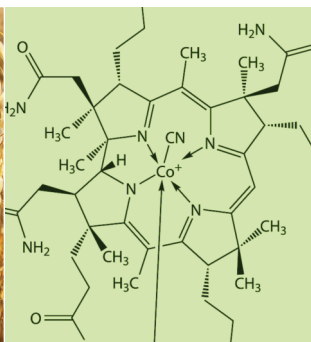


Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo

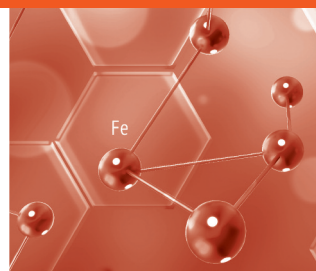
tom I

Fizjologiczne i biochemiczne podstawy żywienia zwierząt



NOWE WYDANIE

pod redakcją
Doroty Jamroz



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-Pastuszevska

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 Żywienia 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
	• Stanisław Buraczewski	
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
	• Aleksandra Ziotecka	
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
	• Jan Barteczko	
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
	• Zygmunt M. Kowalski, Paweł Górka	
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 koloïdów 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.

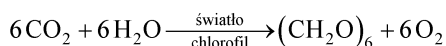
Zapotrzebowanie zwierzęcia na wodę określone jest ilością pobrania suchej masy z pasz w ciągu doby. Tak więc: świnie potrzebują 5–6 kg wody na jeden kg suchej masy, konie i bydło — 3 kg, drób — 2,5 kg, natomiast owce — 1,5 kg wody.

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 deoksyukry, 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

sensie zwierzęcych (heterocukry). Ponadto spełniają wiele funkcji bardzo istotnych dla życia. Stanowią główne źródło energii, są prekursorami w syntezie dwóch innych bardzo ważnych składników roślin i zwierząt, a mianowicie białek i tłuszczów, oraz innych substancji. Niektóre z nich, jak w przypadku kwasu askorbinoowego lub inozytolu, odznaczają się specyficzną aktywnością biologiczną.

Ta zróżnicowana grupa związków zarówno pod względem budowy, jak i właściwości fizykochemicznych została usystematyzowana w trzy grupy hierarchiczne odzwierciedlające wielkość i budowę cząsteczki:

- jednocukry — monosacharydy (monozy),
- dwu-, trzy- i czterocukry — oligosacharydy,
- wielocukry — polisacharydy.

1.2.1. Monosacharydy (cukry proste)

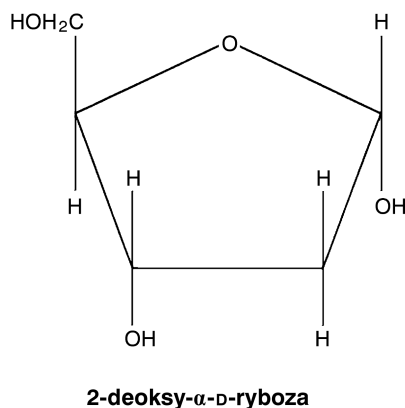
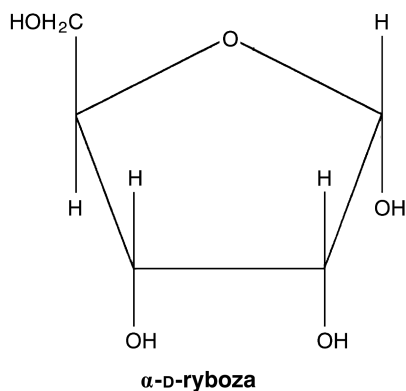
Są to związki zawierające 3, 4, 5 lub 6 atomów węgla w cząsteczce o ogólnym wzorze $C_nH_{2n}O_n$. Taka liczba atomów węgla zyskała im nazwę trioz, tetroz, pentoz oraz heksoz. Są to substancje bezbarwne, łatwo krystalizujące, o słodkim smaku, uważane za wielowodorotlenowe alkoholoaldehydy lub alkoholoketony.

Triozy znane są w dwóch odmianach: jako aldehyd D-glicerynowy oraz jako dihydroksyaceton. Są one metabolitami szlaku glikolitycznego oraz w stanie wolnym występują w śladowych ilościach w każdym organizmie żywym głównie jako estry fosforanowe. **Tetrozy** natomiast powstają w wyniku przekształceń heksoz w pentozy w cyklu pentozofosforanowym. Ich przedstawicielem jest D-erytrozo-4-fosforan, główny metabolit tego szlaku.

Wśród **pentoz** najważniejsze są: D-ryboza, 2-deoksy-D-ryboza. Pierwsza tworzy wiązania N-glikozydowe z zasadami purynowymi i pirymidynowymi w kwasach rybonukleinowych oraz w niektórych witaminach i koenzymach oksydoredukcyjnych, natomiast 2-deoksy-D-ryboza wiąże się w analogiczny sposób z zasadami w kwasach deoksyrybonukleinowych (DNA). Deoksy- znaczy, że przy węglu 2, zamiast grupy hydroksylowej, jest atom wodoru, co zostało zilustrowane wzorami Hawortha.

Do najbardziej rozpowszechnionych w przyrodzie pentoz należy D-ksylopiranoza, główna cegiełka ksylanów spotykanych przeważnie w ziarnach zbóż, nasionach roślin bobowatych, w zdrewniałych tkankach roślin oraz w słomie. Arabinoza natomiast jest jedną z nielicznych monozy, która występuje w świecie roślinnym w konfiguracji L. Pentoza ta jako α -L-arabinofuranoza wchodzi w skład arabanów, ksylanów, gum i hemiceluloz.

Spośród wszystkich monosacharydów najczęstszymi cukrami zarówno w odniesieniu do świata roślinnego, jak i zwierzęcego są **heksozy**. Należą do nich D-glukoza, D-fruktoza, D-galaktoza i D-mannoza. Glukoza, zwana też cukrem gronowym, bez wątplenia zajmuje centralną pozycję. Występuje zarówno w stanie wolnym, jak i w postaci dwu-, trój- i wielocukrów. Jest najważniejszym cukrem krwi, odgrywającym pierwszoplanową rolę w wewnątrzkomórkowej przemianie



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.

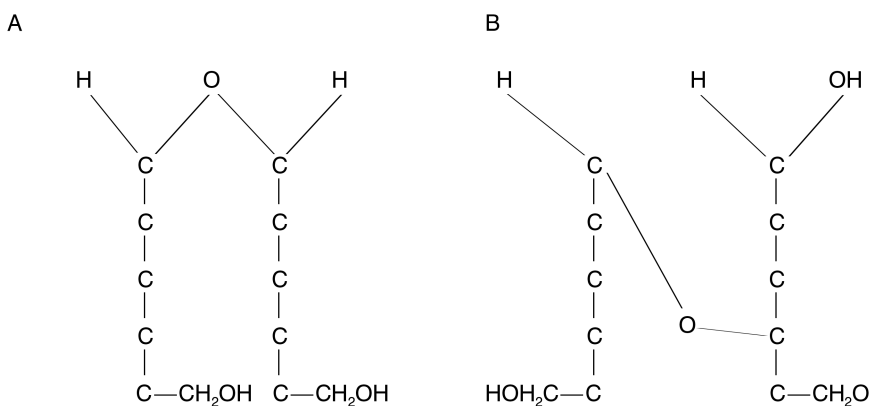
1.2.2. Oligosacharydy

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 α , β 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 α , β , 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 β -D-fruktofuranozylo- α -D-glukopiranozydem (1 \rightarrow 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 monoz 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→4)- α -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→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→4)- α -D-glukopiranozydem. Jest dwucukrem redukującym, pięciokrotnie mniej słodkim niż sacharoza. W przewodzie pokarmowym zwierząt i ludzi ulega rozkładowi do monoz 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- α -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.