

Inhaltsverzeichnis

1.	Begriffliche Übersicht, Bedeutung von pflanzlichen und mikrobiellen Symbiosen und Endosymbiontentheorie der Chloroplasten- und Mitochondrienevolution	1
1.1.	Kommensalismus, Parasitismus und Symbiose (Mutualismus)	1
1.2.	Bedeutung von pflanzlichen Symbiosen	1
1.3.	Endosymbiontentheorie der Chloroplasten- und Mitochondrienevolution	3
2.	Spezifische Assoziationen von Mikroorganismen und Pflanzen	13
2.1.	Rhizosphäre	13
2.1.1.	Wurzelexsudation	13
2.1.2.	pH-Veränderungen in der Rhizosphäre	14
2.1.3.	Spezifische Bakterienpopulationen im wurzelnahen Bereich	19
2.1.3.1.	Chemotaxis in der Rhizosphäre	23
2.1.3.2.	Modell zur mikrobiellen Anreicherung in der Rhizosphäre	24
2.1.4.	Wirkung von Rhizosphärenmikroorganismen auf die Wurzelmorphologie und die Phosphatgehalte von Wurzeln und Sprossen	25
2.2.	Phyllosphäre	26
2.3.	Spermosphäre	29
2.4.	Phycosphäre	29
3.	Die Rhizobium/Bradyrhizobium-Fabales-Symbiose	31
3.1.	Der Mikrosymbiont: Rhizobium und Bradyrhizobium	31
3.1.1.	Taxonomie und Systematik	31
3.1.2.	Physiologie und Wachstum	35
3.1.2.1.	Energie-, C-, N- und H-Stoffwechsel	37
3.1.2.2.	Oberflächeneigenschaften (periplasmatische Proteine, EPS, LPS, CPS)	38
3.1.3.	Genetik	41
3.1.3.1.	Chromosomen und Plasmide	41
3.1.3.2.	nif-, fix- und nod-Gene	43
3.1.4.	Ökologie	47
3.1.4.1.	Konkurrenz und Überlebensfähigkeit im Boden	48
3.1.4.2.	Wachstum, Konkurrenz und Überlebensrate unter definierten Bedingungen und in Inokulumprodukten	51
3.1.5.	N ₂ -Fixierung in Reinkulturen von Bradyrhizobium japonicum	54
3.2.	Der Makrosymbiont (Wirtspflanzen): Fabales	56
3.2.1.	Systematische Übersicht	56
3.2.2.	Spezielle physiologische und biochemische Eigenschaften	58

3.2.3.	Ökologische Verbreitung und landwirtschaftliche Bedeutung	60
3.3.	Die Symbiose	62
3.3.1.	Erkennung	62
3.3.2.	Spezielle Eigenschaften von Wurzelhaaren von Fabales	65
3.3.3.	Infektion und Knöllchenentwicklung	67
3.3.3.1.	Noduline: Knöllchenspezifische Proteine	76
3.3.3.2.	Leghämoglobingene	77
3.3.3.3.	Weitere pflanzliche Gene, die an der Nodulation beteiligt sind	77
3.3.3.4.	Bakteroidendifferenzierung	79
3.3.4.	Cytologie und Ultrastruktur der Knöllchen	80
3.3.4.1.	Infizierte und nichtinfizierte Wirtszellen	82
3.3.4.2.	Peribakteroidenmembran und Peribakteroidenraum	85
3.3.5.	N ₂ -Fixierung	88
3.3.5.1.	Nitrogenase: Struktur, Funktion und Regulation	89
3.3.5.2.	O ₂ -Schutzmechanismen: Korkschichten, Leghämoglobin, Atmungsra- ten, wassergefüllte Diffusionsbarrieren	92
3.3.5.3.	Fixierungsraten pro g Knöllchen, pro Pflanze und pro Hektar	94
3.3.5.4.	Abhängigkeit der N ₂ -Fixierung von Klima- und Bodenfaktoren sowie von der Pflanzenentwicklung	96
3.3.5.5.	Wirkung von NH ₄ - und Nitratdüngung, Nitrattolerante Pflanzenmu- tanten	99
3.3.5.6.	N- und C-Stoffwechsel, Beziehung von N ₂ -Fixierung zu Atmung, Photo- synthese und H ₂ -Produktion	102
3.3.6.	Sproß-Knöllchen: <i>Sesbania spec.</i>	109
3.3.3.7.	Gentechnologie für neue N ₂ -fixierende Symbiosen	110
4.	Die Bradyrhizobium sp.-Parasponia-Symbiose	113
5.	Actinorhiza	115
5.1.	Der Mikrosymbiont: Frankia	115
5.1.1.	Taxonomie und Systematik	115
5.1.2.	Physiologie, Biochemie und Genetik	116
5.2.	Der Makrosymbiont: die Wirtspflanzen	117
5.2.1.	Systematische Übersicht	117
5.2.2.	Ökologische und wirtschaftliche Bedeutung	119
5.2.3.	N ₂ -Fixierung pro Hektar und Jahr	120
5.3.	Infektion und Entwicklung der Actinorhiza	120
5.3.1.	Infektion der Wurzelhaare und Rindenzellen, Bildung der primären Actinorhiza	120
5.3.2.	Bildung der sekundären Actinorhiza, Entwicklung von Hyphen, Vesi- keln und Sporen des Symbionten	121
5.3.3.	Überkreuzinokulationen	125
5.3.4.	Einfluß von Bodenfaktoren auf die Infektiosität und die Entwicklung . .	125
5.4.	Funktion und Struktur der Actinorhiza	126
5.4.1.	Nitrogenaseaktivität pro Gramm Actinorhiza	127
5.4.2.	Nitrogenaseaktivität in Reinkulturen des Symbionten	128
5.4.3.	O ₂ -Schutzmechanismen	129
5.4.4.	Ammoniumassimilation	130
5.4.5.	Weitere biochemische Kennzeichen der Actinorhiza	131
5.4.6.	Cytologie und Feinstruktur infizierter Zellen	133

6.	Weitere Bakterien-Symbiosen	134
6.1.	Algen als Wirtszellen	134
6.2.	Protozoen als Wirtszellen	134
6.3.	Die Blattsymbiosen von Rubiaceen und Myrsinaceen	138
6.4.	Insekten und Würmer als Wirte	140
6.4.1.	Schaben und Termiten.	141
6.4.2.	Kornkäfer und Ambrosiakäfer.	141
6.4.3.	Tsetsefliegen und Läuse.	141
6.4.4.	Röhrenwürmer	142
6.5.	Die symbiotischen Leuchtorgane von Fischen	143
6.6.	Die Pansensymbiose der Wiederkäuer.	145
6.6.1.	Bakterien und Phycomycten	145
6.6.2.	Ciliaten	148
6.6.3.	Symbiotischer Stoffwechsel	148
7.	Cyanobaktériensymbiosen (außer Flechten)	150
7.1.	Endocyanome	150
7.2.	Die Diatomeen-Cyanobakterien-Symbiose	153
7.3.	Die Bryophyten-Nostoc-Symbiose	154
7.3.1.	Anthoceros	154
7.3.2.	Blasia, Cavicularia und andere Lebermoose	155
7.4.	Die Azolla-Anabaena-Symbiose	156
7.4.1.	Morphologie und Entwicklung der Symbiose.	156
7.4.2.	Heterocystenbildung und Funktion	160
7.4.3.	Ökologische und landwirtschaftliche Bedeutung	163
7.5.	Die Cycadaceen-Nostoc/Anabaena-Symbiose	163
7.6.	Die Gunnera-Nostoc-Symbiose	167
7.7.	Tierische Symbiosen mit Cyanobakterien und Prochloron	169
7.7.1.	Schwämme.	169
7.7.2.	Tunikaten	169
7.7.3.	Polarbären	170
8.	Phyko-Symbiosen	171
8.1.	Die Plastiden der Cryptophyten als reduzierte symbiotische Zellen	171
8.2.	Dinophyten als Symbionten	171
8.2.1.	Riffbildende Korallen	175
8.3.	Chlorophyten als Symbionten	176
8.3.1.	Die Hydra-Chlorella-Symbiose	176
8.3.2.	Die Ciliaten-Chlorella-Symbiose	179
8.3.3.	Die Convoluta-Platymonas-Symbiose	181
8.4.	Chrysophyten als Symbionten	182
8.5.	Rhodophyten als Symbionten	183
8.6.	Chloroplasten von Algen als Organelle in Gastropoden	183
9.	Vesikulär-arbuskuläre (VA-)Mycorrhiza	186
9.1.	Der Mikrosymbiont	186
9.1.1.	Taxonomie.	186
9.1.2.	Physiologie und Ökologie.	187
9.2.	Wirtspflanzen (Makrosymbionten) und „Nichtwirtspflanzen“	189

9.3.	Entwicklung und Funktionen der Symbiose	191
9.3.1.	Infektion und Differenzierung der Strukturen der VA-Mycorrhiza	191
9.3.2.	Entwicklung und Stoffwechsel	194
9.3.3.	Einfluß von Klima- und Bodenfaktoren	197
9.3.4.	Ernährungsphysiologische Wechselbeziehungen	198
9.3.4.1.	Phosphate	199
9.3.4.2.	Spurenelemente und weitere Makroelemente	201
9.3.4.3.	Kohlenhydrate und Lipide	201
9.3.5.	Ökologische und wirtschaftliche Bedeutung	201
9.3.5.1.	Ertragssteigerungen von Pflanzen nach VAM-Beimpfung	203
9.3.5.2.	Wirkung der VAM auf die Resistenz gegenüber Pathogenen	205
10.	Ektomycorrhiza, Ericales-Mycorrhiza und Orchideen-Mycorrhiza	207
10.1.	Ektomycorrhiza	207
10.1.1.	Mikrosymbionten und Wirte (Makrosymbionten)	207
10.1.2.	Strukturen und Entwicklung der Ektomycorrhiza	211
10.1.3.	Physiologie der symbiotischen Pilze	215
10.1.4.	Stoffaustausch zwischen Symbiont und Wirtspflanzen	217
10.1.4.1.	Kohlenhydrate	217
10.1.4.2.	Mineralische Nährstoffe	218
10.1.5.	Ökologische Verbreitung	219
10.1.6.	Wirtschaftliche Bedeutung und praktische Anwendung	221
10.1.6.1.	Produktion und Anwendung von Inokula	221
10.1.6.2.	Ekto-Mycorrhiza und Wurzelkrankheiten	222
10.2.	Ekt-endo-Mycorrhiza bei Koniferen	223
10.3.	Mycorrhiza der Ericales	224
10.3.1.	Ericaceae	224
10.3.2.	Arbutus und Monotropa	226
10.4.	Die Mycorrhiza der Orchideen	226
10.4.1.	Wirtspflanzen und Symbionten	227
10.4.2.	Entwicklung und Strukturen der Mycorrhiza	227
10.4.3.	Ernährungsphysiologie	229
11.	Literatur	231
12.	Sachverzeichnis	235