną i tylko w niewielkim zakresie można dokonywać zmian w ich składzie czynnikami żywieniowymi. W tłuszczach zapasowych zwierząt wyższych głównie występuje kwas palmitynowy i stearynowy, a więc 16- i 18-węglowe kwasy tłuszczowe nasycone, a z nienasyconych kwas oleinowy (18:1) i linolowy (18:2) oraz palmitylodienowy (16:1).

Dużym urozmaiceniem pod względem składu kwasów tłuszczowych odznaczają się tłuszcze zwierząt morskich. Łańcuchy alifatyczne tych kwasów zawierają od 14 do 22 atomów węgla. Oprócz kwasów 16- i 18-węglowych nasyconych i nienasyconych, tłuszcze te wyróżniają się stosunkowo wysoką zawartością długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych typu $n-3$, takich jak 20:5 i 20:6. Stąd wynika wartość dietetyczna ryb słodkowodnych, a głównie morskich.

Tłuszcze mleka również zawierają wiele zarówno nasyconych, jak i nienasyconych kwasów tłuszczowych z dużą przewagą kwasu palmitynowego (16:0) i oleinowego (18:1). Również w stosunkowo dużych ilościach występują krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe, od masłowego po kwas laurynowy włącznie.

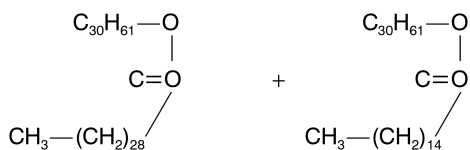
Zawartość tłuszczów właściwych w roślinach jest zróżnicowana i wynosi od 3 do 40% suchej masy. Najwięcej tego składnika zawierają nasiona lnu, rzepaku, soi,

owoce wiesiołka, amarantusa, oliwek, kokosa, nasiona słonecznika oraz orzeszki ziemne. Są to zapasowe tłuszcze roślinne zwane olejami, gdyż po ekstrakcji większość z nich ma postać płynną. Skład kwasów tłuszczowych acylogliceroli zależy od gatunku, a nawet rodziny botanicznej danej grupy roślin. Tłuszcze takich owoców, jak oliwki, palmy olejowej i kokosowej oraz orzeszków ziemnych zawierają przewagę kwasu palmitynowego (16:0) i oleinowego (18:1), natomiast stosunkowo niewielkie ilości NNKT.

Spośród acylogliceroli zawartych w nasionach na podkreślenie zasługuje skład kwasów tłuszczowych oleju lnianego. Ponad 60% ogólnej ilości kwasów stanowi kwas linolenowy (18:3), natomiast w oleju rzepakowym odmian tradycyjnych kwas erukowy (22:1) był dominującym składnikiem.

Tłuszcze, podobnie jak kwasy tłuszczowe, są produktami nietrwałymi. Zarówno wyizolowane, jak i obecne w surowcach pochodzenia roślinnego czy zwierzęcego po pewnym czasie ulegają tzw. jęłczeniu, przez co nie nadają się do konsumpcji ani do dalszego przerobu. Jęłczenie następuje podczas długiego składowania tłuszczu lub produktów zawierających tłuszcze. Do niekorzystnych zmian dochodzi w tłuszczach najczęściej pod wpływem tlenu atmosferycznego, światła, wilgoci lub enzymów wydzielanych przez drobnoustroje. Nieprzyjemny smak i zapach są pierwszym sygnałem świadczącym o zmianach zachodzących w tłuszczu. Szybkość tworzenia się rodników nadtlenkowych w tłuszczach jest wprost proporcjonalna do ilości nienasyconych kwasów tłuszczowych w nich zawartych. Obecność metali ciężkich, promieni ultrafioletowych i zwiększony dostęp tlenu przyspieszają proces autooksydacji tych związków.

Mieszaniny estrów wyższych długołańcuchowych kwasów tłuszczowych zarówno nasyconych, jak i nienasyconych z długołańcuchowymi alkoholami z dodatkiem wolnych kwasów tłuszczowych i węglowodorów alifatycznych nazywamy woskami. Najbardziej znany w przyrodzie jest wosk pszczele. Składa się on z melisynianu mirycylowego i palmitynianu mirycylowego.



Rys. 1.7. Składniki wosku pszczelego

Zdolność do wytwarzania wosków mają również kręgowce, zwłaszcza ssaki, ptaki, a nawet ryby. Czaszki wielorybów zawierają wosk pod nazwą olbrot. Gruczoły łojowe większości zwierząt fermowych wydzielają woski cholesterolowe, czego przykładem może być lanolina — mieszanina nienasyconych kwasów tłuszczowych i sterolu zwierzęcego, wytwarzana w skórze owiec. Woski są dobrym materiałem izolacyjnym i nawilżającym. Czynią skórę elastyczną i nieprzepuszczalną dla mikroorganizmów chorobotwórczych.

1.3.3. Tłuszcze złożone

Nazwą tą objęta jest bardzo liczna grupa związków występujących zarówno w świecie roślinnym, jak i zwierzęcym, o zróżnicowanej budowie i różnych właściwościach fizykochemicznych. Zgodnie z przyjętą klasyfikacją, do tłuszczów złożonych zalicza się wszystkie substancje, w których skład, obok kwasów tłuszczowych i alkoholi, wchodzi jeszcze inne komponenty pochodzenia organicznego lub mineralnego.

Spośród mnogości tych związków następujące zasługują na omówienie z racji roli, jaką spełniają w organizmie zwierząt:

glicerofosfolipidy — zawierające oprócz acyloglicerolu kwas fosforowy i inne komponenty,

sfinhofosfolipidy — zawierające zamiast glicerolu sfingozynę oraz inne komponenty,

glikoglicerolipidy — zawierające oprócz acyloalkoholi cukry proste, glikosfingolipidy, w których glicerol został zastąpiony sfingozyną.

Glicerofosfolipidy stanowią stosunkowo liczną grupę związków biorących udział w budowie błon komórkowych oraz wszystkich organelli wewnątrzkomórkowych zarówno roślinnych, jak i zwierzęcych. Najwięcej fosfolipidów zawierają mitochondria (ok. 20% s.m.). Wiąże się to zapewne z tym, że łańcuch oddechowy zbudowany jest z tych związków, które tworzą tzw. pakieciki ułatwiające przepływ elektronów.

Pod względem budowy chemicznej glicerofosfolipidy są estrami glicerolu i wyższych kwasów tłuszczowych, w cząsteczce mogą być dwa kwasy tłuszczowe, w tym jeden nienasycony. Trzecia grupa alkoholowa połączona jest estrowo z kwasem ortofosforowym, tworząc kwas fosfatydowy. Do glicerofosfolipidów, w których występują wyłącznie wiązania estrowe, należą:

- kwasy fosfatydowe,
- fosfatydyloseryna,
- fosfatydyloetanolamina,
- fosfatydylocholina,
- inozytolofosfolipidy.

Związki te różnią się podstawnikami połączonymi estrowo z kwasem fosforowym. Do grupy tej zaliczane są jeszcze kardiolipiny, w których z reguły dwie cząsteczki kwasu fosfatydowego są związane estrowo z glicerolem.

Fosfoglicerydy, w których występują wiązania mieszane (estrowe i półacetalowe), zwą się plazmalogenami cholinowymi lub kolaminowymi. W związkach tych oprócz acylu i ufosforylowanej choliny lub kolaminy występują reszty enolowe aldehydu palmitynowego lub stearynowego.

Podstawą budowy sfinhofosfolipidów jest długołańcuchowa zasada zwana sfingozyną. Ponadto poprzez wiązania peptydowe przyłączony jest acyl kwasu tłuszczowego (palmitynowego, stearynowego lub lignocerynowego). Poprzez wiązanie estrowe wolna grupa alkoholowa sfingozyny połączona jest z fosfocholimą. Tak

zbudowany sfingofosfolipid zwie się sfingomieliną albo inaczej ceramidem 1-fosfocholiny. Związek ten jest podstawowym budulcem osłonek mielinowych włókien nerwowych. Sfingomieliny tkanki nerwowej mają w swoim składzie acyl kwasu stearynowego, tkanki wątrobowej — kwasu palmitynowego lub lignocerynowego.

Jeżeli w ceramidzie zamiast fosfocholiny podstawnikiem będzie reszta cukrowa, to taki związek nazywa się cerebrozydem. Są to związki wchodzące w skład tkanki nerwowej mózgu. W zależności od rodzaju acylu kwasu tłuszczowego, od którego przyjmuje się ich nazewnictwo, dzielą się na:

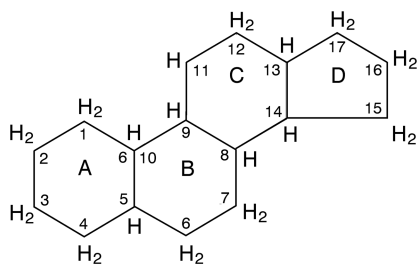
cerebrozydy	acyl kwasu
cerebrony	cerebronowego
kerazyny	lignocerynowego
nerwony	nerwonowego
oksynerwony	oksynerwonowego
sulfolipidy	siarkowego

Wszystkie te związki występujące w różnym procencie (od 40 do 10%) biorą udział w budowie tkanki nerwowej mózgowia.

Z innych glikosfingolipidów należy wymienić sjaoglikosfingolipidy zwane gangliozydami. Różni je od wyżej omówionych obecność kwasu neuraminowego. Ponadto w skład cząsteczki gangliozydów mogą wchodzić dodatkowe heksozy i aminocukry. Związki te występują w substancji szarej mózgu.

1.3.4. Pochodne tłuszczowców

Do pochodnych tłuszczowców zaliczają się omówione już w tym rozdziale kwasy tłuszczowe, glicerol i alkohole długołańcuchowe. Oprócz nich do grupy tej zaliczane są związki, które wprawdzie nie mają wielu właściwości przynależnych tłuszczom, np. nie zmydlają się, a mimo to bywają włączane do lipidów. Jedną z takich grup są steroidy, które mają strukturę cyklopentanoperhydrofenantrenu, czyli steranu. Jest to związek cykliczny składający się z trzech pierścieni benzenowych zwany fenantrenem. Związek ten może przyłączyć 14 wodorów i wówczas powstaje perhydrofenantren, do którego dołącza się reszta cyklopentanu, tworząc cyklopentanoperhydrofenantren.

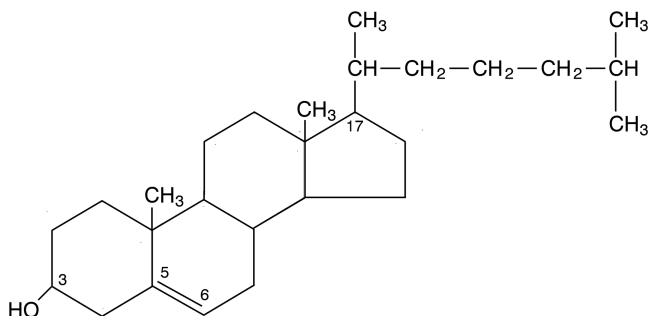


Rys. 1.8. Cyklopentanoperhydrofenantren (steran)

W tak zbudowanym steranie przy węglach 10 i 13 wodory bywają zastąpione podstawnikami metylowymi.

Strukturę steranu ma wiele ważnych steroidów, jak: sterole roślinne i zwierzęce, kwasy żółciowe i hormony steroidowe. Biologicznie ważne steroidy różnią się między sobą bądź to podstawnikami, bądź to wiązaniami nienasyconymi lub przyłączonym do węgla 17 łańcuchem węglowodorowym. Większość steroidów charakteryzuje obecność grupy hydroksylowej lub ketonowej przy węglu 3.

Sterole należą do związków optycznie czynnych, nie ulegają zmydleniu i dzięki temu mogą być wyodrębniane z tłuszczów. Typowym przedstawicielem steroli zwierzęcych jest cholesterol.



Rys. 1.9. Wzór cholesterolu

Występuje on we wszystkich komórkach zwierzęcych, a szczególnie dużo cholesterolu zawiera tkanka nerwowa. Kamienie żółciowe są zbudowane prawie wyłącznie z cholesterolu w powiązaniu z wapniem. Jak to pokazano na rysunku 1.9, jego wzór chemiczny stanowi cyklopentanoperhydrofenantren odpowiednio zmodyfikowany. Przy węglu C-3 zamiast wodoru jest charakterystyczna dla tego związku grupa hydroksylowa, zaś przy C-10 i C-13 podstawnikami są grupy metylowe, natomiast do C-17 podłączona jest reszta węglowodorowa o końcówce izopropylowej, składająca się z ośmiu atomów węgla. Ponadto pomiędzy C-5 a C-6 występuje wiązanie nienasycone. Związek pokrewny cholesterolowi, 7-dehydrocholesterol, różni się od macierzystego dodatkowym wiązaniem nienasyconym przy C-7. Jeżeli cholesterol można uważać za pospolity, endogenny sterol zwierzęcy, to w przypadku 7-dehydrocholesterolu należy mówić o jego egzogenności, jako że nie wszystkie zwierzęta są w stanie go syntetyzować. 7-dehydrocholesterol jest prowitaminą witaminy D₃. Pod wpływem promieni ultrafioletowych i tzw. fazy cieplnej pęka wiązanie między C-9 i C-10, zanika pierścień B, a grupa metylowa przy C-10 przekształca się w grupę metylenową.

Pośród steroli roślinnych najważniejszy ze względu na swoją rolę biologiczną okazał się ergosterol, obecny w drożdżach, grzybach, a nawet wykryto go u dżdżownic i ślimaków. Związek ten różni się od 7-dehydrocholesterolu jedynie dodatkowym wiązaniem nienasyconym występującym w łańcuchu bocznym reszty węglowodorowej pomiędzy C-22 a C-23. Ergosterol jest z kolei prowitaminą witaminy D₂, która powstaje w identyczny sposób, jak opisana powyżej witamina D₃ z 7-dehydrocholesterolu.

Cholesterol w organizmie zwierząt oprócz funkcji budulcowej stanowi substrat do syntezy kwasów żółciowych, hormonów płciowych, hormonów kory nadnercza, a także wchodzi w skład glikozydów nasercowych. We krwi występuje najczęściej w powiązaniu z białkami, tworząc lipoproteiny o różnej gęstości cząsteczki. Cholesterol związany z niskocząsteczkową lipoproteiną (LDL) stanowi duże zagrożenie dla prawidłowego funkcjonowania układu krążenia, gdyż odkłada się na wewnętrznych ścianach tętnic (miażdżyca naczyń krwionośnych). Natomiast związany cząsteczkami białka o większej gęstości (HDL) jest mniej niebezpieczny i podlega metabolizmowi w różnych etapach jego przemian w organizmie. Ponad 2/3 cholesterolu w organizmie zwierząt i ludzi jest pochodzenia endogennego, a reszta pobierana jest z pożywieniem. Przewód pokarmowy jest główną drogą usuwania cholesterolu z organizmu w postaci kwasów żółciowych, które ulegają przekształceniom do koprosteroli stanowiących zabarwienie odchodów.

Karotenoidy

Są to barwniki występujące w wielu tłuszczach roślinnych i zwierzęcych. W starszych podręcznikach biochemii nazywane były pigmentami lipochromowymi. Węglowodór karoten jako pierwszy przedstawiciel tego szeregu wyodrębniono z marchwi w roku 1831. Do 1930 roku uważano, że jest to jednorodny związek o wzorze $C_{40}H_{56}$, dopiero przy zastosowaniu adsorpcji chromatograficznej wyodrębniono jego trzy izomery α -, β -, γ -karoten. W zwykłym karotenie 85% stanowi β -karoten, około 15% α -karoten oraz występują śladowe ilości γ -karotenu (0,1%). Z zastosowaniem analizy adsorpcji chromatograficznej wyodrębniono z barwników roślinnych cztery zasadnicze grupy:

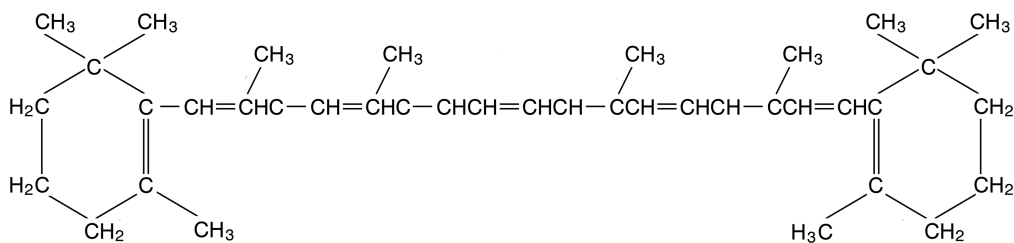
- węglowodory, czyli karoteny,
- pochodne ketonowe lub wodorotlenowe, zwane ksantofilami,
- kwasy karotenoidowe,
- estry ksantofilowe.

Karoteny o wzorze chemicznym $C_{40}H_{56}$ są najwcześniej poznanymi związkami, a nazwa została przyjęta do innych substancji tego typu. Związki te towarzyszą stale chlorofilowi w ciałkach zieleni (chloroplastach), stanowią główny barwnik marchwi oraz występują w wielu owocach, takich jak: pomidory, papryka i jagody jarzębiny.

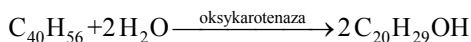
Izomery karotenów różnią się wewnątrzcząsteczkową budową chemiczną. β -karoten ma jeden pierścień β -jononu i jeden α -jononu i w porównaniu z pozostałymi jest związkiem optycznie czynnym, ponieważ węgiel w pierścieniu β -jononu jest asymetryczny.

Doniosłe znaczenie biologiczne ma β -karoten odznaczający się obecnością dwóch pierścieni β -jononowych, na początku i na końcu łańcucha węglowodorowego.

Związek ten jest prowitaminą witaminy A, która powstaje w organizmie zwierzęcia w ścianach jelita cienkiego. Polega to na symetrycznym przerwaniu łańcucha węglowodorowego przez oksykarotenazę z równoczesnym przyłączeniem do końca każdego z nich grupy hydroksylowej wg wzoru:



Rys. 1.10. Wzór β -karotenu



Dla witaminy A, czyli akseroftolu, ugrupowaniem biologicznie czynnym jest pierścień β -jononowy. Tak więc teoretycznie z jednej cząsteczki β -karotenu powstają 2 cząsteczki witaminy A. Jednakże w praktyce wydajność ta nie przekracza 60%. Z kolei z α -karotenu, który zawiera tylko jeden β -jonon, teoretycznie z jednej cząsteczki powstaje również jedna cząsteczka akseroftolu. Również w α -karotenie występuje tylko jeden pierścień β -jononowy, dlatego powstają z niego podobne ilości witaminy A jak w przypadku β -karotenu. Oba te związki ze względu na mniejsze występowanie w roślinach nie mają większego znaczenia jako źródło witaminy A.

Do karotenów zalicza się również likopen, który nie zawiera układów β -jononowych, przez co nie ulega w ustroju zwierzęcym przekształceniu do witaminy A. Zawiera natomiast w łańcuchu węglowodorowym prawie dwa razy tyle wiązań nienasyconych co α -, β - i γ -karoteny, przez co odznacza się intensywną czerwoną barwą. Jest on charakterystycznym barwnikiem owoców pomidora, a poza tym występuje w owocach głogu, melona i płatkach nagietka.

Karotenoidy zawierające w swojej cząsteczce tlen nazywamy ksantofilami o ogólnym wzorze: $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_2$. Ksantofile są produktami utlenienia różnych izomerów karotenu. W przyrodzie występują albo jako wolne alkohole zawierające od 1 do 6 grup OH, albo jako estry z kwasami tłuszczowymi dające tzw. woski barwne. W liściach zielonych związki te występują w stanie wolnym, natomiast w żółknących jako estry. W ksantofilach, występujących zarówno w roślinach, jak i w żółtku jaja ptaków, przeważa bardzo dobrze poznany związek zwany luteiną lub luteinolem, a następnym związkiem w kolejności częstości występowania jest zeaksantyna zwana inaczej zeaksantolem. Jest on charakterystycznym barwnikiem ziarna kukurydzy i stąd jego nazwa. Luteina natomiast występuje dosyć często jako barwnik płatków kwiatowych słonecznika, mniszka lekarskiego, aksamitki, jaskra czy forsycji.

Poza pospolitymi hydroksykarotenoidami znanych jest jeszcze kilka związków wyodrębnionych z materiału roślinnego. Należy tu wymienić hydroksykarotenoidy obecne w glonach. Zawierają one dużo tlenu, bo do 12 atomów w cząsteczce. Ich przedstawicielem o znanej strukturze chemicznej jest fukoksantol o wzorze $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_6$.

Ciekawym ketokarotenoidem jest astaksantol o wzorze $C_{40}H_{50}O_4$, występujący niemal wyłącznie w świecie zwierzęcym. Można go znaleźć w pancerzu wielu skorupiaków morskich i niektórych żyjących w wodach śródlądowych. Tworzy on barwne estry z kwasami tłuszczowymi, które z kolei w połączeniu z białkiem tworzą ciemnoniebieską chromoproteinę. Podczas gotowania następuje denaturacja białka powodująca odłączenie go od estru astaksantolu, przez co ujawnia się właściwa czerwona barwa tego związku. Tym tłumaczy się wystąpienie czerwonej barwy pancerza raków i homarów w czasie gotowania.

1.3.5. Wskaźniki charakteryzujące jakość tłuszczu

Tłuszcze roślinne i zwierzęce nie stanowią acylogliceroli o określonym składzie. Są mieszaninami różnych gliceroli. Tłuszcze zwierzęce są z reguły ciałami stałymi. Jednak w tym względzie istnieją wyjątki, jak np. acyloglicerole ssaków morskich, które są płynne w temperaturze pokojowej. Różne gatunki zwierząt wytwarzają tłuszcze o różnym składzie. Skład ten, jakkolwiek charakterystyczny dla danego gatunku, ulega fluktuacjom. Duży wpływ na skład odkładanego tłuszczu w ciele zwierzęcia wywiera jakość tłuszczu podawana z paszą. Karmienie zwierząt tłuszczami o wysokim poziomie nienasyconych kwasów tłuszczowych powoduje odkładanie tłuszczu miękkiego, odznaczającego się niską temperaturą topnienia. Na odwrót, tłuszcze z przewagą kwasów palmitynowego i stearynowego dostarczane z karmą umacniają stałą konsystencję odkładanego tłuszczu i zwiększają temperaturę jego topnienia.

Acyloglicerole są estrami i jako takie przejawiają charakterystyczne reakcje dla estrów, jak hydroliza i zmydlenie. Hydrolizę tłuszczów można przeprowadzić różnymi metodami. Najłatwiej wykonać ją przez ogrzewanie z wodą w wysokiej temperaturze i pod ciśnieniem. W warunkach normalnych w trakcie gotowania tłuszczu z wodą hydroliza zachodzi bardzo wolno. W przewodzie pokarmowym zwierząt i ludzi tłuszcze ulegają rozkładowi do glicerolu i kwasów tłuszczowych pod wpływem esteraz glicerynianowych zwanych lipazami. Rozkładu acylogliceroli można również łatwo dokonać przez tzw. zmydlenie. Polega to na gotowaniu tłuszczu z alkoholowym roztworem ługu sodowego lub potasowego. Obecność alkoholu pomaga w rozpuszczeniu tłuszczu. Produktami zmydlenia są sole sodowe lub potasowe kwasów tłuszczowych i glicerol.

Do scharakteryzowania jakości tłuszczu służy kilka stałych chemicznych, które się stosuje we wszystkich laboratoriach zajmujących się badaniem żywności.

Do rutynowych oznaczeń określających jakość tłuszczu należą:

- liczba zmydlenia,
- liczba Reicherta–Meissla,
- liczba acetylowa,
- liczba jodowa,
- liczba Lea.

Liczba zmydlenia równa się ilości KOH (mg) potrzebnej do zmydlenia 1 g tłuszczu. Wielkość tej liczby jest odwrotnie proporcjonalna do masy cząsteczkowej tłuszczu. Dla trigliceromaślanu wynosi ona 557, a dla triglicerooleinianu tylko 190. Liczba Reicherta–Meissla wyraża się ilością mililitrów 0,1 N ługu potrzebnego do zobojętnienia rozpuszczonych kwasów tłuszczowych zawartych w 5 g tłuszczu. Wysoką liczbą (30) odznacza się masło. Z kolei liczba acetylowa wyraża się ilością miligramów KOH potrzebną do zobojętnienia kwasu octowego powstałego z 1 g tłuszczu uprzednio acetylowanego. Test ten określa zawartość grup hydroksylowych w tłuszczu. Zwykle tłuszcze zawierają małą ilość hydroksykwasów, stąd wartość tej liczby jest niska (2,5–20). Duże znaczenie dla charakterystyki jakości tłuszczu ma liczba jodowa. Jest to ilość gramów jodu związanych przez 100 g badanego tłuszczu. Podwójne wiązania w łańcuchu kwasu tłuszczowego są tymi ugrupowaniami, które wiążą jod, liczba jodowa jest wyrazem stopnia ich nienasylenia. Liczba nadtlenkowa wg Lea oznacza ilość miligramów tlenu związanego z tłuszczem w postaci nadtlenu przypadającą na 1 g tłuszczu. Wskazuje ona stopień utlenienia tłuszczu.

Literatura

- Działoszyński L., 1968. *Zarys biochemii zwierząt*. PWN, Warszawa.
- Harper A.H., 1969. *Review of physiological chemistry*. USA-California.
- Kulka K., 1998. Elementy biochemii statycznej. (W:) *Biochemia kręgowców*, red. W. Minakowski i S. Weidner, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Kupryszewski G., 1979. *Wstęp do chemii organicznej*. PWN, Warszawa.
- Morrison R.T., Boyd R.N., 1985. *Chemia organiczna*. T. 1–2. PWN, Warszawa.
- Pariza M.W., 1997. Conjugated linoleic acid, a newly recognised nutrient. *Chemistry and Industry*, 16.06.1997.
- Stryer L., 1997. *Biochemia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Strzeżek J., 2005. Elementy biochemii statycznej. (W:) *Biochemia kręgowców*, red. W. Minakowski i S. Weider, Wyd. II. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Truchliński J., Wójcik S., 1993. *Przewodnik do ćwiczeń z biochemii z elementami fizyki*. Wyd. AR w Lublinie.

1.4. Białka i inne związki azotowe

Stanisław Buraczewski

Białko jest podstawą procesów życiowych. Nieograniczona różnorodność przejawów życia wynika z różnorodności składu i budowy cząsteczek białkowych. W organizmie zwierząt białko spełnia wielorakie funkcje, a między innymi:

- tworzy strukturę ciała i tkanek organizmu, wiążąc szkielet kostny, tkankę łączną, tworząc mięśnie, skórę, włosy, kopyta;
- umożliwia ruch ciała i jego narządów dzięki kurczliwości włókienek białkowych w mięśniach, a także umożliwia zapłodnienie, wprowadzając w ruch plemniki;

- wszystkie znane enzymy są białkami, a więc białko i specyficzność budowy cząsteczki białkowej decyduje o charakterze i przebiegu procesów życiowych;
- białko jest transporterem wielu cząsteczek i jonów w organizmie, jak np. hemoglobina w krwinkach czerwonych przenosząca tlen;
- tworzy ochronę immunologiczną organizmu przed obcymi ciałami i cząsteczkami, np. bakteriami i wirusami.

Białko zbudowane jest z aminokwasów, które, łącząc się wiązaniem peptydowym, tworzą łańcuchy proste lub rozgałęzione. Połączone łańcuchy tworzą cząsteczki białkowe.

1.4.1. Aminokwasy

Białko poddane działaniu kwasów lub zasad ulega hydrolizie, w czasie której, z udziałem wody, następuje rozszczepienie wiązań peptydowych i uwolnienie aminokwasów. W przewodzie pokarmowym zwierząt uwolnienie aminokwasów z białka pasz jest wynikiem działania wielu enzymów proteolitycznych. Aminokwasy, a także małe peptydy, mogą być wchłonięte i wykorzystane przez organizm. Zarówno w paszach, jak i w organizmach zwierząt znajduje się szereg aminokwasów niebiałkowych. Niektóre z nich odgrywają istotną rolę w przemianie materii.

1.4.1.1. Budowa aminokwasów

Podstawą budowy aminokwasu jest atom węgla, zwany węglem alfa (.), z którym są związane cztery grupy: aminowa, karboksylowa, atom wodoru i charakterystyczna dla każdego aminokwasu inna grupa, np. o charakterze alifatycznym, oznaczana jako grupa R i nazywana łańcuchem bocznym (rys. 1.11). Budowa tego łańcucha może być podstawą grupowania aminokwasów.

Wszystkie aminokwasy, z wyjątkiem glicyny, mają asymetryczny węgiel alfa, są więc optycznie aktywne. W glicynie grupą R jest wodór. Ze względu na podobieństwo budowy przestrzennej aminokwasu do aldehydu L-glicerynowego, są one wszystkie L-aminokwasami (rys. 1.12). Formy D-aminokwasów w białku pasz i zwierząt nie występują. Można je znaleźć na przykład w bakteriach i w produkowanych przez nie antybiotykach. Formy D i L występują w równoważnych ilościach w aminokwasach syntetyzowanych chemicznie, przykładem czego jest krystaliczna D,L-metionina.

Niektóre aminokwasy w formie D mogą być wykorzystywane przez zwierzęta, jeżeli organizm wytwarza enzymy zdolne do przekształcenia ich w formę L. Tak jest w przypadku metioniny i częściowo tryptofanu. Forma D tryptofanu jest dobrze wykorzystywana przez świnie (w ok. 70 do 80%) i szczury, natomiast w niewielkim stopniu przez drób, psy, myszy i człowieka. Formy D lizyny i treoniny nie są wykorzystywane.

1.4.1.2. Podział aminokwasów

Aminokwasy dzieli się również, uwzględniając zdolność ich syntezy przez organizm zwierzęcy, od której zależy zapotrzebowanie na aminokwasy w pożywieniu.

Według tej zasady aminokwasy można podzielić następująco (w nawiasach podane są przyjęte międzynarodowe skróty nazw aminokwasów):

A. Aminokwasy białkowe

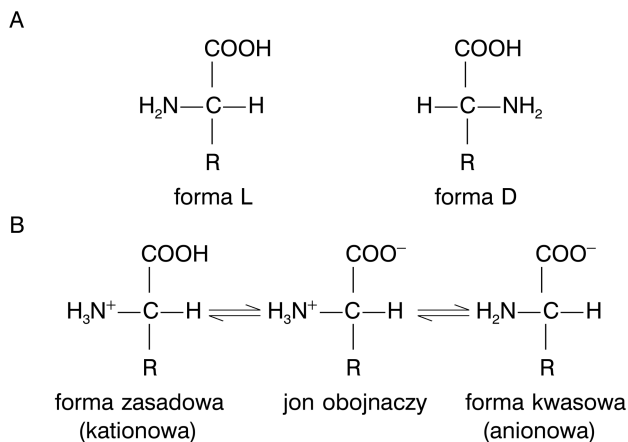
1. Aminokwasy niezbędne (egzogenne), nie wytwarzane w organizmie
Lizyna (Lys) Arginina (Arg)
Metionina (Met) Fenyloalanina (Phe)
Treonina (Thr) Histydyna (His)
Tryptofan (Trp) Izoleucyna (Ile)
 Leucyna (Leu)
 Walina (Val)
2. Aminokwasy syntetyzowane w organizmie z aminokwasów niezbędnych (względnie egzogenne):
Cysteina (Cys), z metioniny, 2 cząsteczki cysteiny tworzą cystynę
Tyrozyna (Tyr), z fenyloalaniny
Hydroksylizyna (Hyl), z lizyny
3. Aminokwasy syntetyzowane w organizmie (endogenne)
Alanina (Ala) Kwas asparaginowy (Asp)
Asparagina (Asn) Kwas glutaminowy (Glu)
Glicyna (Gly) Prolina (Pro)
Glutamina (Gln) Seryna (Ser)
 Hydroksyprolina (Hyp)

B. Aminokwasy syntetyzowane w organizmie, lecz nie wchodzące w skład białek

Cytrulina
Ornityna
Kwas argininobursztynowy

Powyższy podział uwzględnia zdolność syntezy aminokwasów przez organizm zwierzęcy, a więc i wynikające stąd zapotrzebowanie na aminokwasy egzogenne. Zapotrzebowanie zwierząt przeżuwających na aminokwasy niezbędne (egzogenne) jest w dużej części pokrywane przez masę białka mikroorganizmów symbiotycznych (bakterie i pierwotniaki) żyjących w treści żwacza. U zwierząt nieprzeżuwających zapotrzebowanie na aminokwasy niezbędne jest pokrywane przez aminokwasy białka pasz.

Ornityna, cytrulina i kwas argininobursztynowy czynne są w przemianach cyklu mocznikowego (biosyntezy mocznika). Do aminokwasów niebiałkowych należą także mono- i diiodotyrozyna oraz triiodotyronina i tyroksyna, prekursorzy hormonów tarczycy, a także -alanina i kwas -aminomasłowy.



Rys. 1.11. A – Budowa aminokwasu. Węgiel w środku wzoru jest węglem alfa (.), z którym związane są cztery grupy: aminowa, karboksylowa, wodorowa i grupa R (rodnik), która jest łańcuchem bocznym i w przypadku glicyny jest nią atom wodoru. B – W roztworach wodnych wolne aminokwasy występują w postaci jonów w formie zależnej od pH roztworu

Zwierzęta różnią się zdolnością syntezy niektórych aminokwasów. W organizmie ssaków arginina jest syntetyzowana w mitochondriach w cyklu moczniowym. Jednakże w organizmie świń synteza argininy może nie wystarczać do pokrycia potrzeb, a w szczególności dotyczy to prosiąt. Koty żywione dietą bez argininy giną po parudziesięciu godzinach. Dla ptaków arginina jest aminokwasem egzogennym.

W grupie A.1 wymienione są cztery aminokwasy znajdujące się w handlu jako dodatki, którymi można uzupełniać niedobory tych aminokwasów w paszach. Są one produkowane na drodze fermentacyjnej, jak np. L-lizyna, L-treonina, L-tryptofan, lub chemicznej, jak D,L-metionina (w równoważnych ilościach formy D i L), i dostępne w preparatach o różnej koncentracji, a lizyna może być na przykład w postaci chlorowodoru lizyny.

Pozostałe aminokwasy tej grupy znajdują się w białku pasz w wystarczających ilościach do pokrycia zapotrzebowania zwierząt i w praktyce zawartość ich powinna być brana pod uwagę jedynie przy oszczędnym żywieniu białkowym (diety niskobiałkowe) i stosowaniu dodatków aminokwasów krystalicznych. Aminokwasy wymienione w drugiej podgrupie grupy A syntetyzowane są w organizmie, ale tylko z odpowiednich aminokwasów: cysteina z metioniny, tyrozyna z fenyloalaniny, a hydroksylizyna z lizyny.

Pokrycie zapotrzebowania zwierząt nieprzeżuwających na metioninę i cysteinę często jest liczone łącznie jako aminokwasy siarkowe przy układaniu dawek paszowych.

Aminokwasy grupy A.3, jak i aminokwasy nie wchodzące w skład białek są syntetyzowane w organizmie najczęściej w reakcjach transaminacji lub przeniesienia grup aminowych ($-\text{NH}_2$) na odpowiednie ketokwasy powstające m.in. w wyniku przemian węglowodanów. Organizmy zwierząt nie wytwarzają od-