

Inhaltsverzeichnis

Evolution, Energetik und Bau der Pflanzenzelle

1	Einstieg in die Biologie pflanzlicher Zellen	3
1.1	Die Progenoten und die Evolution dreier grundlegender Erfordernisse des Lebens	3
1.1.1	Abgrenzung von der Umgebung: Fette und Lipide	4
1.1.2	Emanzipation von der Umgebung: Polynucleotide und Peptide	7
1.1.3	Speicherung und Weitergabe von Information: Ribonucleinsäure (RNA) und Desoxyribonucleinsäure (DNA)	8
1.2	Die Prokaryonten und die Realisierung der drei grundlegenden Erfordernisse des Lebens	8
1.3	Besondere Eubakterien: Die Cyanobakterien als prokaryotische Algen	9
1.4	Die Eukaryonten-Zellen	11
1.5	Endosymbiontentheorie der Evolution eukaryotischer Zellen	15
1.5.1	Die Urkaryonten und ihr Erwerb von Organellen	15
1.5.2	Cytologische und zellbiologische Belege für die Endosymbiontentheorie	16
1.5.3	Rezente Endosymbiosen	17
1.5.4	Symbiogenese	17
1.5.5	Hydrogen-Hypothese	19
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	20
	Weiterführende Literatur	21
2	Bioenergetik	23
2.1	Fließgleichgewichte und Bioenergetik	23
2.2	Wärme und Arbeit sind verschiedene Formen von Energie	25
2.3	Die Entropie bestimmt die Richtung von Prozessen	26
2.4	Die „Freie Energie“ ist ein Maß für nutzbare Energie	27
2.5	Die Energiekoppelung bei biochemischen Umsetzungen	28

2.6	Die Energiekoppelung bei biophysikalischen Umsetzungen mit Licht	31
2.6.1	Halobakterien	31
2.6.2	Durch Licht energetisierte Redoxreaktionen	31
2.6.3	Photosynthese betreibende Eubakterien	34
2.6.4	Photosynthese höher entwickelter Formen	36
2.6.5	Evolution der Elektronen-übertragungsketten der Photosynthese und der Atmung	36
2.7	Die Enzyme	37
2.7.1	Aktivierungsenergie und Biokatalyse	37
2.7.2	Stoffliche Eigenschaften von Enzymen	38
2.7.3	Wirkungsweise der Enzyme	38
2.7.4	Kinetik der Biokatalyse	39
2.7.5	Regulierbare Enzyme	42
2.7.6	Isoenzyme	43
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	45
	Weiterführende Literatur	46
3	Plasmamembran, Tonoplast und Vakuole	47
3.1	Plasmamembran und Tonoplast begrenzen Apoplast, Cytoplasma und Vakuole	47
3.2	Der Membranaufbau	47
3.3	Transportprozesse	48
3.3.1	Die passive Permeation	48
3.3.2	Der primär aktive Transport von Protonen	51
3.3.3	Die Carrier-Mechanismen	54
3.3.4	Die Kanäle	54
3.3.5	Die Porine	57
3.3.6	Der sekundär aktive Transport	57
3.4	Die Vakuolen und Lysosomen: Speicherfunktionen und hydrolytische Enzyme	58
3.5	Die Osmose und der Turgor	58
3.6	Die Messung der Wasserhaushaltsparameter	62
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	64
	Weiterführende Literatur	65

Funktionen der Pflanzenzelle

4 Cytoplasma: Struktur

und Stoffwechselprozesse 69

- 4.1 Die Begriffe 69
- 4.2 Das Cytosol und das Cytoskelett 69
- 4.3 Die Stoffwechselprozesse im Cytosol 72
 - 4.3.1 Kohlenhydrate als Energiereserven 72
 - 4.3.2 Mobilisierung der Reserkohlenhydrate 73
 - 4.3.3 Glykolyse 73
 - 4.3.4 Lipidstoffwechsel 82
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 82
- Weiterführende Literatur 83

5 Mitochondrien und Atmung 85

- 5.1 Struktur der Mitochondrien 85
- 5.2 Atmung 87
 - 5.2.1 Biochemische Umsetzungen 87
 - 5.2.2 Mitochondriale Elektronentransport- und Redoxkette 90
- 5.3 Oxidative Phosphorylierung: ATP-Bildung durch den mitochondrialen F_0/F_1 -ATPase-Komplex 96
- 5.4 Energiebilanz des vollständigen oxidativen Abbaus der Glucose in der Atmung 97
- 5.5 Transport von Metaboliten durch die Mitochondrienmembran 98
- 5.6 Kohlenhydratabbau als Sammelbecken im Stoffwechsel 100
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 102
- Weiterführende Literatur 104

6 Plastiden und ihre Funktionen: Photosynthese, Hexoseoxidation, Fettsäurebiosynthese 105

- 6.1 Plastiden 105
 - 6.1.1 Plastiden als Zellorganellen 105
 - 6.1.2 Größe und Gestalt 107
 - 6.1.3 Struktureller Feinbau 107
- 6.2 Der strahlungsabhängige biophysikalische Primärprozess der Photosynthese 110
 - 6.2.1 Elektromagnetische Strahlung: Lichtquanten, Wellenlänge und Energie 110
 - 6.2.2 Pigmente der Photosynthese 112

- 6.2.3 Anregung des Chlorophylls durch Lichtabsorption 113
- 6.2.4 Lichtsammelantennen und Photosysteme 118
- 6.2.5 Bildung von Reduktionsäquivalenten (NADPH) beim Elektronentransport der Lichtreaktion 121
- 6.2.6 Bildung von ATP durch die Photophosphorylierung 125
- 6.3 Nutzung der Redox-(NADPH) und Phosphorylierungs-(ATP) Äquivalente und Energiebilanz der CO_2 -Reduktion 127
- 6.4 Kohlenhydrat-Stoffwechsel in den Chloroplasten 128
 - 6.4.1 Hexosesynthese und Hexoseoxidation 128
 - 6.4.2 CO_2 -Assimilation 129
 - 6.4.3 Hexose-Abbau: Glucose-Oxidation 131
 - 6.4.4 Die regenerierenden Phasen: reduktiver und oxidativer Pentosephosphatzyklus 131
 - 6.4.5 Funktionen und Regulation des reduktiven und oxidativen Pentosephosphatzyklus 134
- 6.5 Synthese weiterer Endprodukte der photosynthetischen CO_2 -Assimilation 134
 - 6.5.1 Export von Metaboliten aus den Chloroplasten 134
 - 6.5.2 Stärke und Saccharose 134
 - 6.5.3 Fettsäuren 135
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 138
- Weiterführende Literatur 141

7 Dictyosomen, Glyoxysomen und Peroxisomen 143

- 7.1 Dictyosomen 143
- 7.2 Glyoxysomen und Peroxisomen 145
 - 7.2.1 Glyoxysomen 145
 - 7.2.2 Die Peroxisomen 149
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 152
- Weiterführende Literatur 153

8	Die Zellwand	155	10	Naturstoffe:	
8.1	Chemische Zusammensetzung der Zellwände	156		Pflanzen als vielseitige Synthetiker	191
8.1.1	Pectinstoffe: Protopectine und Pectine	156	10.1	Ein Überblick	191
8.1.2	Hemicellulosen	156	10.2	Terpenoide	191
8.1.3	Cellulose	158	10.3	Phenole	193
8.1.4	Kallose	160	10.4	Alkaloide und organische Basen	198
8.1.5	Chitin: Ein Sonderfall unter den Zellwandsubstanzen	160	10.5	Porphyrine	203
8.1.6	Zellwandproteine	160		Zusammenfassung und Übungsaufgaben	205
8.2	Biosynthese der chemischen Zellwandkomponenten und ihre Kompartimentierung	160		Weiterführende Literatur	206
8.3	Entwicklung der Zellwand	162	11	Mineralstoffernährung	207
8.4	Bau der Zellwand	164	11.1	Autotrophie: Nährelemente und Spurenelemente	207
8.4.1	Hierarchie der Cellulosestrukturen	164	11.2	Die Rolle von Pflanzen im Stickstoff- und Schwefelstoffwechsel von Ökosystemen	209
8.4.2	Textur der Cellulosefibrillen	166	11.3	Der Stoffwechsel des Stickstoffs	211
8.4.3	Primärwand	167	11.3.1	Nitrataufnahme und Nitratreduktion	211
8.4.4	Sekundärwand und Tertiärwand	167	11.3.2	Fixierung von Luftstickstoff	211
8.5	Durchbrechungen in Zellwänden	168	11.4	Der Stoffwechsel des Schwefels	215
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	171	11.5	Der Stoffwechsel des Phosphors	217
	Weiterführende Literatur	172	11.6	Die Carnivorie	217
9	Aminosäuren und Proteine	173	11.7	Anorganische Ionen als besondere Standortfaktoren	221
9.1	Die Aminosäuren und ihre Eigenschaften	173	11.7.1	Salinität	221
9.2	Die Kondensation von Aminosäuren zu Peptiden	176	11.7.2	Calcium und Eisen	223
9.3	Proteine und ihre Eigenschaften	177	11.7.3	Belastung durch Metalle	225
9.4	Die Strukturhierarchie der Proteine	179	11.7.4	Anionen des Bor, Arsen und Selen	226
9.4.1	Primärstruktur	179		Zusammenfassung und Übungsaufgaben	227
9.4.2	Sekundärstruktur	180		Weiterführende Literatur	229
9.4.3	Tertiärstruktur	181	12	Das Genom und die genetische Regulation	231
9.4.4	Quartärstruktur	184	12.1	Der Zellkern	231
9.5	Die Funktionen der Proteine	184	12.1.1	Der Zellkern mit den Chromosomen als Kontrollzentrum der Zelle	231
9.6	Posttranslationale Proteinmodifikationen	185	12.1.2	Das Chromatin und die Chromosomen	233
9.7	Der Stoffwechsel der Aminosäuren und Proteine	186	12.1.3	Die Kern- und Zellteilung: Mitose	234
9.7.1	Synthese von Aminosäuren	186	12.2	Kern-Genom und Vererbung: Die MENDELSchen Regeln	239
9.7.2	Umsatz der Proteine	186	12.3	Die extrachromosomale Vererbung	242
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	188	12.4	Die Modifikationen und die Mutationen	243
	Weiterführende Literatur	190	12.5	Die genetische Regulation	245
			12.5.1	Genetischer Code	245

VIII Inhaltsverzeichnis

12.5.2	Autokatalytische Funktion der DNA: Replikation	245	14	Bryophyten	295	
12.5.3	Heterokatalytische Funktion der DNA: Transkription durch RNA-Polymerase	247	14.1	Allgemeine Merkmale	295	
12.5.4	Translation und Proteinsynthese	250	14.2	Systematik und Phylogenie der Moose	295	
12.5.5	Regulation der Genaktivität	252	14.2.1	Thallose und foliose Lebermoose (Marchantiophytina)	296	
Zusammenfassung und Übungsaufgaben			256	14.2.2	Laubmoose (Bryophytina)	299
Weiterführende Literatur			258	14.2.3	Hornmoose (Anthocerotophytina)	301
			14.3	Fortpflanzung und Vermehrung		

Pflanzenorganismen

13	Algen	261	15	Schleimpilze und Pilze	311
13.1	Die eukaryotischen Algen im System der Organismen	261	15.1	Allgemeine Merkmale	311
13.2	Leben im Wasser und die Pigmente der Algen	262	15.2	Ein systematischer Überblick	311
13.3	Die vegetativen Entwicklungstendenzen und Lebensweisen der Algen	263	15.2.1	Organisationsform Schleimpilze	313
13.3.1	Monadale Organisationsstufe	265	15.2.2	Organisationsform Pilze	314
13.3.2	Entwicklung von einzelligen Flagellaten zu mehrzelligen Kolonien mit Arbeitsteilung	265	15.3	Die Bedeutung der Pilze	320
13.3.3	Coccale Organisationsstufe: Verlust der freien Beweglichkeit	267	Zusammenfassung und Übungsaufgaben		320
13.3.4	Trichale Organisationsstufe	269	Weiterführende Literatur		321
13.3.5	Siphonale Organisationsstufe	270	16	Der Generationswechsel bei Farnen, Gymnospermen und Angiospermen und die Evolution von Blüten, Samen und Früchten	323
13.3.6	Entwicklung von einfachen Zellfäden zu komplexen Thalli	270	16.1	Ur-Sprosspflanzen und endständige Sporangien	323
13.4	Die generativen Entwicklungstendenzen	277	16.2	Telomtheorie	324
13.4.1	Mitosen, Sexualität und Meiose	277	16.3	Der Generationswechsel der isosporen Farne	325
13.4.2	Isogamie, Anisogamie, Oogamie	281	16.4	Die Evolution der Blüten	327
13.4.3	Gametangien und Sporangien	281	16.5	Der Generationswechsel der heterosporen Farne	329
13.4.4	Generationswechsel	282	16.6	Die Gymnospermen: Evolution der Samen	331
13.5	Ein phylogenetischer Überblick	288	16.6.1	Männliche Blüten und Pollenkörner	331
13.6	Von den Algen der Streptophytina zu den grünen Landpflanzen	289	16.6.2	Weibliche Blüten und Samenanlagen	333
Zusammenfassung und Übungsaufgaben		291	16.6.3	Bestäubung, Befruchtung und Samenbildung	333
Weiterführende Literatur		293	16.6.4	Phylogenetische Tendenzen	334
			16.7	Der versteckte Generationswechsel der Angiospermen	336
			16.7.1	Staubblätter und Pollenkörner	336
			16.7.2	Fruchtknoten und Samenanlagen	337

16.7.3	Bestäubung, Befruchtung, Samen- und Fruchtbildung	337
16.7.4	Phylogenetische Tendenzen	338
16.8	Die Pollenübertragung	342
16.8.1	Bestäubungsmechanismen	342
16.8.2	Phylogenetische Tendenzen	343
16.9	Die Früchte	344
16.10	Die Entwicklungstendenzen bei den Angiospermen	345
16.11	Zusammenfassender Überblick über die Klassen der Pteridophytina und Spermatophytina	351
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	351
	Weiterführende Literatur	353

Pflanzenorgane und Funktionen

17	Die Wurzel	357
17.1	Die Wurzel als besonderes, neues Organ der Sprosspflanzen (Kormophyten) beim Übergang zum Leben an Land	357
17.2	Der äußere Bau der Wurzeln	359
17.3	Der innere Bau der Primärwurzel	362
17.3.1	Wurzelhaube	362
17.3.2	Der Vegetationspunkt der Wurzel	362
17.3.3	Die Streckungs- und Differenzierungszone	366
17.3.4	Die Wurzelhaarzone	369
17.4	Seitenwurzeln	371
17.5	Sekundäres Dickenwachstum	373
17.6	Die Aufnahme von Wasser und Nährsalzen durch die Wurzeln	375
17.7	Die Metamorphosen der Wurzel	377
17.8	Signalübertragung in der Rhizosphäre: Allelopathie	379
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	380
	Weiterführende Literatur	381

18	Die Sprossachse	383
18.1	Die äußere Gliederung der Sprossachse	383
18.2	Die Verzweigung der Sprossachse	384
18.3	Der Vegetationskegel	385
18.3.1	Grundlage des Spitzenwachstums	385

18.3.2	Regulation der Stammzellenpopulation	390
18.3.3	Determination, Differenzierung und Streckung der vom SAM abgegebenen Zellen	391
18.4	Der Bau der primären Sprossachse	393
18.4.1	Gewebe der primären Sprossachse	393
18.4.2	Leitbündel	395
18.5	Das sekundäre Dickenwachstum	402
18.5.1	Kambium	402
18.5.2	Holz	404
18.5.3	Sekundäre Rinde (Bast)	407
18.5.4	Sekundäres Abschlussgewebe	407
18.5.5	Sekundäres Dickenwachstum der Monokotyledonen	409
18.6	Die Metamorphosen der Sprossachse	409
18.7	Die physiologischen Leistungen der Sprossachse	411
18.7.1	Wassertransport im Xylem	411
18.7.2	Ferntransport der Assimilate im Phloem	416
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	419
	Weiterführende Literatur	421

19	Das Blatt	423
19.1	Die Blatttypen: Ein Überblick	423
19.2	Die Entwicklung der Blätter	423
19.3	Die Keimblätter und die Niederblätter	425
19.4	Die Laubblätter	426
19.4.1	Äußere Gestalt	426
19.4.2	Phyllotaxis: Stellung und Ausrichtung der Blätter	428
19.4.3	Innerer Aufbau der Blattspreite	431
19.5	Die Hochblätter	440
19.6	Die Metamorphosen des Blattes	440
19.7	Die Funktionsweise der Blätter	442
19.7.1	Gasaustausch	442
19.7.2	Photosynthese	446
19.7.3	Xeromorphie der Blätter, ein Ausweg aus dem Gaswechseldilemma der Landpflanzen	453
19.7.4	Hygrophiten und Hydrophyten	453
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	457
	Weiterführende Literatur	459

Pflanzen in ihren Lebensräumen

- 20 Die Vegetation der Erde 463**
 - 20.1 Die lokale Gliederung der Vegetation: Die Pflanzengesellschaften 463
 - 20.2 Die großräumige Gliederung der Vegetation: Die Biome 466
 - 20.3 Die Biome verschiedener geographischer Breiten 467
 - 20.4 Die Zonierung der Vegetation durch die Höhenlage 475
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 478
- Weiterführende Literatur 478
- 21 Abiotische Umweltfaktoren 479**
 - 21.1 Netzwerk von fünf besonders wichtigen abiotischen Umweltfaktoren 479
 - 21.2 Ökosysteme und ihre Stoffkreisläufe unter dem Einfluss der abiotischen Umweltfaktoren 480
 - 21.3 Umweltfaktoren als Stressoren: das biologische Stresskonzept 481
 - 21.4 Der Faktor Licht 483
 - 21.4.1 Photomorphosen: Phytochrom, Cryptochrom und Phototropin 484
 - 21.4.2 Photoperiodismus 486
 - 21.5 Der Faktor Wasser 489
 - 21.6 Der Faktor Mineralstoffe 490
 - 21.7 Der Faktor Kohlendioxid 490
 - 21.7.1 CO₂-Konzentrierungsmechanismen 490
 - 21.7.2 C₄-Photosynthese und CAM als CO₂-Konzentrierungsmechanismen 491
 - 21.7.3 Der biochemische Reaktionsweg der C₄-Photosynthese 493
 - 21.7.4 Der biochemische Reaktionsweg des CAM 495
 - 21.7.5 Ökophysiologische Anpassungen durch C₄-Photosynthese und CAM in Bezug auf die Faktoren Kohlendioxid, Wasser und Strahlung 497
 - 21.8 Der Faktor Temperatur 503
 - 21.9 Faktorenvernetzung: Das molekular-genetische Regulationsnetz bei der Verarbeitung von Temperatur- und Lichtsignalen zur Blühinduktion 506
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 508
- Weiterführende Literatur 511

- 22 Biotische Umweltfaktoren: Symbiose und Parasitismus 513**
 - 22.1 Definitionen und allgemeine Gesichtspunkte 513
 - 22.2 Symbiosen 514
 - 22.2.1 N₂-fixierende Symbiosen 514
 - 22.2.2 Symbiosen zwischen Pflanzen und Pilzen 517
 - 22.3 Parasitismus bei Angiospermen 526
 - 22.3.1 Halbschmarotzer (Hemiparasiten) 527
 - 22.3.2 Vollschmarotzer (Holoparasiten) 528
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 530
- Weiterführende Literatur 531

Regulation der pflanzlichen Entwicklung

- 23 Molekulare Netzwerke der pflanzlichen Entwicklungsbiologie: Wachstum, Differenzierung, Altern und Tod 535**
 - 23.1 Einzeller, annuelle und perennierende Pflanzen 535
 - 23.2 Symmetriebrechung und Polaritätsinduktion 537
 - 23.3 Differenzierung, Korrelationen und Musterbildung 540
 - 23.4 Von der Samenkeimung bis zur Samenbildung 542
 - 23.4.1 Samenkeimung 542
 - 23.4.2 Fruchtwachstum und Samenbildung 543
 - 23.5 Programmierter Zelltod (Apoptose) 543
 - 23.6 Abscission 544
 - 23.7 Altern und Tod der ganzen Pflanze 545
 - 23.8 Primäre und sekundäre molekulare Botschafter und Signalnetze 546
 - 23.8.1 Die Phytohormone: Primäre molekulare Botschafter 546
 - 23.8.2 Die chemische Charakterisierung der Phytohormone 547
 - 23.8.3 Die Wirkungen der Phytohormone 549
 - 23.8.4 Der Nachweis von Phytohormonen: Biologische Tests 553
 - 23.8.5 Die Wirkungsweise der Phytohormone 554
 - 23.9 Sekundäre molekulare Botschafter 557
 - 23.10 Die Ausbreitung molekularer Signale und Musterbildung 560
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 562
- Weiterführende Literatur 564

24	Physikalische Signale	565
24.1	Aktionspotenziale	565
24.2	Erregungsleitung	566
24.3	Reaktionen	569
24.4	Formative Wirkungen	570
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	572
	Weiterführende Literatur	572

25	Die Ausnutzung des Lebensraums: Bewegungen	573
25.1	Phänomene	573
25.1.1	Äußerer Bewegungsverlauf	573
25.1.2	Reaktionsarten	575
25.1.3	Reizarten	576
25.1.4	Bewegungsmechanismen	576
25.2	Die Orientierung im Raum	578
25.2.1	Gravitropismus	578
25.2.2	Phototropismus	584
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	588
	Weiterführende Literatur	589

26	Chronobiologie	591
26.1	Grundbegriffe und Konventionen	591
26.2	Die Phänomene	592
26.3	Die circadianen Rhythmen	593
26.4	Die Regulationsnetzwerke circadianer Rhythmik	594
26.4.1	Eingangs-, Oszillator- und Ausgangsnetzwerke	594
26.4.2	Molekulare Grundlagen	594
26.4.3	Eine einzige zentrale Uhr oder viele selbstständige Oszillatoren?	597
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	599
	Weiterführende Literatur	600

Pflanzen und aktuelle Herausforderungen

27	Biotechnologie	603
27.1	Sammler und Ackerbauer	603
27.2	Konventionelle Biotechnologie unabhängig von der molekularbiologischen Revolution	604
27.3	Molekulare Biotechnologie	607
27.3.1	Isolierung und Klonierung von Genen	607
27.3.2	Transformation: Neue Eigenschaften in Empfängerpflanzen	609
27.3.3	Unterdrückung vorhandener Eigenschaften: Die Antisense und die RNA-Interferenz-Technik	612
27.3.4	Selektion, Regeneration und Austesten transgener Pflanzen	613
27.3.5	Neue Produkte der molekularbiologischen Revolution	615
27.4	Nutzen und Risiken, Segen und Fluch: die Ambivalenz unseres Tuns	616
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	618
	Weiterführende Literatur	620

28	Pflanzen als Ideengeber für Problemlösungen in der Technik: Bionik	621
28.1	Was ist Bionik?	621
28.2	Merkmale der Bionik	621
28.3	Vorgehensweisen der Bionik	622
28.3.1	Abstraktions-Bionik	623
28.3.2	Analogie-Bionik	629
28.4	Die Evolution als Vorbild für Optimierungsverfahren	637
28.5	Grenzen der Bionik	638
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	638
	Weiterführende Literatur	639

Sachverzeichnis	641
------------------------	-----