

Die Ektomykorrhizen von *Scleroderma citrinum**

Kerstin WALLER, S. RAIDL & R. AGERER

Institut für Systematische Botanik der Universität München
Menzinger Straße 67, D - 80638 München

Eingegangen am 7. März 1993

Waller, Kerstin, S. Raidl & R. Agerer (1993) - Ectomycorrhizae of *Scleroderma citrinum*. Z. Mykol. 59 (2): 141-153.

Key Words: *Betula pendula*, characterization, ectomycorrhizae, *Pinus sylvestris*, rhizomorphs, *Scleroderma citrinum*.

S u m m a r y: The ectomycorrhizae of *Scleroderma citrinum* are characterized by a plectenchymatous mantle composed of net-like arranged hyphal bundles and by highly differentiated rhizomorphs with centrally arranged thick hyphae. These 'vessel-like' hyphae are enveloped by a layer of thin hyphae; the outer part of the rhizomorph is formed by somewhat thicker hyphae. The septa of the thick, central hyphae can be partially or completely dissolved. Comparing the ectomycorrhizae on pine with those on birch, there are, however, host dependent differences in the type of ramification, in the shape of the cortex cells and of the Hartig net.

Z u s a m m e n f a s s u n g: Die Ektomykorrhizen von *Scleroderma citrinum* an *Betula pendula* und *Pinus sylvestris* werden ausführlich beschrieben und verglichen. Wichtige Merkmale sind ein aus gebündelten Hyphen netzig aufgebauter Mantel und hochdifferenzierte Rhizomorphen mit großlumigen Zentralhyphen, deren Septen ganz oder teilweise aufgelöst sein können. Die Zentralhyphen sind von einer Scheide sehr dünner Hyphen umgeben, an die sich nach außen hin wieder etwas größerlumige Hyphen anschließen. Unterschiede treten lediglich in den vom Baumpartner bestimmten Merkmalen des Verzweigungstyps und der Gestalt von Rindenzellen und Hartigschem Netz auf.

Für mehrere Arten der Gattung *Scleroderma* sind bereits Ektomykorrhizen synthetisiert oder aus dem Boden isoliert und zumindest an Hand einiger Merkmale charakterisiert worden: *Scleroderma areolatum* Ehrenb.: GODBOUT & FORTIN (1985) - *Scleroderma bovista* Fr.: MARX & BRYAN (1969), RICHTER & BRUHN (1989) - *Scleroderma capense* Lloyd: DUCOUSSO (1991) - *Scleroderma cepa* Pers. (incl. der nach JÜLICH (1984) synonymen Art *S. flavidum* Ell. & Ev.): DUCOUSSO (1991), PRYOR (1956), RICHTER & BRUHN (1989) - *Scleroderma citrinum* Pers. (incl. der nach JÜLICH (1984) synonymen Arten *S. aurantium* (Vail.) Pers. und *S. vulgare* Fr.): BRUNNER et. al. (1992), GODBOUT & FORTIN (1985), MASUI (1927), MODESS (1941), RICHTER & BRUHN (1986), VOIRY (1981) - *Scleroderma dictyosporum* Pat.: DUCOUSSO (1991) - *Scleroderma geaster* Fr.: ROSE et al. (1981) - *Scleroderma hypogaeum* Zeller: MOLINA (1979), MOLINA & TRAPPE (1982) - *Scleroderma meridionale* Demo. & Malen.: RICHTER & BRUHN (1989) - *Scleroderma polyrhizum* Pers.: RICHTER & BRUHN (1989) - *Scleroderma verrucosum* Bull.: Pers.: CHU-CHOU & GRACE (1983), DUCOUSSO (1991), TAPAR et al. (1967).

*) Gilt als Studien an Ektomykorrhizen XLVI. - Studien an Ektomykorrhizen XLV (AGERER et al. 1993)

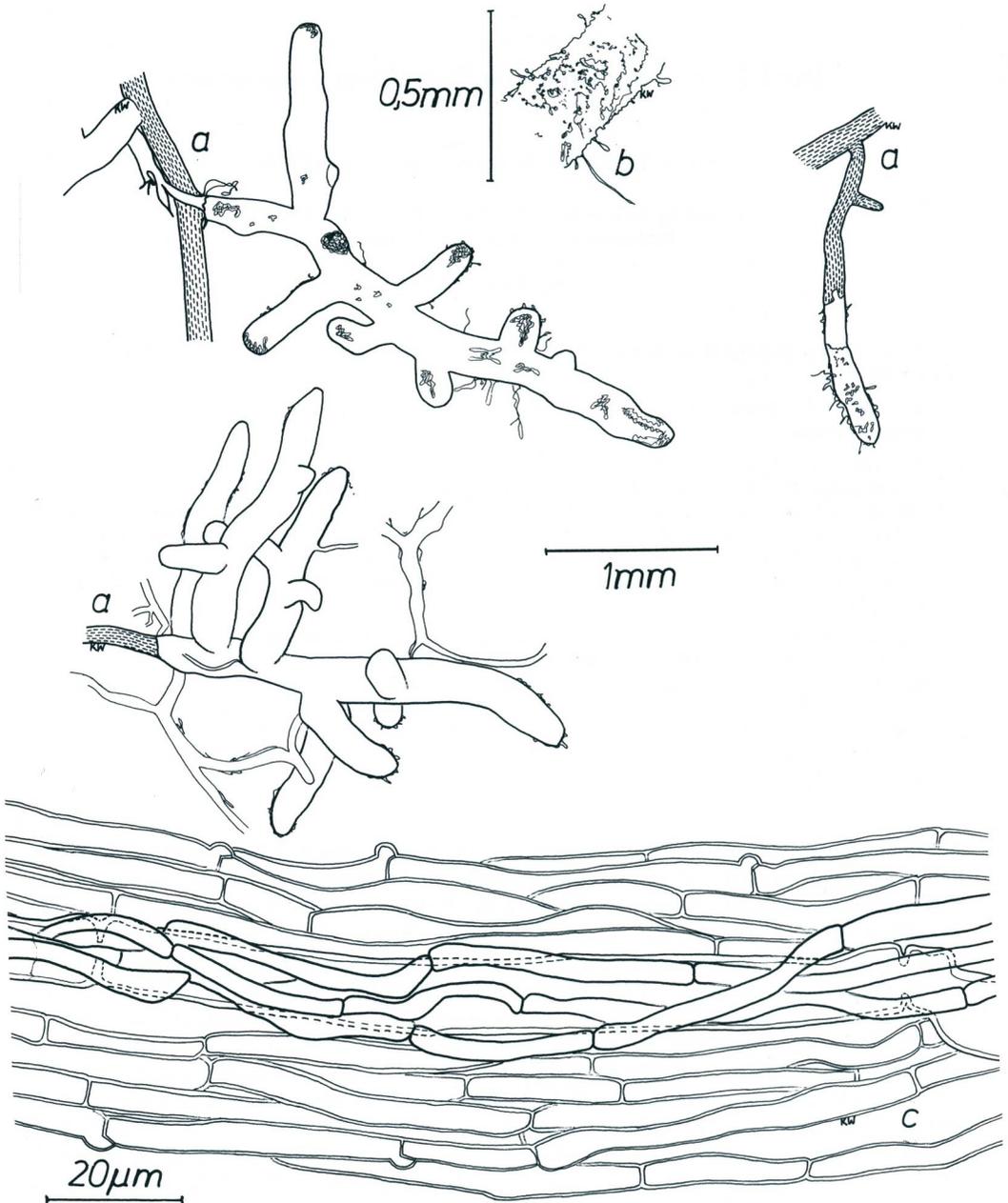


Abb. 1: *Scleroderma citrinum* an *Betula pendula*. - a. Monopodial-pyramidale Mykorrhizensysteme und unverzweigtes Exemplar; Mantel stellenweise dunkelfleckig nach Verdrängen von zunächst im Mantel eingeschlossener Luft durch Wasser. - b. Teilvergrößerung von a. - c. Hochorganisierte Rhizomorpe aus drei unterschiedlichen Hyphenarten: dicke Zentralhyphe ist von zarten, gewundenen Hyphen umgeben, zum Rand hin werden die Hyphen dickerwandig und größerlumig. (Alle Abbildungen von RA 11713).

Da moderne Analysen bisher fehlen, wird im folgenden eine ausführliche Beschreibung der Ektomykorrhizen von *Scleroderma citrinum* an *Betula pendula* und eine kürzere für *S. citrinum* an *Pinus sylvestris* gegeben.

Die Darstellung der Methoden zur Isolierung und zur Analyse von Ektomykorrhizen und deren wichtigste Merkmale sind bereits an anderer Stelle veröffentlicht (AGERER 1991), ebenso ein Glossar für die benutzten Termini (AGERER 1987-1992). Die unten beschriebenen Schnitte sind nach Einbettung in Historesin angefertigt worden.

I. *Scleroderma citrinum* Pers. an *Betula pendula* Roth

Referenzbeleg: Deutschland, Hessen, Lkr. Offenbach, 2-3 km östlich von Egelsbach, zwischen Egelsbach und der alten Autobahn Frankfurt-Heidelberg, in saurem, humosem, fast mineralstofffreiem Oberboden, nördliches Ende des Oberrheintalgrabens mit Flugsand aus dem Quartär, alter aufgelassener Torfstich, an Birkenschößlingen auf einer umgefallenen Kiefer; leg. H. Zinth, 22.7.1992; Fruchtkörper RA 11710 und Ektomykorrhizen RA 11713 in Herb. R. Agerer (in M).

1. HABITUS (Abb. 1a)

Irregulär monopodial-pyramidal; Seitenäste und Achsen gebogen; Mykorrhizensystem bis 11 mm lang, Seitenäste bis 6 mm lang und 0,3-0,8 mm im Durchmesser, Achse 0,6-0,9 mm im Durchmesser; Mantel durch eingeschlossene Luft silbrig-weiß, Oberfläche netzartig und leicht glänzend, Luft an manchen Stellen des Mantels verdrängt, hier die braune Wurzel durchscheinend. Abziehende Hyphen einen zarten Flaum um die Ektomykorrhiza bildend. Rhizomorphen weiß, Oberfläche dicht flaumig durch zahlreiche aus dem Rhizomorphenverband ausfasernde Hyphen, Rhizomorphen den Mantel locker umgebend, häufig von der Mykorrhizenbasis, aber auch von anderen Stellen, jedoch nie von der Mykorrhizenspitze abgehend, Ansatzstelle der Rhizomorphen am Mantel distinkt.

2. MIKROSKOPISCHE MERKMALE

2.1. Anatomie des Mantels in Flächenansicht

Manteloberfläche (Abb. 2a, Tafel 1a,b) plectenchymatisch, netzartig aus gebündelt verlaufenden Hyphen aufgebaut (Manteltyp A: AGERER 1991), farblos, mit Schnallen; Zellen 30-45 μm lang und 2,5-5 μm im Durchmesser, Zellwand 0,5 μm dick.

Mittlere Mantelschichten (Abb. 2b, Tafel 1c) aus verdichtetem Hyphennetz bestehend, Zellen farblos, mit Schnallen, 30-50 μm lang und 2,5-5 μm im Durchmesser, Zellwand 0,5 μm dick, mit Tendenz zum Verquellen.

Mantelinnenseite: (Abb. 2c, Tafel 1d) dicht plectenchymatische bis pseudoparenchymatische Inseln durch langgestreckte Hyphen voneinander getrennt, farblos-hyalin, mit Schnallen, Zellen 15-40 μm lang und 3-5 μm im Durchmesser, Zellwand 0,5 μm dick; Zahl der Zellen in 20 x 20 μm : 19-22.

Mantel der Mykorrhizenspitze: mit gleichem Aufbau.

2.2. Abziehende Elemente

Abziehende Hyphen (Tafel 1f) farblos-hyalin, z. Teil sehr fein rau, mit Schnallen; dichtes Netz auf dem Mantel bildend, nach außen auflockernd; Septenabstand 50-75 μm , Hyphen 3,5 μm im Durchmesser, Zellwand 0,5 μm dick. Anastomosen einfach.

Cystiden fehlen.

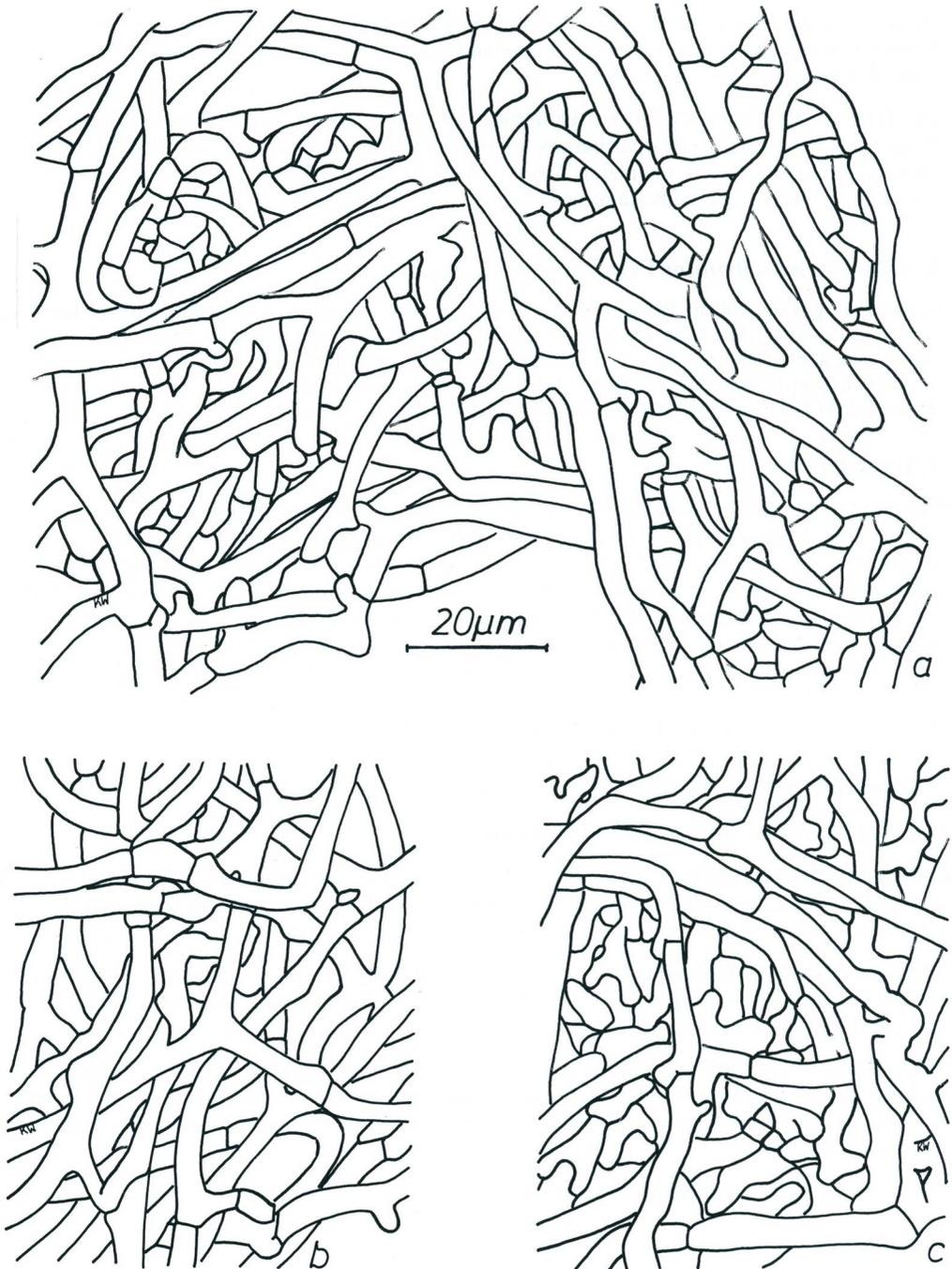


Abb. 2: *Scleroderma citrinum* an *Betula pendula*. a. Mantelaufsicht, plectenchymatisches Netz aus längeren, gebündelten Hyphen, dazwischen kürzere Hyphen aus tieferen Schichten sichtbar. - b. Mittlere Mantelschicht: Plectenchym mit Schnallen. - c. Mantelinnenseite: stellenweise dicht plectenchymatisch bis pseudoparenchymatisch mit längeren zwischenliegenden Hyphen. (Alle Abbildungen von RA 11713).

Rhizomorphen (Abb. 1c, Tafel 1e, 2c,d,e) 20-400 μm im Durchmesser, häufig sich abflachend und sich mattig verzweigend, mit abziehenden Hyphen, hochdifferenziert (Typ F: AGERER 1991), Hyphen farblos-hyalin, sehr wenige der äußeren Rhizomorphenhyphen sehr fein rau; Zentralhyphen z. T. mit aufgelösten Septen, von dünneren Hyphen umwunden, diese von größerlumigen, Schnallen tragenden Hyphen umgeben; Hyphen der Rhizomorphenoberfläche und ihre abziehenden Hyphen häufig mit kleineren Septenabständen sowie bevorzugt im Schnallenbereich mit bis 12 μm dicken Anschwellungen. Verzweigung der Rhizomorphen unter Knotenbildung (nach AGERER 1988). Zellabmessungen der Rhizomorphenhyphen bei Rhizomorphen unterschiedlichen Durchmessers:

	50 μm Durchmesser	400 μm Durchmesser
Zentralhyphen	8-10 μm dick	12-30 μm dick
-"-,Zellwand	1 μm dick	1-2 μm dick
zarte Hyphen	2,5-3,5 μm dick	3-4 μm dick
-"-,Zellwand	0,3 μm dick	0,4-0,5 μm dick
umgebende Hyphen	4-5 μm dick	5,5-7 μm dick
-"-,Zellwand	0,6 μm dick	1 μm dick

2.3. Anatomie im Querschnitt

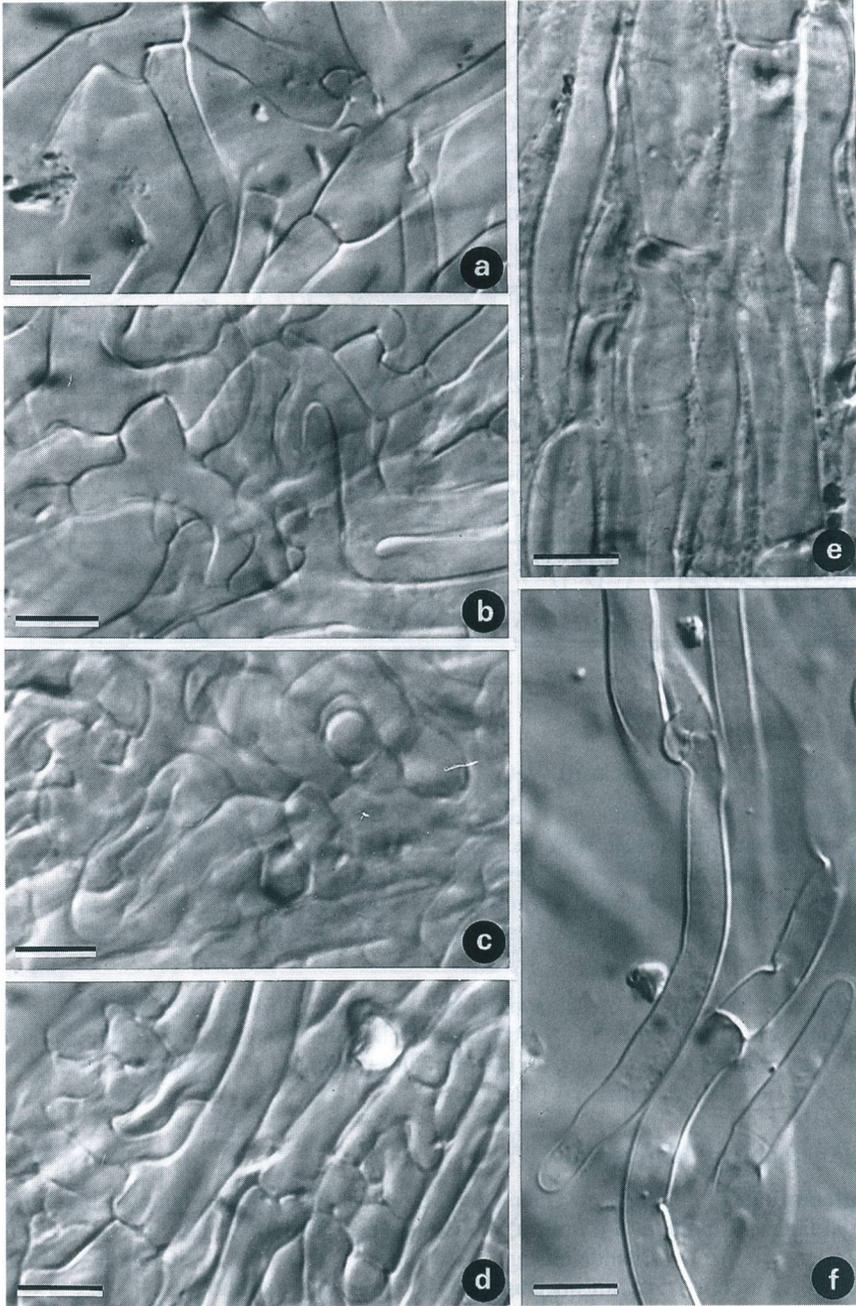
Mantel (Tafel 2b) kompakt, nach außen etwas auflockernd, 50-70 μm dick, keine Schichtung erkennbar, abziehende Hyphen sehr selten; Hyphen meist quer angeschnitten, 2-5 μm im Durchmesser, dazwischen größerlumige, runde Zellen eingestreut mit 7-10 μm Durchmesser; Mantel von tangential verlaufenden Hyphen durchzogen, diese 4-7 μm im Durchmesser, Zellwände bis 0,5 μm dick, an der Mantelinnenseite verschleimt; Rest der Calyptra-Zellen vereinzelt vorhanden.

Hartigsches Netz (Tafel 2b) paraepidermal, aus einer Hyphenreihe bestehend, 2-3 μm im Durchmesser; Rindenzellen mit Hartigschem Netz radial gestreckt, Zellen tangential (10)12-15(18) μm , radial (35)37-48 μm , im Durchschnitt tangential 13 μm lang (CCt), durchschnittlicher Quotient tangential:radial (CCq) = 0,3.

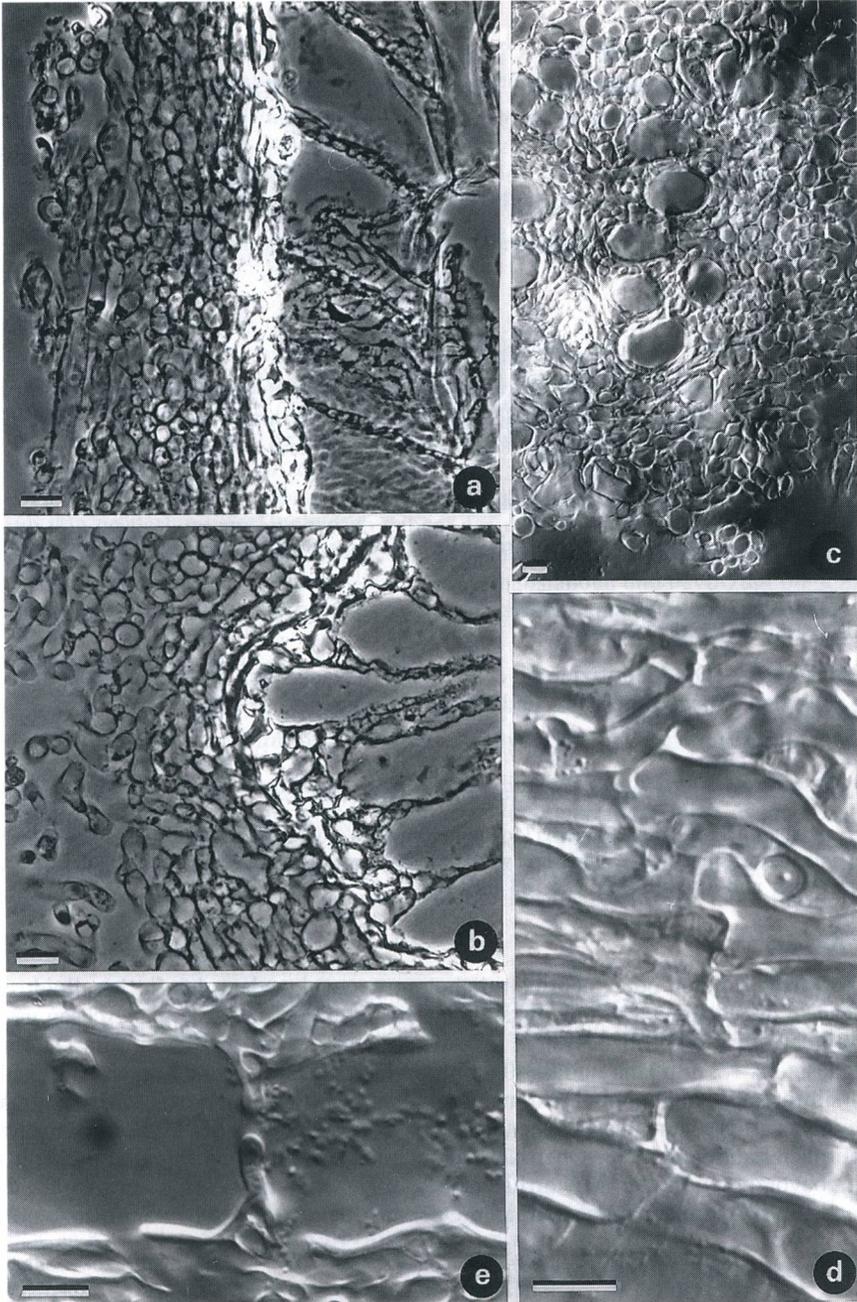
2.4. Anatomie im Längsschnitt

Mantelaufbau (Tafel 2a) dem Querschnitt entsprechend; Hyphen quergeschnitten und tangential längs verlaufend, 3-6 μm im Durchmesser, Zellwand 0,5 μm dick; Reste der Calyptra-Zellen vereinzelt vorhanden; Mantel der Mykorrhizenspitze 20-35 μm dick, Hyphen tangential verlaufend, 1,5-2 μm im Durchmesser, sehr stark verquollen.

Hartigsches Netz (Tf. 2a) wie im Querschnitt gestaltet, vom Palmetti-Typ, Loben 2-3 μm breit; Rindenzellen mit Hartigschem Netz schräg radial-gestreckt, Zellen tangential (14)15-18(20) μm , radial (35)41-46(54) μm , tangential durchschnittlich 17 μm lang (CCt), durchschnittlicher Quotient tangential:radial (CCq) = 0,4.



Tafel 1: *Scleroderma citrinum* an *Betula pendula*. - a-d: Mantel in Flächenansicht, immer von der gleichen Stelle aus gesehen. - a. Manteloberfläche im Übergangsbereich zu den abziehenden Hyphen. - b. Aufsicht auf äußere Mantelschicht. - c. Mittlerer Mantelbereich. - d. Mantelinnenseite. - e. Aufsicht auf Rhizomorphe. - f. Abziehende Hyphen. (Alle Abbildungen von RA 11713; Meßbalken = 10 μ m).



Tafel 2: *Scleroderma citrinum* an *Betula pendula*. - a. Längsschnitt durch Mykorrhiza, von der Mantelaußenseite bis zur einzigen Rindenzellschicht mit Hartigschem Netz. - b. Querschnitt durch Mykorrhiza, von der Mantelaußenseite bis zur einzigen Rindenzellschicht mit Hartigschem Netz. - c. Querschnitt durch Rhizomorphe. - d. Rhizomorphen-Längsschnitt: im oberen Bereich mit schmäleren, dünnerwandigen und unregelmäßig gestalteten Hyphen, die unmittelbar einer dicken Zentralhyphe aufliegen, und angrenzende, größerlumige und dickerwandige Hyphen. - e. Rhizomorphe: dicke Zentralhyphe mit zum Teil aufgelöstem Septum. (Alle Abbildungen von RA 11713; Meßbalken = 10 μm).

3. CHEMISCHE REAKTIONEN

Reaktionen des Mantels: Anilin: keine Reaktion (=kR); Baumwollblau: verschleimte Mantelinnenseite und Cytoplasma blau; Brillantkresylblau: verschleimte Mantelinnenseite blau; Eisensulfat: kR; Ethanol 70 %: kR; Formol 40 %: kR; Guajak: blau; Kalilauge 15 %: kR; Milchsäure: kR; Phenol: kR; Phenol-Anilin: kR; Rutheniumrot: kR; Säurefuchsin: kR; Sulfo-Vanillin: verschleimte Mantelinnenseite rot.

Reaktion der ganzen Mykorrhiza: Sulfo-Vanillin: rot.

4. AUTOFLUORESZENZ

Ganze Mykorrhiza: UV 254 nm: keine; 366 nm: keine.

Längs- und Querschnitte: UV-Filter (340-380 nm): Mantelaußenseite fahl bläulich, Mitte cremefarben, Innenseite rötlich; Blau-Filter (450-490 nm): Außenseite schwach gelb, Mantelmitte gelb, Innenseite gelborange; Grün-Filter (530-560 nm): rot.

5. KERNFÄRBUNG (mit Karmin-Essigsäure)

Zwei runde bis leicht ovale Kerne pro Zeile, 2-3 μm im Durchmesser, 1-10 μm voneinander entfernt.

6. UNTERSUCHTES MATERIAL

Referenzbeleg. - Die Identifizierung erfolgte durch Nachweis von Rhizomorphenverbindungen zwischen Fruchtkörperbasis und Ektomykorrhizen.

II. *Scleroderma citrinum* Pers. an *Pinus sylvestris* L.

Referenzbeleg: Deutschland, Bayern, Lkr. Regensburg, Vorderer Bayerischer Wald, zwischen Donaufstuf und Falkenstein, bei Unterlichtenwald, im Rabenwinkel; an Kiefer; leg. S. Raidl, 30.9.1992; Fruchtkörper und Mykorrhizen: SR 183 (in M).

1. HABITUS

Mykorrhizen einfach oder mehrfach dichotom verzweigt, dann häufig koralloid; einzelne Seitenäste des Systems mit unvollständiger Dichotomie, Seitenäste und Achsen gerade bis leicht gebogen; Mykorrhizensystem bis 3,5 mm lang, Achse 0,4-0,5 mm im Durchmesser; Seitenäste bis 1,2 mm lang und 0,3-0,4 mm im Durchmesser. Mantel durch eingeschlossene Luft silbrig-weiß, in älteren Teilen mehr gelblich, Oberfläche netzartig und leicht glänzend, mit einem zarten Flaum aus abziehenden Hyphen, besonders an der Mykorrhizenspitze. Rhizomorphen zahlreich, weiß, Oberfläche dünnerer Rhizomorphen flaumig, dickerer nahezu glatt, bevorzugt von der Mykorrhizenbasis abziehend, mit definierter Ansatzstelle am Mantel; in Mykorrhizennähe zahlreiche Quervernetzungen zwischen den Rhizomorphen.

2. MIKROSKOPISCHE MERKMALE

2.1. Anatomie des Mantels in Flächenansicht

Manteloberfläche: plectenchymatisch, aus netzartig gebündelten Hyphen aufgebaut (Manteltyp A: AGERER 1991), Hyphen farblos-hyalin, mit Schnallen, 2,5-6 μm im Durchmesser, Zellwand 0,5 μm dick.

Mittlere Mantelschichten: Hyphennetz zunehmend verdichtet, Hyphen farblos-hyalin, mit Schnallen, 2,5-5(6) μm im Durchmesser, Zellwand 0,5 μm dick.

Mantelinnenseite: dicht plectenchymatisch bis pseudoparenchymatisch, dazwischen langgestreckte Hyphen, Hyphen farblos-hyalin, mit Schnallen, 3-5(6) μm im Durchmesser, Zellwand 0,5 μm dick.

2.2. Abziehende Elemente

Abziehende Hyphen: farblos-hyalin, mit Schnallen, Oberfläche fein warzig, ein dichtes Netz auf dem Mantel bildend, 3-4 μm im Durchmesser, Zellwand 0,5 μm dick.

Cystiden fehlen.

Rhizomorphen bis 400 μm im Durchmesser, dünne Rhizomorphen mit abziehenden Hyphen, dickere Rhizomorphen kompakter, mit nur wenigen auswachsenden Hyphen, Hyphen farblos-hyalin, stets mit Schnallen, Hyphen an der Rhizomorphenoberfläche fein warzig; Rhizomorphen hochdifferenziert (Typ F: AGERER 1991), vergrößerte Zentralhyphen bis 35 μm im Durchmesser, Zellwand bis 3 μm dick, z.T. mit ganz oder teilweise aufgelösten Querwänden; Zentralhyphen von dünnen, sich stark verzweigenden und z.T. gewunden wachsenden Hyphen umgeben, diese 2-4 μm im Durchmesser, Zellwand bis 0,5 μm dick; diese dann von größerlumigen Hyphen umgeben, 4-7 μm im Durchmesser, Zellwand bis 1 μm dick; die Hyphen der Rhizomorphenoberfläche und die wenigen aus den Rhizomorphen auswachsenden Hyphen mitunter mit verkürzten Septenabständen und bevorzugt im Schnallenbereich mit unterschiedlich starken, bis zu 11 μm dicken Anschwellungen.

2.3. Anatomie im Querschnitt

Mantel: Aufbau und Zellmaße wie bei Ektomykorrhizen von *Scleroderma citrinum* an *Betula pendula*; Mantel 40-60 μm dick; Reste der Calyptra-Zellen regelmäßig vorhanden.

Hartigsches Netz 2-3 Rindenzellreihen tief (bis zur Endodermis reichend), meist nur die äußerste Reihe mit Tannineinlagerungen, in älteren Wurzelbereichen auch in inneren Reihen; Hartigsches Netz aus 1-2 Hyphenreihen bestehend, Hyphen 2-5 μm im Durchmesser, Zellwand 0,5 μm dick; Rindenzellen sehr variabel gestaltet: die äußeren meist tangential langgezogen rechteckig; die inneren tangential-rechteckig bis -oval oder fast rund.

2.4. Anatomie im Längsschnitt

Mantel: Aufbau und Zellmaße dem Querschnitt entsprechend; Mantel der Mykorrhizenspitze bis 40 μm dick, Hyphen 1,5-3 μm im Durchmesser, Zellwände z.T. miteinander verquollen.

Hartigsches Netz wie im Querschnitt gestaltet.

3. UNTERSUCHTES MATERIAL

Referenzbeleg. - Weitere Belege: Deutschland, Bayern, Lkr. Fürstenfeldbruck, im Haspelmoor bei Hattenhofen; an Kiefer; leg. S. Raidl, 10.9.1990; Fruchtkörper und Mykorrhizen SR 26 (in M.) - Unsterile Synthese aus Rhizomorphen und Mykorrhizen an Kiefern sämlingen von 'Deutschland, Bayern, Lkr. Fürstenfeldbruck, im Haspelmoor bei Hattenhofen, an Kiefer, leg. S. Raidl, 19.10.1991, Fruchtkörper und Mykorrhizen SR 118 (in M).'; synth. S. Raidl, 1.2.1993, Mykorrhizen SR 206 (in M).

DISKUSSION

1. Vergleich der Ektomykorrhizen von *Scleroderma citrinum* an *Betula pendula* und *Pinus sylvestris*

Die Mykorrhizen von *Scleroderma citrinum* an *Betula pendula* und an *Pinus sylvestris* stimmen bis auf den Verzweigungsmodus in den makroskopischen Merkmalen überein. Anatomische Unterschiede zeigen sich nur bezüglich Aufbau bzw. Eindringtiefe des Hartigschen Netzes und Anzahl, Gestalt und Größe der Rindenzellen. Diese Merkmale werden nicht vom Pilz, sondern vom jeweiligen Baumpartner determiniert (siehe AGERER 1991, PILLUKAT & AGERER 1992).

2. Die Ektomykorrhizen von *Scleroderma citrinum* im Literaturvergleich

Die Synthese von Ektomykorrhizen von *Scleroderma aurantium* (= *S. citrinum*, JÜLICH 1984) gelang MODESS (1941) an *Pinus sylvestris*, *P. montana* bzw. *Picea abies* und FRIES (1942) ebenfalls an *Pinus sylvestris* und *Picea abies*.

MASUI (1927) beschrieb als erster eine Mykorrhiza, die vermutlich von *Scleroderma vulgare* (= *S. citrinum*, JÜLICH 1984) an *Castanea pubinervis* gebildet wurde. Er charakterisierte die Mykorrhizen als weiß, ziemlich lang, unregelmäßig gebogen, 0,23-0,39 mm im Durchmesser, glatt und mit weißen Rhizomorphen, die in großer Zahl von den Mykorrhizenbasen abzweigten. Die Rhizomorphenhyphen, denen offenbar Schnallen fehlten, wurden mit 1,5-4,7 μm Durchmesser angegeben. Das Hartigsche Netz war auf die äußerste Rindenzellschicht beschränkt. Wegen der fehlenden Schnallen scheint der schon von MASUI (1927) angebrachte Zweifel, ob es sich wirklich um diese Art handele, berechtigt.

GILTRAP (1979) synthetisierte Ektomykorrhizen von *Scleroderma aurantium* (= *S. citrinum*, JÜLICH 1984) an *Betula pendula* und *B. pubescens* und erhielt gelblich-weiße bis grau-orange, glänzende, glatte, fein netzige Mykorrhizen mit wenigen abziehenden Hyphen und bis zu 40 μm dicken Rhizomorphen, deren interne Struktur nicht beschrieben ist. Der 10-45 μm dicke, plectenchymatische Mantel zeigte einen dichter gewobenen inneren Bereich. Das Hartigsche Netz war auf die äußere Zelllage beschränkt, einzellreihig und 1,5-5 μm im Durchmesser.

VOIRY (1981) charakterisierte die Mykorrhiza von *Scleroderma aurantium* (= *S. citrinum*, JÜLICH 1984) an *Quercus* spp. und fand ebenfalls filzig-weiße Mykorrhizen mit weißen Rhizomorphen an der Basis des pyramidalen Mykorrhizensystems. Er beschrieb an Hand von Schnitten 45 μm dicke, außen pseudoparenchymatische und innen plectenchymatische Mäntel; das Hartigsche Netz drang nur eine Rindenzellschicht tief ein. Für die zentralen Hyphen der Rhizomorphen gibt er einen Durchmesser bis 7 μm an, für die peripheren von ca. 3 μm und erwähnt Schnallen.

GODBOUT und FORTIN synthetisierten die Mykorrhizen von *Scleroderma citrinum* an *Populus tremuloides* (GODBOUT & FORTIN 1985) und an *Alnus* spp. (GODBOUT & FORTIN 1983) in vollkommen künstlichen Systemen und fanden zunächst weiße, verzweigte, wollige Mykorrhizen mit einem dicken, zweischichtigen Mantel. Die Rhizomorphen werden als undifferenziert angegeben mit schnallenträgenden Hyphen großen Durchmessers; das Hartigsche Netz wird als para- bis periepidermal bezeichnet.

RICHTER & BRUHN (1986) synthetisierten die Mykorrhizen von *Scleroderma aurantium* (= *S. citrinum*, JÜLICH 1984) an *Pinus resinosa* und fanden dichotom verzweigte - ein für Kiefern typisches Bild -, weiße Mykorrhizen mit glattem Mantel und mit vielen, recht fran-sigen Rhizomorphen. Ein bis 80 μm dicker Mantel, viele Schnallen und ein bis zur Endodermis vordringendes Hartigsches Netz charakterisierten zusätzlich diese Ektomykorrhizen.

KANNAN & NATARAJAN (1987) erwähnen in ihren Syntheseversuchen von *S. citrinum* an *Pinus patula* neben weißen, dichotom verzweigten autofluoreszierenden Mykorrhizen als anatomische Merkmale nur einen dicken Mantel (35-50 μm) und ein Hartigsches Netz um die Epidermiszellen.

Die ausführlichsten Beschreibungen synthetisierter Ektomykorrhizen von *S. citrinum* an *Picea abies* stammen von BRUNNER et al. (1992) und stimmen in den wesentlichsten Merkmalen mit unseren Beobachtungen überein. Somit lassen sich folgende pflanzenpartnerunabhängige Merkmale für voll entwickelte Ektomykorrhizen von *Scleroderma citrinum* mit schon dickeren Rhizomorphen zusammenstellen: silbrig-weißlich, wenn Luft eingeschlossen, sonst mit eher gelblichen Tönen, Oberfläche filzig; Mantel recht dick, in Aufsicht plectenchymatisch, mit netzartig angeordneten, gebündelten Hyphen, in tieferen Schichten mit pseudoparenchymatisch erscheinenden Inseln, die von Hyphensträngen getrennt werden, Hyphen mit Schnallen; Rhizomorphen mit Knotenbildung und mit großlumigen, zentralen Hyphen, in denen die Septen ganz oder teilweise aufgelöst sein können, zentrale Hyphen von dünnen Hyphen umgeben, nach außen anschließende Hyphen wieder etwas größerlumig.

3. Die Ektomykorrhizen der Gattung *Scleroderma* im Literaturvergleich

GODBOUT & FORTIN (1985) fanden außer dem Fehlen von Schnallen in *S. areolatum* keine Unterschiede zwischen Ektomykorrhizen dieser Art und jenen von *S. citrinum* an *Populus tremuloides*.

RICHTER & BRUHN (1989) untersuchten die Ektomykorrhizen von mehreren *Scleroderma*-Arten (*S. bovista*, *S. cepa*, *S. meridionale*, *S. polyrhizum*) und fanden keine Unterschiede zu den in der Literatur beschriebenen Ektomykorrhizen dieser Gattung. Ihre Synthesen an *Pinus resinosa* ergaben weiße, glatte Ektomykorrhizen, die zumindest im Falle von *S. bovista* mit in Knoten und Internodien gegliederten, verzweigten Rhizomorphen versehen waren. Ein Hartigsches Netz war nur für *S. bovista*, *S. cepa* und *S. polyrhizum* abgebildet; es ist mehrere Zellschichten tief. MARX & BRYAN (1969) berichten nur kurz über die Ektomykorrhiza von *S. bovista*, DUCOUSSO (1991) über die von *S. cepa*. Ektomykorrhizen von *Scleroderma cepa* wurden von PRYOR (1956) an verschiedenen *Eucalyptus*-Arten synthetisiert und nur mit wenigen Merkmalen charakterisiert. Im abgebildeten Querschnitt läßt sich ein dicker Mantel mit deutlichen Hyphen erkennen.

ROSE et al. (1981) analysierten die Ektomykorrhizen von *Scleroderma geaster* an *Eucalyptus nova-anglica* mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops. Die weißen, wolligen, irregulär oder regelmäßig pinnaten Systeme besaßen gewundene Enden. In Aufsicht erwiesen sich die Mäntel als dicht plectenchymatisch mit netzförmiger Hyphenanordnung. Die Hyphen zeigten jedoch erheblich kleinere Durchmesser (1,4-2,4 μm) als im Falle von *S. citrinum* (2,5-5 μm). Im Schnitt war die innere Schicht des Mantels dichter gelagert als die äußere, und das Hartigsche Netz drang nur eine Rindenzellschicht tief vor; Rhizomorphen wurden nicht gefunden.

An verschiedenen Coniferen synthetisierte Ektomykorrhizen von *Scleroderma hypogaeum* wurden von MOLINA (1979) sowie MOLINA & TRAPPE (1982) kurz charakterisiert: Sie waren kräftig weiß und haarig und gelegentlich mit Hyphenfächern sowie häufig mit dicken, weißen Rhizomorphen versehen. Charakteristisch waren dicke (12-60 μm), lockere Mäntel und ein Hartigsches Netz, das mehrere Rindenzellreihen umfaßte.

Natürlich vorkommende Ektomykorrhizen von *Scleroderma verrucosum* an *Pinus radiata* wurden von CHU-CHOU & GRACE (1983) beschrieben. Weiße bis gräulich-weiße, flaumige, dichotom verzweigte Mykorrhizen wiesen dicke (17-79 μm), plectenchymatische Mäntel

aus hyalinen, meistens Schnallen bildenden, 2,8-5,6 μm dicken Hyphen mit angeschwollenen Enden (6,5-10,6 μm) auf. Die zahlreichen, gräulich-weißen, 5-40 μm dicken Rhizomorphen besaßen etwas größerlumige zentrale Hyphen (3,7-8,0 μm) und dünnere, äußere Hyphen (2,7-2,9 μm), die nicht selten ebenfalls angeschwollene Enden aufwiesen. Eine wenig detaillierte Beschreibung von *S. verrucosum* Ektomykorrhizen an *Eucalyptus* publizierten THAPAR et al. (1967).

DUCOUSSO (1991) wies die Bildung von Ektomykorrhizen von *Scleroderma dictyosporum*, *S. capensis* und *S. verrucosum* an *Eucalyptus*- bzw. *Acacia*-Arten nach, ohne näher auf Merkmale einzugehen.

Obwohl schon 11 *Scleroderma*-Arten hinsichtlich ihrer Ektomykorrhizen untersucht sind, lassen sich wegen der oft recht knapp gehaltenen Beschreibungen noch keine für die Gattung *Scleroderma* allgemein gültigen Merkmale herausfinden. Generell dürften allerdings weißliche, makroskopisch glatte Ektomykorrhizen, mit in Aufsicht plectenchymatischen Mänteln und mit vielen, differenzierten Rhizomorphen typisch sein. Zumindest für *S. citrinum* und für *S. bovista* scheint die Bildung von Knoten an den Rhizomorphen typisch zu sein. Ob dies für weitere Arten zutrifft, bedarf noch der Klärung. Einige Merkmale der bisher untersuchten *Scleroderma*-Mykorrhizen werden mit Sicherheit von der beteiligten Pflanzengattung bestimmt, wie Eindringtiefe des Hartigschen Netzes und Verzweigungsmodus der Ektomykorrhizen (AGERER 1991, PILLUKAT & AGERER 1992).

Danksagung

Die vorliegenden Untersuchungen wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziell gefördert.

Literatur

- AGERER, R. ed. (1987-1992) - Colour Atlas of Ectomycorrhizae. 1st-6th delivery. Einhorn-Verlag, Schwäbisch-Gmünd.
- AGERER, R. (1988) - Studies on ectomycorrhizae XVII. - The ontogeny of the ectomycorrhizal rhizomorphs of *Paxillus involutus* and *Thelephora terrestris*. *Nova Hedwigia* **47(3-4)**: 311-334.
- (1991) - Characterization of ectomycorrhiza. In Norris, J. R., D. J. Read & A.K. Varma (eds.): *Techniques for the study of mycorrhiza*. *Methods Microbiol.* **23**: 25-73. Ac. Press, London et al.
- AGERER, R., K. WALLER & R. TREU (1993) - Die Ektomykorrhizen und Sklerotien von *Gyrodon lividus*. *Z. Mykol.* **59(2)**: 131-140.
- BRUNNER, I., R. AMIET, M. ZOLLINGER & S. EGLI (1992) - Ectomycorrhizal syntheses with *Picea abies* and three fungal species: a case study on the use of an in vitro technique to identify naturally occurring ectomycorrhizae. *Mycorrhiza* **2**: 89-96.
- CHU-CHOU, M. & L. J. GRACE (1983) - Characterization of mycorrhizas of radiata pine in New Zealand. *Aust. For. Res.* **13**: 121-132.
- DUCOUSSO, M. (1991) - Importance de symbioses racinaires pour l'utilisation des Acacias d'Afrique de l'ouest. *Inst. Senegal. Rech. Agric., Dakar*.
- FRIES, N. (1942) - Einspormyzelien einiger Basidiomyceten als Mykorrhizabildner von Kiefer und Fichte. *Svensk Bot. Tidskr.* **36(2-3)**: 151-156.
- GILTRAP, N.J. (1979) - Experimental studies on the establishment and stability of ectomycorrhizas. Dissertation, Sheffield.
- GODBOUT, C. & J. A. FORTIN (1983) - Morphological features of synthesized ectomycorrhizae of *Alnus crispa* and *A. rugosa*. *New Phytol.* **94**: 249-262.
- GODBOUT, C. & J. A. FORTIN (1985) - Synthesized ectomycorrhizae of aspen: fungal genus level of structural characterization. *Can. J. Bot.* **63**: 252-262.
- JÜLICH, W. (1984) - Die Nichtblatterpilze, Gallertpilze und Bauchpilze. In Gams, H. (ed.): *Kleine Kryptogamenflora* IIb/1. Fischer, Stuttgart.
- KANNAN, K. & K. NATARAJAN (1987) - Pure culture synthesis of *Pinus patula* ectomycorrhizae with *Scleroderma citrinum*. *Curr. Sci.* **56**: 1066-1068.

- MARX, D. H. & W. C. BRYAN (1969) - *Scleroderma bovista*, an ectotrophic mycorrhizal fungus of Pecan. Phytopathol. **59(7-12)**: 1128-1132.
- MASUI, K. (1927) - A study of the ectotrophic mycorrhizas of woody plants. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ. Ser. B **3(2)**: 149-279.
- MODESS, O. (1941) - Zur Kenntnis der Mykorrhizabildner von Fichte und Kiefer. Symb. Bot. Ups. **5(1)**: 1-146.
- MOLINA, R. (1979) - Pure culture synthesis and host specificity of red alder mycorrhizae. Can. J. Bot. **57**: 1223-1228.
- MOLINA, R. & J. TRAPPE (1982) - Patterns of ectomycorrhizal host specificity and potential among Pacific Northwest conifers and fungi. Forest Sci. **28(3)**: 423-458.
- PILLUKAT, A. & R. AGERER (1992) - Studien an Ektomykorrhizen XL. - Vergleichende Untersuchungen zur baumbezogenen Variabilität der Ektomykorrhizen von *Russula ochroleuca*. Z. Mykol. **58(2)**: 211-242.
- PRYOR, L. D. (1956) - Ectotrophic mycorrhiza in rhenantherous species of *Eucalyptus*. Nature **177**: 587-588.
- RICHTER, D. L. & J. N. BRUHN (1986) - Pure culture synthesis of *Pinus resinosa* ectomycorrhizae with *Scleroderma aurantium*. Mycologia **78(1)**: 139-142.
- RICHTER, D. L. & J. N. BRUHN (1989) - *Pinus resinosa* ectomycorrhizae: seven host-fungus combinations synthesized in pure culture. Symbiosis **7**: 211-228.
- ROSE, R. W., C. G. VAN DYKE & C. B. DAVEY (1981) - Scanning electron microscopy of three types of ectomycorrhizae formed on *Eucalyptus nova-anglica* in the southeastern United States. Can. J. Bot. **59**: 683-688.
- THAPAR, H. S., B. SINGH & B. K. BAKSHI (1967) - Mycorrhizae in *Eucalyptus*. Ind. For. **93**: 756-759.
- VOIRY, H. (1981) - Classification morphologique des ectomycorhizes du chene et du hêtre dans le nord-est de la France. Eur. J. For. Path. **11**: 284-299.



Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V.
German Mycological Society

Dieses Werk stammt aus einer Publikation der **DGfM**.

www.dgfm-ev.de

Über [Zobodat](#) werden Artikel aus den Heften der pilzkundlichen Fachgesellschaft kostenfrei als PDF-Dateien zugänglich gemacht:

- **Zeitschrift für Mykologie**
Mykologische Fachartikel (2× jährlich)
- **Zeitschrift für Pilzkunde**
(Name der Hefreihe bis 1977)
- **DGfM-Mitteilungen**
Neues aus dem Vereinsleben (2× jährlich)
- **Beihefte der Zeitschrift für Mykologie**
Artikel zu Themenschwerpunkten (unregelmäßig)

Dieses Werk steht unter der [Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz](#) (CC BY-ND 4.0).



- **Teilen:** Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen, sogar kommerziell.
- **Namensnennung:** Sie müssen die Namen der Autor/innen bzw. Rechteinhaber/innen in der von ihnen festgelegten Weise nennen.
- **Keine Bearbeitungen:** Das Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Es gelten die [vollständigen Lizenzbedingungen](#), wovon eine [offizielle deutsche Übersetzung](#) existiert. Freigebiger lizenzierte Teile eines Werks (z.B. CC BY-SA) bleiben hiervon unberührt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für Mykologie - Journal of the German Mycological Society](#)

Jahr/Year: 1993

Band/Volume: [59_1993](#)

Autor(en)/Author(s): Waller Kerstin, Raidl S., Agerer Reinhard

Artikel/Article: [Die Ektomykorrhizen von Scleroderma citrinum 141-153](#)