

Spis treści

ROZDZIAŁ 1

Komórki: podstawowe jednostki życia	1
JEDNOŚĆ I RÓŻNORODNOŚĆ KOMÓREK	2
Komórki różnią się niezmiernie wyglądem i funkcją	2
Wszystkie żywe komórki funkcjonują, opierając się na podobnych podstawowych procesach chemicznych	3
Żywe komórki są samopowielającymi się zbiorami katalizatorów	5
Wszystkie żyjące komórki prawdopodobnie wyewoluowały z tej samej pracomórki	5
Geny dostarczają instrukcji formie, funkcji oraz zachowaniu komórek i organizmów	6
OBSERWUJĄC BUDOWĘ KOMÓRKI	7
Wynalezienie mikroskopu świetlnego doprowadziło do odkrycia komórek	7
Mikroskopy świetlne ujawniają niektóre składniki komórki	8
Szczegóły struktury komórki można ujawnić w mikroskopie elektronowym	11
DRZEWO ŻYCIA	13
Drzewo życia ma trzy główne odgałęzienia	13
Eukarionty stanowią domenę życia najlepiej nam znaną	16
Bakterie stanowią najbardziej zróżnicowaną grupę organizmów na Ziemi	17
Świat archeonów jest najbardziej tajemniczą domeną życia	19
KOMÓRKA EUKARIOTYCZNA	20
Jądro komórkowe jest magazynem informacji	20
Mitochondria uwalniają użyteczną energię z cząsteczek pożywienia	20
Chloroplasty przechwytyują energię światła słonecznego	22
Błony wewnętrzne tworzą przedziały wewnątrzkomórkowe o odmiennych funkcjach	24
Cytosol jest zatężonym uwodnionym żelem dużych i małych cząsteczek	26
Cytoskielet jest odpowiedzialny za ukierunkowane ruchy komórek	26
Cytosol nie jest układem statycznym	28
Wiele eukariontów żyje jako samotne komórki	28
BADAJĄC ORGANIZMY MODELOWE	31
Biologowie molekularni skupili swe wysiłki na <i>Escherichia coli</i>	32
Drożdże piekarnicze są prostymi eukariontami	32

Biologowie wybrali <i>Arabidopsis</i> jako roślinę modelową	33
Wśród zwierząt modelowych są nicienie, muszki, ryby i myszy	34
Biologowie zajmują się również badaniami ludzi i ich komórek	35
Badania genetyczne koronawirusa SARS-CoV-2 doprowadziły w rekordowym czasie do opracowania szczepionek	38
Porównywanie sekwencji genomów ujawnia wspólne dziedzictwo życia	40
Genomy zawierają dużo więcej niż geny	42
STRESZCZENIE	43
PYTANIA	44
ROZDZIAŁ 2	
Chemiczne składniki komórek	47
WIAZANIA CHEMICZNE	48
W skład komórek wchodzi niewiele rodzajów atomów	48
O reakcjach między atomami decydują elektrony ich zewnętrznej powłoki	49
Wiązania kowalencyjne powstają przez wspólne użytkowanie elektronów	52
Niektóre wiązania kowalencyjne powstają w wyniku wspólnego użytkowania więcej niż jednej pary elektronów	53
Elektrony w wiązaniach kowalencyjnych są często użytkowane nierównomiernie	54
Wiązania kowalencyjne są wystarczająco silne, aby przetrwać warunki wewnątrz komórki	54
Wiązania jonowe powstają przez przyjęcie i oddanie elektronów	54
Wiązania wodorowe są ważnymi wiązaniami niekowalencyjnymi w wielu cząsteczkach biologicznych	56
Cztery rodzaje słabych wiązań umożliwiają oddziaływanie cząsteczek w komórce	56
Niektóre polarne cząsteczki w wodzie tworzą kwasy i zasady	58
CZĄSTECZKI W KOMÓRKACH	59
Komórki zbudowane są ze związków węgla	60
Komórki zawierają cztery główne rodziny małych cząsteczkowych związków organicznych	60
Cukry są dla komórek źródłem energii i stanowią podjednostki polisacharydów	61
Kwasy tłuszczowe są składnikami błon komórkowych	63
Aminokwasy są jednostkami monomerycznymi białek	65
Nukleotydy są jednostkami monomerycznymi DNA i RNA	66
MAKROCZĄSTECZKI W KOMÓRKACH	68
Makrocząsteczki mają określoną sekwencję jednostek monomerycznych	69
Wiązania niekowalencyjne nadają dokładnie określony kształt makrocząsteczkom	69
Wiązania niekowalencyjne umożliwiają makrocząsteczkom wybiórcze	

wiązanie innych cząsteczek	72
STRESZCZENIE	73
PYTANIA	75
ROZDZIAŁ 3	
Energia, kataliza i biosynteza	91
WYKORZYSTYWANIE ENERGII PRZEZ KOMÓRKI	92
Porządek biologiczny jest możliwy dzięki uwalnianiu energii cieplnej z komórek	93
Komórki mogą przekształcać energię z jednej formy w drugą	95
Organizmy fotosyntetyzujące wykorzystują światło słoneczne do syntezy cząsteczek organicznych	96
Komórki uzyskują energię w wyniku utleniania cząsteczek organicznych	97
Utlenianie i redukcja wiążą się z przenoszeniem elektronów	98
ENERGIA SWOBODNA I KATALIZA	99
Reakcje chemiczne przebiegają w kierunku, który prowadzi do utraty energii swobodnej	100
Enzymy obniżają energię potrzebną do zapoczątkowania reakcji spontanicznych	100
Zmiana energii swobodnej decyduje o możliwości zajścia reakcji	102
ΔG zmienia się, gdy reakcja zmierza w kierunku równowagi	103
Zmiana standardowej energii swobodnej, ΔG° umożliwia porównanie energetyki różnych reakcji	106
Stała równowagi jest wprost proporcjonalna do ΔG°	107
W złożonych reakcjach stała równowagi obejmuje stężenia wszystkich substratów i produktów	107
Dla sekwencji wartości zmian energii swobodnej dodają się	108
Reakcje katalizowane przez enzymy zależą od szybkich zderzeń cząsteczek	109
Oddziaływania niekowalencyjne umożliwiają enzymom wiązanie specyficznych cząsteczek	110
Stała równowagi odzwierciedla siłę niekowalencyjnych oddziaływań wiążących	110
Aktywowane nośniki a biosynteza	111
Powstawanie aktywowanych nośników jest sprzężone z reakcją energetycznie korzystną	112
ATP jest aktywowanym nośnikiem najczęściej wykorzystywanym w komórce	113
Energia magazynowana w ATP jest często wykorzystywana do łączenia dwóch cząsteczek	117
NADH i NADPH są aktywowanymi nośnikami elektronów	118
NADPH i NADH odgrywają różne role w komórkach	118
Komórki wykorzystują wiele innych aktywowanych nośników	120

Synteza biopolimerów wymaga dostarczenia energii	121
STRESZCZENIE	124
PYTANIA	125
ROZDZIAŁ 4	
Struktura i funkcja białek	127
STRUKTURA PRZESTRZENNA I BUDOWA BIAŁEK	129
Strukturę przestrzenną białek określa ich sekwencja aminokwasowa	129
Białka zwijają się do konformacji o najniższej energii	132
Białka wykazują wielką różnorodność skomplikowanych struktur przestrzennych	134
Helisa α i harmonijka β to powszechnie występujące sposoby zwijania się białka	136
Helisy to uprzywilejowany motyw konstrukcyjny struktur biologicznych	137
Harmonijki β to motyw konstrukcyjny sztywnego rdzenia wielu białek	138
Białka nieprawidłowo zwijające się mogą tworzyć struktury amyloidowe o działaniu chorobotwórczym	140
Białka mają kilka poziomów organizacji	140
Białka zawierają także odcinki o stosunkowo niewielkiej strukturalizacji	141
Tylko nieliczne z wielu możliwych łańcuchów polipeptydowych to funkcjonalne białka	142
Białka można grupować w rodziny	142
Cząsteczki większych białek zawierają często więcej niż jeden łańcuch polipeptydowy	143
Białka mogą układać się w filamenty, arkusze lub kule	144
Niektóre rodzaje białek mają kształt wydłużonych włókien	145
Białka zewnątrzkomórkowe są często stabilizowane przez poprzeczne wiązania kowalencyjne	147
JAK DZIAŁAJĄ BIAŁKA	148
Wszystkie białka wiążą się z innymi cząsteczkami	148
Przeciwiała wiążą się ligandami z niezwykłą swoistością	149
Enzymy przekształcają chemicznie ligandy, z którymi się wiążą	151
Enzymy zasadniczo zwiększają szybkość reakcji chemicznych	154
Lizozym ilustruje pracę enzymu	155
Wiele leków hamuje enzymy	156
Funkcjonowanie niektórych białek wymaga ścisłego wiązania małych cząsteczek	158
JAK KONTROLOWANE SĄ BIAŁKA	159
Aktywność katalityczna enzymów jest często regulowana przez inne cząsteczki	159
Enzymy allosteryczne mają dwa lub więcej miejsc wiążących oddziałujących ze sobą	161

Fosforylacja może kontrolować aktywność białka, wywołując zmianę konformacyjną	162
Modyfikacje kowalencyjne białek także kontrolują lokalizację białek i oddziaływania między nimi	163
Białka regulatorowe wiążące GTP są regulowane w wyniku cyklicznego uzyskiwania i utraty grupy fosforanowej	164
Hydroliza ATP pozwala białkom motorycznym wytwarzać w komórce ukierunkowany ruch	164
Białka często tworzą duże kompleksy, które działają jak maszyny białkowe	165
Kompleksy białkowe tworzą się dzięki rusztowaniom	167
Oddziaływania pomiędzy makrocząsteczkami mogą wytwarzać w komórkach duże, biochemicznie zróżnicowane podprzedziały	167
 JAK BADANE SĄ BIAŁKA	168
Białka można oczyszczać z komórek lub tkanek	169
Określenie struktury białka rozpoczyna się od poznania jego sekwencji aminokwasowej	170
Metody eksperymentalne i obliczeniowe pozwalają na przekształcenie sekwencji aminokwasów w struktury białek	174
Pokrewieństwo między białkami ułatwia przewidywanie ich struktury i funkcji	174
Techniki inżynierii genetycznej umożliwiają masową produkcję, analizę i projektowanie białek	175
 STRESZCZENIE	176
 PYTANIA	184
 ROZDZIAŁ 5	
DNA i chromosomy	187
 STRUKTURA DNA	188
Cząsteczka DNA składa się z dwóch komplementarnych łańcuchów polinukleotydowych	189
Struktura DNA umożliwia funkcjonowanie mechanizmu dziedziczenia	190
 STRUKTURA CHROMOSOMÓW EUKARIOTYCZNYCH	192
Eukariotyczny DNA jest upakowany w wiele chromosomów	193
Chromosomy organizują i przenoszą informację genetyczną	194
Do replikacji i segregacji chromosomów wymagane są wyspecjalizowane sekwencje DNA	195
Chromosomy interfazowe występują w jądrze w sposób zorganizowany	197
DNA w chromosomach jest mocno skondensowany	198
Podstawowymi jednostkami struktury chromosomu eukariotycznego są nukleosomy	198
Chromosomy interfazowe są następnie organizowane w pętle przez	

duże pierścienie białkowe	201
W mitozie chromosomy przechodzą dodatkowy poziom upakowania	202
REGULACJA STRUKTURY CHROMOSOMÓW	203
Zmiany w strukturze nukleosomu umożliwiają dostęp do DNA	203
Chromosomy interfazowe zawierają zarówno skondensowane, jak i rozluźnione formy chromatyny	205
Heterochromatyna może rozprzestrzeniać się wzdłuż chromosomu, co wycisza pobliskie geny	206
Heterochromatyna może być dziedziczona przez kolejne pokolenia komórek	207
STRESZCZENIE	210
PYTANIA	214
ROZDZIAŁ 6	
Replikacja i naprawa DNA	217
REPLIKACJA DNA	218
Parowanie zasad umożliwia replikację DNA	218
Synteza DNA zaczyna się w miejscu początku replikacji	219
W miejscu początku replikacji tworzy się dwoje widełek replikacyjnych	223
Polimeraza DNA wykorzystuje wyjściowe nici DNA jako matryce w syntezie DNA	223
Widełki replikacyjne są asymetryczne	225
Polimeraza DNA koryguje swoje błędy	226
Krótkie fragmenty RNA służą jako startery do syntezy DNA	227
Białka w widełkach replikacyjnych współpracują, tworząc aparat replikacyjny	229
Telomeraza umożliwia replikację końców chromosomów eukariotycznych	232
Długość telomerów jest różna dla różnych typów komórek i zależy od ich wieku	233
NAPRAWA DNA	233
W komórkach ciągle dochodzi do uszkodzeń DNA	234
Komórki dysponują licznymi mechanizmami naprawy DNA	236
System naprawy źle dopasowanych par zasad usuwa błędy replikacji DNA, które uniknęły korekty	236
Naprawa dwuniciowych pęknięć DNA wymaga odrębnej strategii	238
Rekombinacja homologiczna potrafi bezbłędnie naprawiać dwuniciowe pęknięcia DNA	239
Problemy z naprawą uszkodzeń DNA mogą mieć poważne konsekwencje dla komórki lub organizmu	241
Zapis dokładności replikacji i naprawy DNA jest zachowany w sekwencjach genomowych	242

STRESZCZENIE	243
PYTANIA	244
ROZDZIAŁ 7	
Od DNA do białek: Jak komórki odczytują swój genom?	247
OD DNA DO RNA	248
Odcinki sekwencji DNA są przepisywane na RNA	249
Podczas transkrypcji powstaje RNA komplementarny wobec jednej z nici DNA	250
W komórkach powstają różne rodzaje RNA	252
Sygnały w DNA pokazują polimerazie RNA miejsca początku i końca transkrypcji	253
Inicjacja transkrypcji genów eukariotycznych jest złożonym procesem	255
Eukariotycznej polimerazie RNA niezbędne są liczne białka pomocnicze	256
Cząsteczki eukariotycznego mRNA dojrzewają w jądrze komórkowym	258
U eukariontów geny kodujące białka są przerywane sekwencjami niekodującymi nazywanymi intronami	259
Introny są usuwane z cząsteczek pre-mRNA w procesie splicingu	260
Synteza i dojrzewanie RNA zachodzą w przedziałach jądra komórkowego, które nie są ograniczone błonami	264
Dojrzałe cząsteczki eukariotycznego mRNA są eksportowane z jądra komórkowego	265
Cząsteczki mRNA ostatecznie ulegają degradacji w cytoplazmie	265
OD RNA DO BIAŁKA	267
Informacja w sekwencji mRNA jest zakodowana w postaci zestawów trójek nukleotydów	267
Cząsteczki tRNA dopasowują aminokwasy do kodonów mRNA	268
Swoiste enzymy łączą cząsteczki tRNA z właściwymi aminokwasami	273
Informacja zawarta w mRNA jest odczytywana w rybosomach	273
Rybosom jest rybozOMEM	276
Specjalne kodony mRNA informują rybosom o tym, gdzie zacząć i gdzie skończyć syntezę białka	278
Białka powstają na polirybosomach	279
Inhibitory syntezy białka u prokariotów są stosowane jako antybiotyki	280
Kontrolowany rozkład białek pomaga w regulacji ilości każdego białka w komórce	281
Droga od DNA do białka obejmuje wiele etapów	283
RNA I POCZĄTKI ŻYCIA	283
Życie wymaga autokatalizy	285
RNA może przechowywać informację oraz katalizować reakcje chemiczne	285
RNA jest uważany za starszy ewolucyjnie niż DNA	286

STRESZCZENIE	288
PYTANIA	289
ROZDZIAŁ 8	
Kontrola ekspresji genów	293
PRZEGLĄD EKSPRESJI GENÓW	294
Różne typy komórek organizmu wielokomórkowego zawierają ten sam DNA	294
Różne typy komórek produkują odmienne zestawy białek	296
Komórka może zmieniać ekspresję swoich genów w odpowiedzi na sygnały zewnętrzne	296
Ekspresja genów może być regulowana na różnych etapach ścieżki prowadzącej od DNA przez RNA do białka	297
JAK REGULOWANA JEST TRANSKRYPCJA	297
Regulatory transkrypcji wiążą się z regulatorowymi sekwencjami DNA	298
Przełączniki transkrypcji pozwalają komórkom reagować na zmiany środowiskowe	299
Represory wyłączają geny, a aktywatory je włączają	301
Operon <i>Lac</i> jest kontrolowany przez aktywator i represor	302
Eukariotyczne regulatory transkrypcji kontrolują ekspresję genów na odległość	303
Eukariotyczne regulatory transkrypcji wspomagają inicjację transkrypcji, rekrutując białka modyfikujące chromatynę	304
Organizacja chromosomów w wypętlone domeny pozwala kontrolować sekwencje wzmacniające	305
POWSTAWANIE WYSPECJALIZOWANYCH TYPÓW KOMÓREK	305
Geny eukariotyczne są kontrolowane przez kombinację regulatorów transkrypcji	306
Jedno białko może koordynować ekspresję różnych genów	307
Kontrola kombinatoryczna prowadzi do powstawania różnych typów komórek	307
Pojedynczy regulator transkrypcji może doprowadzić do powstania całego narządu	312
Regulatory transkrypcji mogą być wykorzystywane do ukierunkowanego doświadczalnie wytwarzania specyficznych typów komórek w hodowli	312
Komórki zróżnicowane zachowują swoją tożsamość	313
KONTROLA POTRANSKRYPCYJNA	315
Cząsteczki mRNA zawierają sekwencje, które kontrolują ich translację	316
Regulatorowe RNA kontrolują ekspresję tysięcy genów	316
Cząsteczki mikroRNA kierują docelowe mRNA do degradacji	317
Małe interferujące RNA chronią komórki przed infekcjami	318

Bakterie wykorzystują małe niekodujące RNA do obrony przed wirusami	319
Tysiące różnych cząsteczek długich niekodujących RNA także mogą regulować aktywność genów ssaków	319
STRESZCZENIE	321
PYTANIA	322
ROZDZIAŁ 9	
Ewolucja genów i genomów	325
ŹRÓDŁA ZMIENNOŚCI GENETYCZNEJ	326
W organizmach rozmnażających się płciowo tylko zmiany w komórkach linii rozrodczej są przekazywane potomstwu	327
Mutacje punktowe są spowodowane usterkami w normalnych mechanizmach kopiowania i naprawy DNA	329
Mutacje mogą również zmienić regulację ekspresji genu	330
Rodziny pokrewnych genów powstają w wyniku duplikacji DNA	331
Duplikacje i dywergencja wytworzyły rodzinę genów globin	332
Duplikacje całych genomów ukształtowały historię ewolucyjną wielu gatunków	333
Nowe geny mogą być utworzone przez tasowanie egzonów	334
Ruchome elementy genetyczne miały wielki wpływ na ewolucję genomów	335
Geny mogą być wymieniane między organizmami w wyniku horyzontalnego transferu genów	336
REKONSTRUKCJA RODOWEGO DRZEWA ŻYCIA	337
Zmiany genetyczne, które zapewniają przewagę selekcyjną, prawdopodobnie zostaną zachowane	337
Genomy blisko spokrewnionych gatunków są podobne zarówno pod względem organizacji, jak i sekwencji	338
Funkcjonalnie ważne rejony genomu to wyspy konserwowanych sekwencji DNA	339
Analizy porównawcze genomów wskazują na to, że genomy kręgowców szybko zyskują i tracą DNA	341
Konserwacja sekwencji pozwala śledzić nawet najbardziej odległe pokrewieństwo ewolucyjne	341
RUCHOME ELEMENTY GENETYCZNE I WIRUSY	342
Ruchome elementy genetyczne kodują składniki, których potrzebują do przemieszczania się	343
Genom człowieka zawiera dwie główne rodziny sekwencji transpozycyjnych	345
Wirusy mogą przemieszczać się pomiędzy komórkami i organizmami	346
Koronawirusy takie jak SARS-CoV-2 do kopiowania swojego genomu RNA używają specjalnej replikazy	346
Retrowirusy odwracają normalny przepływ informacji genetycznej	348

BADANIE GENOMU CZŁOWIEKA	350
Sekwencje nukleotydowe ludzkich genomów pokazują, jak rozmieszczone są nasze geny	351
Różnice w regulacji genów pomagają w wyjaśnieniu, dlaczego zwierzęta o podobnych genomach bywają tak różne	354
Genom wymarłych neandertalczyków wiele mówi o tym, co czyni nas ludźmi	357
Zmienność genomów przyczynia się do naszej indywidualności, ale w jaki sposób?	358
STRESZCZENIE	359
PYTANIA	360
ROZDZIAŁ 10	
Analizowanie struktury i funkcji genów	363
IZOLOWANIE I KLONOWANIE CZĄSTECZEK DNA	364
Enzymy restrykcyjne rozcinają cząsteczki DNA w swoistych miejscach	365
Elektroforeza żelowa umożliwia rozdział fragmentów DNA różniących się długością	366
Klonowanie DNA rozpoczyna się od uzyskania rekombinowanego DNA	367
Rekombinowany DNA może być kopiowany w komórkach bakteryjnych	367
Cały genom może być zawarty w bibliotece DNA	369
Hybrydyzacja jest czułą metodą wykrywania swoistych sekwencji nukleotydowych	370
Metoda PCR może być stosowana do wytwarzania określonych fragmentów DNA w probówce	372
Metoda PCR może być wykorzystana w diagnostyce i medycynie sądowej	374
SEKWENCJONOWANIE DNA	375
Sekwencjonowanie metodą dideoksy polega na analizie łańcuchów DNA, których synteza zatrzymywana jest w każdej pozycji	377
Techniki sekwencjonowania następnej generacji umożliwiają szybsze i tańsze sekwencjonowanie genomów	377
Analizy porównawcze genomów umożliwiają identyfikację genów i określenie ich funkcji	383
ODKRYWANIE FUNKCJI GENÓW	383
Analiza mRNA pozwala uchwycić ekspresję genów	383
Hybrydyzacja in situ może ujawnić, kiedy i gdzie zachodzi ekspresja określonego genu	384
Profilowanie rybosomów ujawnia, które mRNA w komórce ulegają translacji do białek	386
Geny reporterowe umożliwiają śledzenie swoistych białek w żywych komórkach	387

Badanie mutantów może pomóc w odkrywaniu funkcji genu	388
Interferencja RNA (RNAi) hamuje aktywność określonych genów	389
Znany gen można usunąć lub zastąpić go zmienioną wersją	390
Geny można edytować z wielką precyzją przy użyciu bakteryjnego systemu CRISPR	392
Mutanty mogą być użytecznymi modelami chorób człowieka	394
Rośliny transgeniczne znajdują zastosowanie zarówno w biologii komórki, jak i w rolnictwie	395
Klonowanie DNA umożliwia wytwarzanie dużych ilości dowolnego białka	396
 STRESZCZENIE	 398
 PYTANIA	 399
 Odpowiedzi	 O-1
 Słowniczek	 S-1
 Indeks	 I-1

oprac. BPK