
Allgemeine Mykologie

Herausgegeben von **Herbert Weber**

Bearbeitet von

**G. R. W. Arnold, H. Dörfelt, D. Gröger, W. Hirte, E. Jelke,
P. Kielstein, H. Kreisel, W. Künkel, W. Roos, M. Schmiedeknecht,
Gunhild Straube, H. Weber**

Mit 206 Abbildungen und 66 Tabellen



Gustav Fischer Verlag Jena · Stuttgart · 1993

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	19
1.1.	Entwicklung der Mykologie	19
1.2.	Herausragende Merkmale und Leistungen der Pilze	23
2.	Zytologie und Morphologie	28
2.1.	<i>Zytologie</i>	28
2.1.1.	Zytoplasmamembran	28
2.1.2.	Zytoplasma	30
2.1.2.1.	Zytoskelett	31
2.1.2.2.	Zentriol	34
2.1.2.3.	Geißel	35
2.1.2.4.	Ribosomen.	36
2.1.2.5.	Mykoviren	36
2.1.3.	Endoplasmatisches Retikulum	37
2.1.4.	Diktyosomen/Golgi-Apparat	38
2.1.5.	Coated vesicles	39
2.1.6.	Microbodies	39
2.1.7.	Organellen des Zellwachstums und der Zellwandsysteme	41
2.1.8.	Vakuole.	45
2.1.9.	Zellkern	46
2.1.9.1.	Interphasekern	46
2.1.9.2.	Teilungskern	51
2.1.10.	Mitochondrien.	56
2.1.11.	Zellwand	59
2.1.12.	Zellteilung	62
2.2.	<i>Morphologie</i>	64
2.2.1.	Vegetative Strukturen	64
2.2.1.1.	Plasmodien	64
2.2.1.2.	Hyphen	66
2.2.1.3.	Dauerformen	68
2.2.1.4.	Sproßzellen	71
2.2.1.5.	Dimorphismus	73
2.2.2.	Reproduktive Strukturen	75
2.2.2.1.	Vegetative Reproduktion (Anamorphen)	75
2.2.2.2.	Sexuelle Reproduktion	87

2.2.3.	Sporenceimung	102
2.2.4.	Myzelformen in flüssigem Substrat	104
2.2.4.1.	Emers-Kultur von Pilzen	104
2.2.4.2.	Submers-Kultur von Pilzen	104
3.	Fortpflanzung und Vermehrung	111
3.1.	Asexuelle Fortpflanzung	112
3.2.	Sexuelle Fortpflanzung	112
3.3.	Befruchtungsformen	113
3.4.	Phasen der Befruchtung	114
3.5.	Entwicklungszyklen	115
3.5.1.	Generationswechsel	115
3.5.2.	Zellzyklus	115
3.5.3.	Lebenszyklen	116
3.6.	Parasexualzyklus	122
3.7.	Fortpflanzungssysteme	123
3.7.1.	Monözie und Diözie	124
3.7.2.	Heterothallie und Homothallie	125
3.7.3.	Sexuelle Unverträglichkeit (Inkompatibilität)	125
3.8.	Mechanismen sexueller Prozesse	127
3.8.1.	Genetische Kontrolle der Paarungstypen	128
3.8.2.	Paarungstyp-Interkonversion	128
3.8.3.	Wirkung von Sexualstoffen	130
4.	Molekularbiologie und Genetik	132
4.1.	Molekulare Organisation der genetischen Information der Pilzzelle	133
4.4.1.	Kerngenom	133
4.1.2.	Extrachromosomale Erbträger	136
4.1.2.1.	Mitochondriales Genom	137
4.1.2.2.	Plasmide	139
4.1.2.3.	Killer-Determinanten	142
4.2.	Austauschprozesse genetischer Information	145
4.2.1.	Sexuelle Rekombinationsprozesse	145
4.2.2.	Parasexuelle Prozesse	147
4.2.2.1.	Bedeutung parasexueller Prozesse für die Züchtung	147
4.2.2.2.	Genstransfer durch Protoplastenfusion	148
4.2.2.3.	Transformation und Klonierung von Genen	152
4.3.	Erzeugung von Mutanten	156
4.3.1.	Inaktivierung und Mutanteninduktion	156
4.3.2.	Mutantenanreicherung	157
4.3.3.	Mutantenselektion und -charakterisierung	158

4.4.	Genetische Methoden zur Manipulation industriell genutzter Pilze . . .	159
4.4.1.	Optimierung durch Mutagenese	161
4.4.2.	Nutzung sexueller Prozesse	161
4.4.3.	Anwendung parasexueller Prozesse	163
4.4.4.	Anwendung gentechnischer Methoden	164
4.4.5.	Fragen der biologischen Sicherheit	166
5.	Transportprozesse und Kompartimentierung	170
5.1.	Grundlagen der räumlichen Organisation der Pilzzelle	170
5.2.	Dynamik der zellulären Membransysteme	171
5.2.1.	Exozytose	172
5.2.2.	Endozytose	172
5.2.3.	Membranfluß	172
5.3.	Transfer von Proteinen in der Pilzzelle	173
5.3.1.	Membrantransfer von Proteinen	174
5.3.1.1.	Mitochondriale Proteine	174
5.3.1.2.	Proteinimport in Peroxysomen und Glyoxysomen	176
5.3.1.3.	Transfer durch die Membran des endoplasmatischen Retikulums	176
5.3.1.4.	Ein einheitlicher Grundmechanismus für den Membrantransfer von Proteinen	177
5.3.2.	Vesikeltransfer	178
5.3.2.1.	Posttranslationale Modifikation von Proteinen während des Vesikeltransfers	179
5.3.2.2.	Sortierung und Zielorientierung von Proteinen im Golgi-System	180
5.3.2.3.	Transfer von Vesikeln zu den Zielmembranen	182
5.3.2.4.	Membransynthese und Membranproteine	183
5.4.	Transport von Mikromolekülen	184
5.4.1.	Grundprinzip des Carriertransports	184
5.4.2.	H ⁺ -Pumpen der Pilzzelle	185
5.4.3.	Transportsysteme der Zytoplasmamembran	189
5.4.3.1.	Permease-Muster	189
5.4.3.2.	Transportsysteme im Dialog zwischen Zelle und Umwelt	192
5.5.	Kompartimentierung und Channeling	195
5.5.1.	Übersicht	195
5.5.2.	Vakuolärer Transport und Kompartimentierung	196
5.5.3.	Mitochondriale Transportsysteme	199
5.5.4.	Metabolische Kooperation zwischen Organellen in der Pilzzelle	199
5.5.4.1.	Enzymausstattung von Microbodies und Stoffaustausch mit den Mitochondrien	200
5.5.4.2.	Kooperation von Vakuolen und Mitochondrien im Aminosäurestoffwechsel von <i>Neurospora</i>	201
6.	Das System der Pilze	205
6.1	Taxonomie – Nomenklatur – Klassifizierung	205
6.2.	Das Reich der Pilze	217

6.2.1.	Myxomycota	217
6.2.1.1.	Acrasiomycetes	217
6.2.1.2.	Protosteliomycetes	218
6.2.1.3.	Ceratiomyxomycetes	218
6.2.1.4.	Dictyosteliomycetes	218
6.2.1.5.	Myxomycetes	219
6.2.1.6.	Plasmodiophoromycetes	219
6.2.1.7.	Labyrinthulomycetes	220
6.2.2.	Eumycota	220
6.2.2.1.	Mastigomycotina	220
6.2.2.2.	Zygomycotina	224
6.2.2.3.	Ascomycotina	227
6.2.2.4.	Basidiomycotina	239
6.2.2.5.	Deuteromycotina	247
6.3.	Evolution und phylogenetische Zusammenhänge	251
7.	Ökologie der Pilze	259
7.1.	Lebensbedingungen der Pilze	259
7.2.	Lebensweise der Pilze	261
7.2.1.	Saprophytische Pilze	261
7.2.2.	Symbiotische Pilze	266
7.2.2.1.	Ektotrophe Mykorrhiza	268
7.2.2.2.	Endotrophe Mykorrhiza	271
7.2.2.3.	Vesikulär-arbuskuläre Mykorrhiza	272
7.2.2.4.	Myzetome der Insekten	273
7.2.2.5.	Lichenisierte Pilze	273
7.2.3.	Parasitische Pilze	277
7.3.	Verbreitungsbiologie der Pilze	280
7.3.1.	Autochorie	281
7.3.2.	Anemochorie	281
7.3.3.	Hydrochorie	283
7.3.4.	Zoochorie	284
7.4.	Pilzsoziologie	285
7.4.1.	Phytozönologische Pilzfloristik	286
7.4.2.	Phytozönologische Pilzsoziologie	287
7.4.3.	Mykozönotik	287
7.4.4.	Flechtengesellschaften	288
7.5.	Pilzgeographie	288
7.6.	Pilzschutz	289
8.	Leistungen und praktische Bedeutung der Pilze	293
8.1.	<i>Kultur von Speisepilzen</i>	293
8.1.1.	Kulturchampignon	295
8.1.2.	Schwarzstreifiger Scheidling (Reisstrohscheidling)	296

8.1.3.	Riesenträuschling	296
8.1.4.	Shiitake	296
8.1.5.	Weitere Speisepilze und ihre Kultur	297
8.2.	<i>Pilze in der Lebensmittelindustrie</i>	299
8.2.1.	Charakteristika der Produktionsverfahren	300
8.2.2.	Nutzung von Hefen in der Backwarenindustrie	301
8.2.3.	Herstellung alkoholischer Getränke	304
8.2.3.1.	Weinherstellung	306
8.2.3.2.	Bierherstellung	310
8.2.3.3.	Ethanolherstellung	312
8.2.4.	Pilze bei der Verarbeitung tierischer Rohstoffe	315
8.2.4.1.	Verwendung in der Milchindustrie	315
8.2.4.2.	Verwendung in der Fleisch- und Fischindustrie	318
8.2.5.	Pilze bei der Herstellung ostasiatischer Lebensmittel	319
8.2.6.	Fermentation von Kaffee, Tee, Kakao und Tabak	324
8.2.7.	Pilze als Produzenten organischer Genußsäuren	324
8.2.7.1.	Citronensäureproduktion	325
8.2.7.2.	Gluconsäureproduktion	329
8.2.8.	Pilze als Enzymproduzenten	331
8.2.9.	Pilze als Vitamin- und Aromaproduzenten	340
8.2.10.	Lebensmittelverderb durch Pilze	342
8.3.	<i>Eiweiß aus Pilzen</i>	347
8.3.1.	Hefen und filamentöse Pilze als Eiweißproduzenten	348
8.3.2.	Traditionelle und neue Substrate für die Erzeugung mikrobieller Biomasse	348
8.3.3.	Nährwert mikrobieller Biomasse	351
8.3.4.	Bildung heterologer Proteine in Pilzen	352
8.4.	<i>Produkte des Sekundärstoffwechsels</i>	355
8.4.1.	Das Reich der Sekundärmetabolite	355
8.4.2.	Biogenese der Sekundärmetabolite und Aspekte der Regulation	356
8.4.3.	Antibiotika	358
8.4.3.1.	β -Lactam-Antibiotika	358
8.4.3.2.	Verschiedene Antibiotika aus filamentösen Pilzen	361
8.4.3.3.	Antibiotika aus Basidiomyceten	362
8.4.4.	Weitere pharmakologisch wirksame Pilzinhaltsstoffe	363
8.4.4.1.	Mutterkorn	363
8.4.4.2.	Pilzinhaltsstoffe mit halluzinogener Wirkung	365
8.4.4.3.	Cyclosporin	366
8.4.5.	Wachstumsregulatoren pilzlicher Herkunft	367
8.4.5.1.	Gibberelline	367
8.4.5.2.	Weitere Phytohormone aus Pilzen und Fusicoccin	369
8.4.6.	Farbstoffe	369
8.4.7.	Mykotoxine	372
8.4.8.	Giftstoffe in Pilzen	376
8.5.	<i>Biotransformationen</i>	381
8.5.1.	Technik der mikrobiellen Transformation	382

8.5.2.	Mikrobielle Umwandlung von Steroiden	383
8.5.3.	Biotransformationen zur Gewinnung von Aminosäuren	384
8.5.4.	Biotransformationen zur Gewinnung pharmazeutischer Produkte	385
8.6.	<i>Abbauleistungen</i>	388
8.6.1.	Abbau von Naturstoffen	388
8.6.1.1.	Polysaccharide	388
8.6.1.2.	Lipide	393
8.6.1.3.	Proteine	393
8.6.1.4.	Kohlenwasserstoffe	393
8.6.1.5.	Lignin	398
8.6.2.	Abbau von Xenobiotika	400
8.6.2.1.	Persistenz von Xenobiotika	401
8.6.2.2.	Enzymatische Reaktionsmechanismen	401
8.6.2.3.	Praktische Bedeutung	404
8.6.3.	Materialzerstörung durch Pilze (Biodeterioration)	404
8.6.3.1.	Holz, Papier, Pflanzenfasern	406
8.6.3.2.	Wolle, Leder	407
8.6.3.3.	Farben, Anstriche, Gemälde	408
8.6.3.4.	Pharmazeutika, Kosmetika	408
8.6.3.5.	Treibstoffe, technische Öle und Schmiermittel, Bitumen	409
8.6.3.6.	Gummi und Kunststoffe	409
8.6.3.7.	Metalle	410
8.6.3.8.	Glas	410
8.6.3.9.	Gestein, mineralische Baustoffe	410
8.6.3.10.	Elektrische Anlagen	411
8.6.3.11.	Bekämpfung materialzerstörender Pilze, Materialschutz	411
8.7.	<i>Wechselwirkungen zwischen Pilzen und Metallen</i>	414
8.7.1.	Toxizität	414
8.7.2.	Resistenz	415
8.7.3.	Wechselwirkungen	415
8.7.4.	Biotechnologische Anwendungen	418
8.7.4.1.	Laugung (Leaching)	418
8.7.4.2.	Biosorption	418
8.8.	<i>Biologische Schädlingsbekämpfung mit Pilzen</i>	420
8.8.1.	Entomopathogene Pilze	422
8.8.2.	Nematodenpathogene Pilze	429
8.8.3.	Unkrautbekämpfung	430
8.8.4.	Pilze gegen Pilze	432
9.	Pflanzenpathogene Pilze	436
9.1.	Parasit-Wirt-Beziehungen	436
9.2.	Infektion	444
9.3.	Pathogenese	447
9.4.	Wirkungsmechanismen phytopathogener Pilze	449

9.4.1.	Zell- und Gewebeerstörungen	450
9.4.2.	Stoffwechselstörungen	452
9.4.3.	Wachstumsstörungen	455
9.4.4.	Störungen der Reproduktion	456
9.4.5.	Rhythmus- und Phasenstörungen	458
9.5.	Klassifizierung der Mykosen	459
9.6.	Epidemiologie von Mykosen	462
9.7.	Ertragsverluste durch Mykosen und ihre Verhütung	463
9.8.	Zusammenfassung	465
10.	Pilze als Krankheitserreger bei Mensch und Tier	467
10.1.	Formen der Mykosen	467
10.2.	Einteilung und Übertragung der medizinisch wichtigen Pilze	468
10.2.1.	Dermatophyten	468
10.2.2.	Schimmelpilze	472
10.2.3.	Hefen	472
10.2.4.	Dimorphe Pilze	474
10.3.	Erreger-Wirt-Beziehungen	474
10.4.	Terminologie der Mykosen	479
10.5.	Dermatomykosen	482
10.5.1.	Dermatophytosen bei Mensch und Tier	483
10.5.2.	Hefe- und Schimmelpilzmykosen der Haut	486
10.6.	Systemmykosen (Endomykosen)	487
10.6.1.	Systemmykosen durch Sproßpilze	487
10.6.1.1.	Gattung <i>Candida</i>	487
10.6.1.2.	Gattung <i>Trichosporon</i>	488
10.6.1.3.	Gattung <i>Cryptococcus</i>	488
10.6.1.4.	Gattung <i>Malassezia</i>	489
10.6.2.	Systemmykosen durch Schimmelpilze	489
10.6.3.	Erkrankungen durch dimorphe Pilze	490
10.7.	Mykogene Allergien	491
10.8.	Bekämpfung der Mykosen bei Mensch und Tier	492
10.9.	Mykotoxikosen bei Mensch und Tier	494
10.9.1.	Definition	494
10.9.2.	Mykotoxinbildende Mikromyzeten	495
10.9.3.	Bildungs- und Übertragungsbedingungen für Mykotoxine	495
10.9.4.	Chemie und Wirkungsmechanismus der Mykotoxine	497
10.9.5.	Diagnostik von Mykotoxikosen	498
10.9.6.	Verhütung von Mykotoxikosen	499
10.9.7.	Erkrankungen durch Mykotoxine	500
10.9.7.1.	<i>Fusarium</i> -Mykotoxikosen	500

10.9.7.2. Ochratoxikose 501
10.9.7.3. Aflatoxikose 504
10.9.7.4. Mutterkornvergiftung (Ergotismus) 505
10.9.7.5. Weitere Mykotoxikosen 505
Gattungs- und Artenverzeichnis 507
Sachregister 523