

Das Verhalten einiger *Mycena*-Arten zum pH sowie deren Einfluss auf die Azidität der Humusschicht der Wälder

V. Hintikka

EINLEITUNG

Von den Faktoren, die die Tätigkeit der Mikroorganismen des Bodens beeinflussen, hat neben die Nahrungsverhältnisse auch die Azidität eine bemerkenswerte Bedeutung. Die an den Standorten der Hutpilze in der Natur ausgeführten pH-Bestimmungen zeigen, dass das Vorkommen der verschiedenen Arten sehr weitgehend mit der Azidität der Streuschicht in Korrelation steht, und dass die verschiedenen sauren Bodenarten ihre ganz speziellen Hutpilzarten haben (Wilkins, Harley und Kent 1938, Wilkins und Patrick 1940, Grainger 1946).

Die Tätigkeit der saprophytischen Hutpilzen scheint in manchen Fällen einen Einfluss auf die Azidität des entstehenden Humus zu haben. Nach der bekannten Theorie von Falc k (1926, 1930) wären die Pilze des Rohhumus hauptsächlich zellulosezeretzende Braunfäuleerreger, die sauren Humus hervorbringen, während die Weissfäuleerreger, die sowohl Lignin wie auch Zellulose abbauen, für die Laubwälder charakteristisch wären. Bei den von ihm durchgeführten Versuchen produzierte der Braunfäuleerreger *Coniophora cerebella* auf Streu viel Säure, was er bei der Laubwaldart *Clitocybe nebularis* hinwieder nicht beobachten konnte. Andererseits sind viele Nadelwaldpilze, u. a. *Marasmius*-Arten nach L i n d e b e r g (1944, 1946, 1948) imstande, stark Lignin zu zersetzen,

und im allgemeinen sind die in den Heidewäldern wachsenden Hutpilze ebenso effektive Streuzersetzer wie die Laubwaldarten (M i k o l a 1956). Es wird auch vermutet, dass die Basidiomyzeten und die Pilze überhaupt in den Nadelwäldern mehr an der Zersetzung der Streu beteiligt sind als im Hainboden, obwohl wir von der Tätigkeit der für den Rohhumus charakteristischen Hutpilzarten und den Voraussetzungen dafür ziemlich wenig wissen.

Die Gattung *Mycena* (Helmlinge) ist hinsichtlich ihrer Individuen- und auch Artenzahl eine von den verbreitetsten Hutpilzgattungen unserer Wälder. In Finnland sind etwa 75 Arten bekannt, von denen die meisten sehr zahlreich in feuchten und trockenen Heidewäldern vorkommen, während manche wiederum auf Haine oder Torfböden beschränkt sind. Sie gelten allgemein als saprophytisch, und viele zersetzen Lignin (L i n d e b e r g 1946, 1948) und infolgedessen effektiv auch Streu (M i k o l a 1954 b, 1956). Hinsichtlich ihrer Anforderungen an die Wachsstoffe scheinen die Helmlinge sich nicht wesentlich von den anderen Bodenpilzen zu unterscheiden (N. F r i e s 1949). In der vorliegenden Untersuchung wird versucht, ein Allgemeinbild von der Beziehung der gewöhnlichsten *Mycena*-Arten zur Azidität des Bodens und daneben von ihrer Tätigkeit im Waldboden zu gewinnen.

Tabelle 1. Die Reinkulturstämme. Abkürzungen: K: Gegend von Korso und Ruotsinkylä (24 km N von Helsinki), T: Gewebekultur, P: Polyspore Kultur. Nomenklatur hauptsächlich nach K ü h n e r (1938).

	Isolierungs- ort	Standort	Isolierungs- methode
<i>M. atroalboides</i> (Peck) Sacc.	K	VT-Pinus murrayana-Wald	P
<i>M. clavicularis</i> Fr.	K	VT-Kiefernbestand	T
<i>M. epipterygia</i> (Fr.) Mre 1	K	entwässerter Torfboden im Moos	P
» 2	K	» » » »	T
<i>M. filopes</i> (Fr.) Schröt. (<i>M. vitilis</i> Lge)	Porvoo	auf Eichenstreu	T
<i>M. flavoalba</i> (Fr.) Pat.	K	MT-Mischwald	P
<i>M. galopus</i> Fr. 1	K	vermoorter MT-Fichtenwald	T
2	K	» » »	T
<i>M. inclinata</i> Fr.	Turku	morscher Eichenstumpf	T
<i>M. laevigata</i> (Fr.) von Höhn.	K	morscher Nadelbaumstumpf	T
<i>M. longiseta</i> v. Höhn.	K	MT-Mischwald, auf Streu	P
<i>M. luteo-alcalina</i> Sing. 1	K	morscher Nadelbaumstumpf	P
2	K	» »	P
<i>M. megaspora</i> Kauffm.	K	entwässerter Torfboden	P
<i>M. galericulata</i> (Fr.) Schröt.	K	morscher Salweidenstumpf	T
<i>M. maculata</i> Karst. 1	K	» Fichtenstumpf	T
2	K	» »	T
<i>M. polygramma</i> (Fr.) Lge	Bromarv	auf einem Laubhaufen in Eichenwald	T
<i>M. pura</i> Fr.	Hyvinkää	OMT-Erlenbestand	T
<i>M. rosella</i> (Fr.) Schröt.	K	Mischwald (isoliert von prof. P. Mikola)	T
<i>M. sanguinolenta</i> Fr. 1	K	(isoliert von prof. P. Mikola)	T
2	K	MT-Fichtenwald	T
<i>M. stylobates</i> (Fr.) Schröt.	K	OMT-Fichtenbestand	P
<i>M. urania</i> (Fr.) Smith	K	VT-Pinus murrayana-Wald	P
<i>M. vitilis</i> (Fr.?) Rick. non Lge	K	Schattiges Gartenland, auf morschen Ästen	T
<i>M. tenella</i> ss. Moser (<i>M. metata</i> Sm. Lge, non Kühn., Fav.)	K	moosiger MT-Fichtenbestand	P
<i>M. vulgaris</i> (Fr.) Lge 1	K	MT-Mischwald	P
2	K	OMT-Mischwald	T

Die isolierten Stämme sind aus Tabelle 1 ersichtlich. Es wurden möglichst nur Stämme gebraucht, die nicht älter waren als ein Jahr. Sie wurden in Zimmertemperatur aufbewahrt und einmal monatlich verimpft.

Die Myzelien waren bei allen Arten farblos, die Luftmyzel weiss. Die Schnallen fehlten bei folgenden Stämmen: *M. atroalboides*,

M. epipterygia 1, *M. flavoalba*, *M. megaspora* und *M. galericulata*, von denen der letztgenannte auch in der Natur keine Schnallen trägt. Von den isolierten Stämmen lumineszierten *M. galopus* und *M. pura* sehr stark, was nach H a r v e y (1952) in der *Mycena*-Gattung eine verhältnismässig gewöhnliche Erscheinung ist.

DIE AZIDITÄT DER NATÜRLICHEN STANDORTE

Im Herbst 1959 wurden 244 Aziditätsbestimmungen von Standorten verschiedener *Mycena*-Arten durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 2 zusammengestellt sind. Die meisten stammten aus Mittel-Uusimaa (Landgemeinde Helsinki, Tuusula, Nurmijärvi, Landgemeinde Hyvinkää) und 18 aus Joroinen (Nord-Savo).

Methode: Von der Erde unter dem Fruchtkörper wurden ca. 10 cm³ in ein Reagensgläschen genommen, ca. 10 ml dest. Wasser zugegeben und ca. 12 Stunden stehengelassen, wonach das pH der Lösung mit einer Glaselektrode (Modell Radiometer 24 d) gemessen wurde. Die je eine Art betreffenden verschiedenen Messungen stammen von Stellen, die mindestens 100 m voneinander entfernt waren.

Die gewöhnlichsten Arten, wie beispielsweise *M. galopus*, *M. tenella*, *M. cinerella* und *M. clavicularis* konzentrieren sich auf das pH-Bereich zwischen 4.0 und 4.9, das der Azidität unserer Heidewälder entspricht. Als besonders azidophil erwiesen sich ausser dem auf Torfboden (z.B. in Reiseremooren) vorkommenden *M. megaspora* auch die auf morschen Baumstümpfen wachsenden Arten, wie *M. luteo-alcalina*, *M. maculata* und *M. laevigata* sowie *M. galericulata*, von denen die drei erstgenannten fast ausschliesslich auf morschen Stümpfen von Nadelbäumen, der letzte wiederum bevorzugt auf morschem Erlen- und Birkenholz angetroffen werden. Die an Stand-

Tabelle 2. Azidität der natürlichen Standorte einiger *Mycena*-Arten. pH Werte in Serien von je 0.2 Grad (3.00—3.19 usw.).

	3					4					5					6				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
<i>M. maculata</i>	1	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. laevigata</i>	—	3	5	4	2	6	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. megaspora</i>	—	1	—	1	1	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. galopus</i>	—	—	1	3	1	3	3	3	2	9	5	3	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. tenella</i>	—	—	1	1	—	1	1	1	5	7	5	1	4	—	1	—	—	—	—	—
<i>M. galericulata</i>	—	—	—	4	1	3	2	3	—	2	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—
<i>M. cinerella</i>	—	—	—	—	—	1	2	—	2	4	9	7	2	2	—	—	—	—	—	—
<i>M. luteo-alcalina</i>	—	—	—	—	1	1	1	3	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. epipterygia</i>	—	—	—	—	1	2	2	1	2	2	3	2	—	3	1	—	—	—	—	—
<i>M. pura</i>	—	—	—	—	1	2	4	7	6	7	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. clavicularis</i>	—	—	—	—	—	—	—	3	3	4	3	1	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. rosella</i>	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. atroalboides</i>	—	—	—	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. aurantiomarginata</i>	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. vulgaris</i>	—	—	—	—	—	—	—	2	—	2	—	3	1	3	—	—	—	—	—	—
<i>M. leptcephala</i>	—	—	—	—	—	—	—	1	—	1	—	—	1	—	2	2	—	—	—	—
<i>M. sanguinolenta</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	3	2	—	1	—	—	—	—	—	—
<i>M. haematopus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. niveipes</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. citrinomarginata</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>M. stylobates</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	2	—	—	—	—
<i>M. vitilis</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	1	—	—	—	—

orten mit einem pH-Wert von über 5.0 gefundenen Arten waren in erster Linie Arten der reicheren, kraut- und grasreichen Wälder (Hainarten).

Da der genannte Herbst ungewöhnlich trocken war, ist es möglich, dass die Arten auf durchschnittlich etwas feuchteren Waldbodentypen auftraten als in normalen Jahren, was jedoch die Amplitude kaum wesentlich beeinflussen dürfte.

Im ganzen genommen erwiesen die Helmlinge sich ziemlich ausgeprägt als azidophil. Dies zeigt sich, wenn man die Ergebnisse mit den von Wilkins, Harley und Kent (1938) sowie Grainger (1946) bestimmten pH-Werten der Standorte verschiedener Hutpilzgattungen in England vergleicht. Dagegen stehen nach Modess (1941) die Mykorrhizapilze der Fichte und Kiefer hinsichtlich ihrer natürlichen pH-Amplitude den *Mycena*-Arten ziemlich nahe.

BEZIEHUNG ZUR AZIDITÄT IN DEN REINKULTUREN

Ob die Beschränkung einer Art auf saure Standorte ausschliesslich durch den physiologischen Einfluss der Azidität oder vielleicht durch die Konkurrenz anderer Arten bedingt ist, lässt sich mit Hilfe von Reinkulturversuchen ermitteln. Eine Schwierigkeit dabei ist die Fähigkeit vieler Arten, die Azidität des Nährbodens zu verändern, weshalb verhältnismässig starke Puffer verwandt werden müssen.

Versuch 1. Verhalten verschiedener *Mycena*-Arten zur Azidität in Reinkulturen. Getrennt sterilisierter Nährboden und Puffer nach Lindeberg (1944, p. 108), nur mit dem Unterschied, dass das Thiamin durch Hefeextrakt (40 mg Trockensubstanz in 400 ml Nährlösung) ersetzt wurde. Der Versuch wurde

in Erlenmeyerkolben von 100 oder 150 ml ausgeführt, 6 Parallelen. Die Ergebnisse sind aus Abb. 1 ersichtlich, wo der am Ende des Versuchs gemessene pH-Wert mit einer gestrichelten Linie angegeben ist.

Alle 21 untersuchten Arten hatten ihr Optimum in relativ saurer Lösung, in der Regel etwa bei pH 4—5. Besonders säurebeständig waren die auf Baumstümpfen wachsenden Arten *M. maculata*, *luteo-alcalina* 1 und *galericulata*. Am Neutralpunkt wuchsen die Pilze im allgemeinen ziemlich schwach, mit Ausnahme von *M. vulgaris*, *flavoalba*, *stylobates*, *vitilis* und *inclinata*. Die genannten Arten sind bis auf *M. stylobates* Arten der üppigeren Waldbodentypen, *M. inclinata* z.B. kommt ausschliesslich auf morschen Eichenstümpfen vor.

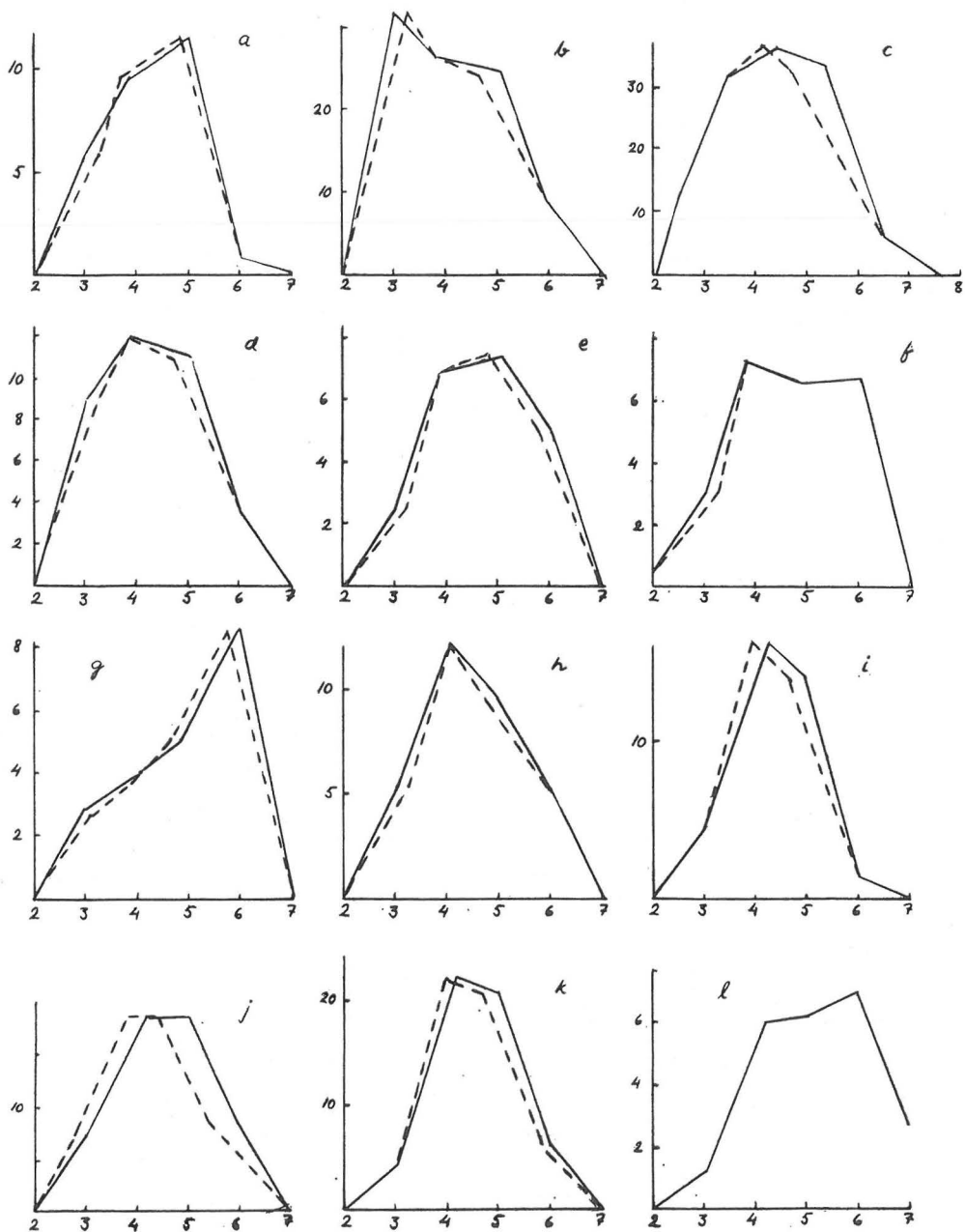


Abb. 1. Einfluss der Wasserstoffionenkonzentration auf das Wachstum von 21 Mycena-Arten. a: *M. urania*, Versuchszeit 31 Tage. b: *M. luteo-alcalina* 1, 31 Tage. c: *M. luteo-alcalina* 2, 34 Tage. d: *M. megaspora*, 31 Tage. g: *M. tenella*, 31 Tage. h: *M. epipterygia* 1, 25 Tage. i: *M. galopus* 1, 25 Tage. j: *M. clavicularis*, 25 Tage. k: *M. rosella*, 25 Tage. l: *M. vulgaris* 1, 25 Tage. m: *M. longiseta*, 51 Tage.

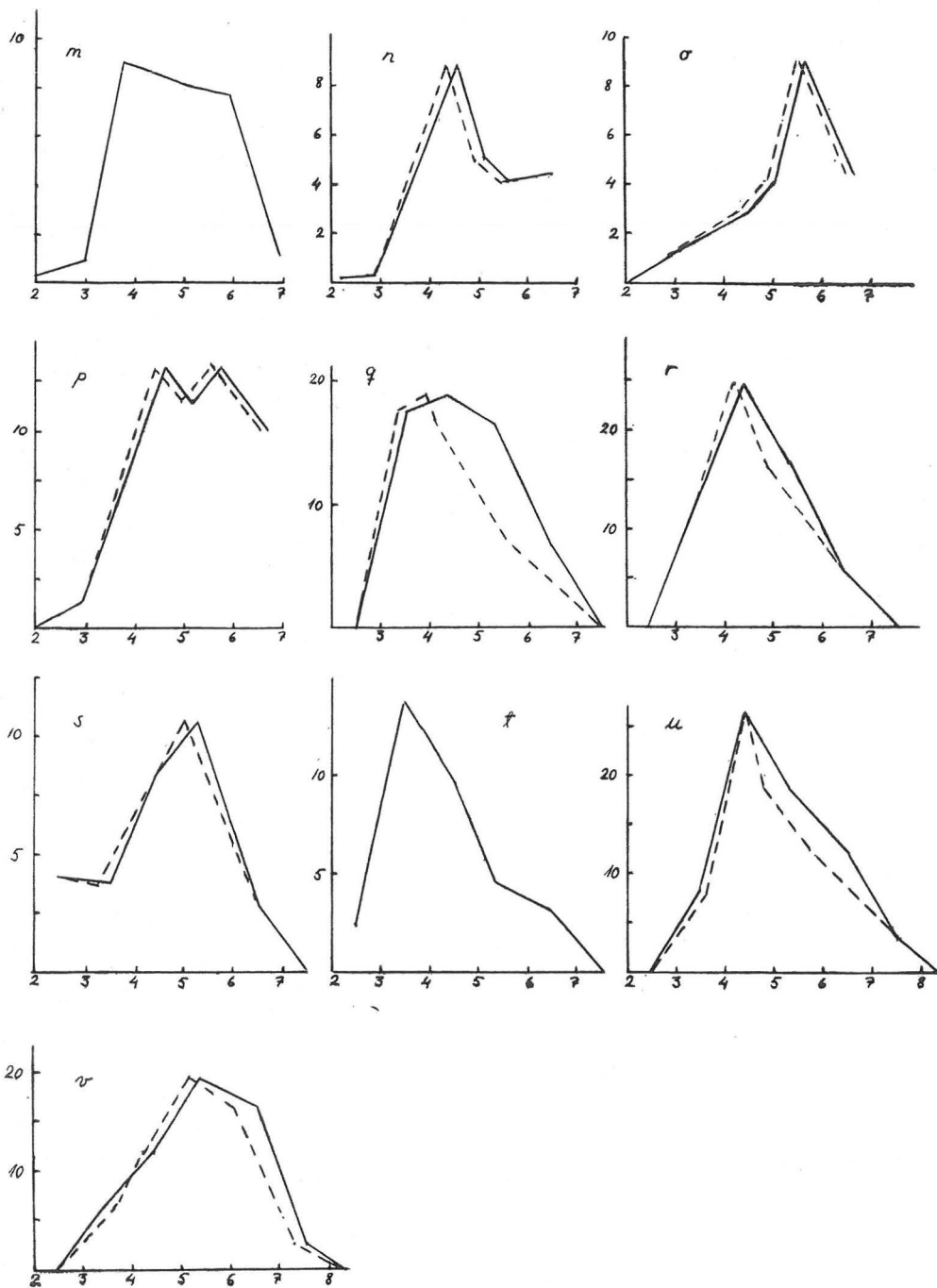


Abb. 1, Fortsetzung. n: *M. stylobates*, 14 Tage. o: *M. vulgaris* 2, 14 Tage. p: *M. flavoalba*, 14 Tage. q: *M. filipes*, 34 Tage. r: *M. polygramma*, 34 Tage. s: *M. maculata* I, 34 Tage. t: *M. galericulata*, 28 Tage. u: *M. vitilis*, 34 Tage. v: *M. inclinata*, 34 Tage.

Da das Wachstum der Pilze oftmals in alkalischer Lösung infolge der Ausfällung von Eisen und mancher Spurenelemente abgeschwächt ist, wurde zur Kontrolle *M. galopus* in der Lösung A 1 + B von L. Fries (1956) kultiviert, wo dieser Umstand berücksichtigt ist, indem die Spurenelemente getrennt sterilisiert beigelegt werden. Bei pH 7 wuchs die Art überhaupt nicht, und bei pH 6 war das Wachstum sehr schwach. Dies weist darauf hin, dass die Abschwächung des Wachstums nicht allein durch die Fällung der Spurenelemente bedingt sein kann.

In zahlreichen Untersuchungen (es sei auf die Übersicht von Lindenberg 1944 verwiesen) haben die Basidiomyceten sich in der Reinkultur als verhältnismässig azidophil erwiesen. Insbesondere die in Heidewäldern wachsenden Mykorrhizapilze (Modess 1941, Norkrans 1950) und *Marasmius*-Arten (Lindenberg 1944) sowie *Collybia butyracea* (Mikola 1957) sind hinsichtlich ihrer pH-Anforderungen mit den hier besprochenen Helmlingen vergleichbar. Bei den an Kulturstandorten und auf Mullerde wachsenden *Marasmius*-Arten (z.B. *M. gramineum*) liegt das Optimum jedoch näher am Neutral-

punkt als bei den Laubwaldhelmlingen. Die auf Mist wachsenden *Coprinus*-Arten hingegen sind nach L. Fries (1956) extrem basophil, sie haben ihr Optimum bei pH 7–8, und das Minimum nicht selten schon bei etwa pH 5.0–5.5.

Wenn man die erhaltenen Kurven mit der in der Natur beobachteten Amplitude der Arten vergleicht, lässt sich eine sehr weitgehende Übereinstimmung feststellen, und die Werte in Tabelle 2 sind regelmässig auf den pH-Bereich beschränkt, in dem das Wachstum der Art als Reinkultur am kräftigsten ist. So umfasst beispielsweise bei *M. galopus* die in der Natur festgestellt Amplitude pH 3.5–5.1, und in diesem Bereich liegt nach Abb. 1 auch sein schnellstes Wachstum. In Bezug auf die *Marasmius*-Arten hat Lindenberg (1944) eine weitgehende Korrelation zwischen dem physiologischen pH-Optimum und der Azidität der Streuart festgestellt, die jede Art in der Natur zersetzt. Die obigen Resultate bestätigen u.a. die von Lindenberg (1944) vorgebrachte Auffassung, dass die Azidität des Bodens auch bei den Hutpilzen als ökologischer Faktor eine wichtige Rolle spielt.

STREUZERSETZUNGSFÄHIGKEIT DER MYCENA-ARTEN

Die Helmlinge werden auf Grund sowohl von in der Natur gemachten Beobachtungen wie auch von Laborversuchen (Lindenberg 1946, Mikola 1954 b, 1956) als effektive Streuzersetzer angesehen. Zur näheren Untersuchung dieser Eigenschaft wurden folgende zwei Versuche ausgeführt.

Versuche 2 und 3. Versuch 2 hatte den Zweck, ein Allgemeinbild vom Wachstum der verschiedenen Arten auf unterschiedlichen Streutypen zu gewinnen, und in Versuch 3 wurde die Zersetzungsfähigkeit zweier Nadelwaldarten (*M. galopus* und *M. sanguinolenta*) und dreier Laubwaldarten (*M. polygramma*, *M. vitilis* und *M. filipes*) verglichen. Methode: nach Mikola (1956). Zwei Parallelen.

Tabellen 3 und 4 zeigen die von den Pilzen zersetzte Menge Trockensubstanz in Prozent von der ursprünglichen Menge.

Sämtliche Arten wuchsen gut auf den meisten Streutypen. Nur in Versuch 3 waren die Nadelwaldarten nicht imstande, die alkalischsten Streutypen zu zersetzen, so z.B. *M. galopus* *Mercurialis*, dessen pH 6.4 war. Auch auf *Cirriphyllum piliferum* (pH 8.2) und

Calamagrostis (pH 7.4) fingen sie sehr langsam zu wachsen an. Dank ihrer stark säuernden Wirkung vermochten diese Pilze jedoch auch diese Streu auszunutzen, obwohl sie ursprünglich ausserhalb der festgestellten Amplitude lag.

Gemeinsam für alle Arten war es, dass sie schneller Laub- als Nadelstreu und Moos zersetzten. In Versuch 2 zersetzten die Helmlinge durchschnittlich am schnellsten Laub von Ahorn (37.6 %) und Schwarzerle (35.0 %) und am langsamsten *Sphagnum* (6.4 %) sowie Kiefernadeln (9.2 %).

In Versuch 3 wurde Laub von *Rubus idaeus* am allerleichtesten zersetzt. Laubstreu zersetzten am effektivsten die Laubwaldarten, während auf Nadel- und Moosstreu meistens die Nadelwaldarten wirksamer waren; z.B. in Versuch 2 nutzten die Kiefernwaldarten (*M. atroalboides*, *M. clavicularis*, *M. tenella*) die Kiefernadeln am schnellsten aus, der im Reiser Moor wachsende *M. megaspora* wiederum *Sphagnum*. Im übrigen vermochten die Arten ganz gut auch andere Streu als die der

Tabelle 3. Trockensubstanzverlust verschiedener Streuarten in Prozent von der ursprünglichen Menge nach 101-tägiger Zersetzung durch 13 *Mycena*-Arten.

<i>Mycena</i>	<i>Sphagnum</i> <i>Girgensohnii</i>	<i>Pinus</i> <i>silvestris</i>	<i>Picea</i> <i>abies</i>	<i>Pleurozium</i> <i>Schreberi</i>	<i>Vaccinium</i> <i>myrtillus</i>	<i>Betula</i> <i>verrucosa</i>	<i>Deschampsia</i> <i>flexuosa</i>	<i>Populus</i> <i>tremula</i>	<i>Alnus</i> <i>glutinosa</i>	<i>Acer</i> <i>platanoides</i>
<i>atroalboides</i>	4.2	13.3	16.9	17.8	19.7	36.2	17.7	26.4	29.2	31.8
<i>urania</i>	4.1	6.8	16.3	24.5	29.9	29.3	39.8	33.3	38.4	45.7
<i>flavoalba</i>	4.6	4.6	32.4	4.6	9.9	13.5	34.6	55.8	19.3	42.9
<i>stylobates</i>	5.4	9.3	19.3	23.2	20.3	24.7	15.1	21.9	33.6	37.0
<i>vulgaris</i>	4.1	6.7	16.7	20.9	27.3	31.7	27.5	34.3	34.8	40.3
<i>epipterygia</i> 1	10.1	17.2	21.5	33.4	30.6	31.2	43.2	36.1	54.2	56.8
<i>galopus</i> 1	7.9	8.5	16.7	23.7	23.2	34.1	47.2	24.7	45.7	40.1
<i>luteo-alcalina</i> 1	6.4	1.3	7.6	35.0	27.3	18.8	30.8	17.2	14.6	22.6
<i>tenella</i>	0.8	10.4	15.6	23.6	31.4	27.0	13.9	18.5	42.6	36.0
<i>sanguinolenta</i> 1	8.8	9.1	20.5	28.0	22.4	29.6	13.8	20.9	37.2	31.3
<i>clavicularis</i>	8.2	11.4	11.9	28.2	36.9	22.5	24.5	32.1	46.2	42.3
<i>rosella</i>	2.8	8.5	14.3	5.0	20.6	27.1	32.3	29.9	34.2	30.1
<i>megasporea</i>	15.7	12.1	11.6	14.9	40.3	36.5	29.2	32.2	26.3	31.9
Mittelwert	6.4	9.2	17.0	21.8	26.1	27.9	28.4	29.5	35.1	37.6

Tabelle 4. Trockensubstanzverlust verschiedener Streutypen in Prozent nach 114-tägiger Zersetzung durch zwei Nadelwaldarten (*M. galopus* 2 und *M. sanguinolenta* 2) und drei Laubwaldarten (*M. polygramma*, *M. vitilis* und *M. filipes*).

	<i>M. poly-</i> <i>gramma</i> %	<i>M. galopus</i> 2 %	<i>M. sanguino-</i> <i>lenta</i> 2 %	<i>M. vitilis</i> %	<i>M. filipes</i> %
<i>Acer platanoides</i>	55.2	41.8	38.0	36.5	52.5
<i>Aegopodium podagraria</i>	47.2	10.2	47.0	38.0	53.5
<i>Alnus glutinosa</i>	35.6	27.4	26.1	31.0	35.4
<i>A. incana</i>	36.8	37.0	27.1	40.8	40.5
<i>Betula verrucosa</i>	44.6	33.7	25.2	44.1	48.6
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	16.0	17.1	34.4	25.3	—
<i>Calluna vulgaris</i>	1.1	1.1	—	10.5	0.0
<i>Cirriphyllum piliferum</i>	—	—	13.3	16.2	—
<i>Cirsium heterophyllum</i>	42.4	15.5	6.0	35.2	—
<i>Cladonia silvatica</i>	3.2	11.9	7.0	6.0	1.2
<i>Deschampsia flexuosa</i>	49.7	43.8	19.5	40.5	60.0
<i>Dryopteris austriaca</i>	51.1	33.2	45.3	51.6	39.0
<i>Filipendula ulmaria</i>	50.2	36.0	35.6	39.1	42.6
<i>Fraxinus excelsior</i>	40.1	27.5	24.3	46.9	44.1
<i>Larix</i> sp.	62.8	24.5	19.0	38.8	53.0
<i>Mercurialis perennis</i>	48.7	—	1.7	25.7	48.1
<i>Picea excelsa</i>	10.1	6.8	5.5	9.0	6.1
<i>Pinus silvestris</i>	26.5	12.5	9.4	16.0	15.8
<i>Plagioclila asplenoides</i>	0.0	0.0	0.0	9.5	—
<i>Pleurozium Schreberi</i>	18.8	18.0	24.5	23.1	21.4
<i>Populus tremula</i>	47.1	25.8	17.5	33.5	49.9
<i>Quercus robur</i>	50.6	37.0	24.6	42.7	58.1
<i>Rhamnus frangula</i>	35.8	16.8	14.5	20.6	40.6
<i>Rhytidadelphus triquetrus</i>	16.2	22.2	32.8	37.5	19.9
<i>Rubus idaeus</i>	64.9	44.1	28.0	57.6	66.5
<i>Salix caprea</i>	39.9	33.4	30.1	42.0	40.8
<i>Sphagnum Girgensohnii</i>	0.0	8.2	5.6	6.0	2.0
<i>Tilia cordata</i>	54.8	37.7	32.0	51.7	50.6

natürlichen Biotope zu zersetzen, und der auf morschem Holz vorkommende *M. luteo-alcalina* ziemlich effektiv auch Laub- und Moosstreu.

Wenn man die Zersetzungsgeschwindigkeit der hier in Frage stehenden Pilze mit den von anderen Autoren mitgeteilten Werten

vergleicht (Lindberg 1944, Mikola 1954, 1956), müssen die Helmlinge als recht effektiv angesehen werden, und z.B. *M. polygramma* ist in dieser Beziehung mit den aller-effektivsten Zersetzern (*Collybia* und *Marasmius*-Arten) durchaus vergleichbar.

VERÄNDERUNGEN DER AZIDITÄT BEI STREUZERSETZUNG DURCH MYCENA-ARTEN

Die am Ende der Versuche 2 und 3 gemessenen Aziditäten sind in den Abb. 2 und 3 wiedergegeben. Beim Versuch 2 liess sich ein Unterschied zwischen den verschiedenen Helmlingarten feststellen: Die zuvörderst in Nadelwäldern vorkommenden Arten verwandelten die Azidität der Streu fast unabhängig vom ursprünglichen Wert in etwa pH 4.0–4.5, während bei *M. vulgaris*, *M. flavoalba* und *M. stylobates* die Azidität gleich blieb oder abnahm (Abb. 2). Diese letzteren

Arten kommen in etwas feuchteren Waldtypen vor als die ersteren. In Versuch 3 erhöhten jedoch auch die Laubwaldarten *M. polygramma*, *vitis* und *M. filipes* die Azidität, die aber andererseits regelmässig geringer war als bei den Nadelwaldarten. Das Absinken des pH war ganz deutlich bei den meisten Streuarten, nur nicht auf Blättern von *Rhamnus* und *Rubus*, teilweise auch *Filipendula*, *Picea* und *Cladonia*, die von allen Arten weniger Sauer gemacht wurden.

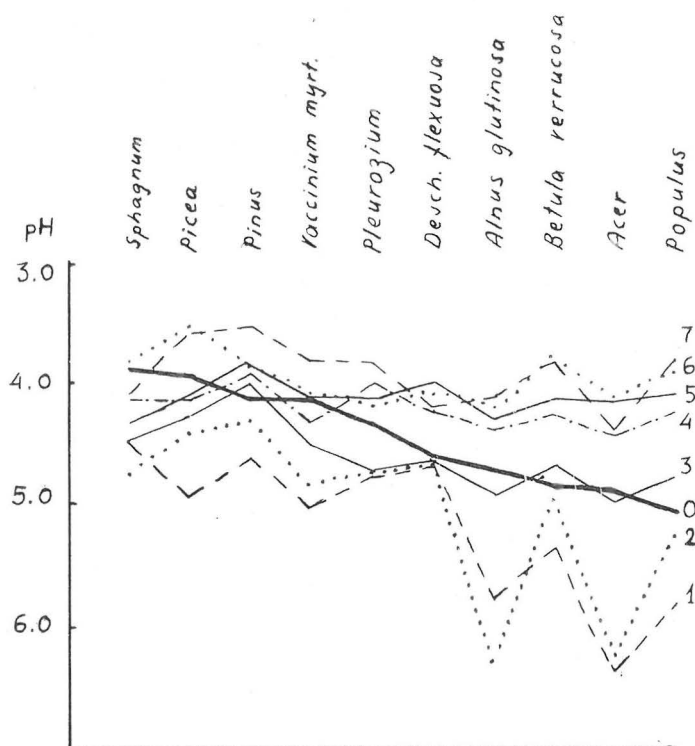


Abb. 2. Durch *Mycena*-Arten hervorgerufene Veränderungen in der Azidität der Streu bei Versuch 3. 0: Anfangs-pH. 1: *M. flavoalba*. 2: *M. stylobates*. 3: *M. vulgaris*. 4: *M. tenella*. 5: *M. sanguinolenta*. 6: *M. megaspora*. 7: *M. galopus* l.

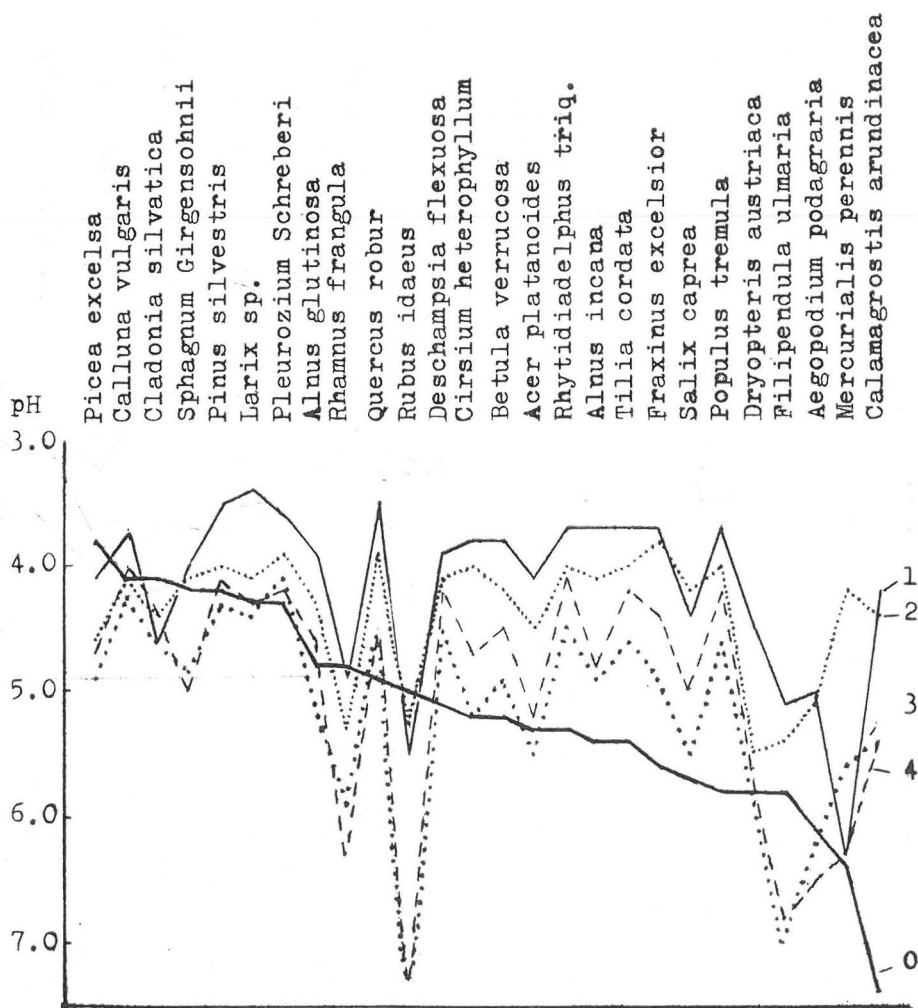


Abb. 3. Durch *Mycena*-Arten hervorgerufene Veränderungen in der Azidität der Streu bei Versuch 3. 1: *M. galopus* 2: *M. sanguinolenta* 3: *M. filipes* 4: *M. polygramma* 0: Anfangs-pH.

Eine entsprechende Zunahme der Azidität wurde auch von den holzvermorschenden Helmlingen hervorgerufen.

Versuch 5. In Reagensgläsern wurden 0.5 g feingeschabte Späne von Kiefern-, Eichen-, Weisserten-, Birken-, Fichten- und Espenholz abgewogen. Das Holz war frisch mit Ausnahme des Kiefern- und Eichenholzes, das von am Baum festsitzenden, trockenen Zweigen stammte. Versuchszeit 5 Monate. Die am Schluss des Versuches gemessene Azidität in Abb. 4.

Die Veränderungen des pH-Wertes waren im grossen und ganzen die gleichen wie auch bei den streuzersetzenden Arten: Die Nadelwaldarten (*M. luteo-alcalina*, *M. maculata*) erhöhten die Azidität, während die Eichen-

waldart *M. inclinata* keinen wesentlichen Einfluss hatte.

Auch bei Versuch 6, wo acht Arten auf Sägemehl von Birkenholz im Reagensglas kultiviert wurden (0.5 g Sägemehl + 5 ml steriles destilliertes Wasser, Versuchszeit 145 Tage), war eine kräftige Zunahme der Azidität wahrzunehmen (Tabelle 5).

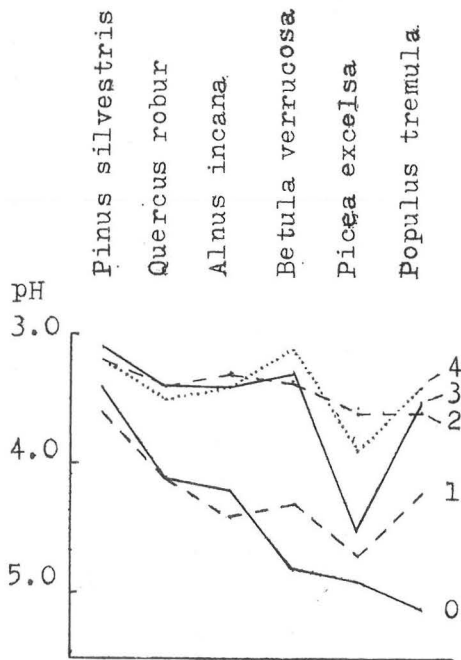
Diese Versuche zeigen, dass besonders die in Nadelwäldern wachsenden *Mycena*-Arten bei Laborversuchen die Tendenz haben, die Streu auf ungefähr pH 4 (3.5–4.5) zu säuern. Eine entsprechende Zunahme der Azidität hat man auch bei der Streuzersetzung zahlreicher anderer Hutzpilzarten beobachten können (Lindeberg 1944, Mikola

1954 b, 1956). Die einzelnen Arten scheinen jedoch in dieser Beziehung weitgehende Unterschiede aufzuweisen, und viele auch in Heidewäldern auftretende Arten (z.B. *Laccaria laccata*) scheinen die Streu auch weniger sauer machen zu können.

Tabelle 5. Veränderungen der Azidität bei der Zersetzung von Sägemehl durch acht *Mycena*-Arten.

	End-pH der Parallelen	
O	5.7	5.8
<i>M. inclinata</i>	4.4	4.6
<i>M. vulgaris</i> 2	4.3	4.2
<i>M. epipterygia</i> 2	3.9	3.5
<i>M. galopus</i> 2	3.5	3.5
<i>M. polygramma</i>	3.4	—
<i>M. laevigata</i>	3.4	3.4
<i>M. galericulata</i>	3.3	3.3
<i>M. maculata</i> 1	3.2	3.2

Abb. 4. Veränderungen der Azidität bei der Zersetzung von Holz durch vier *Mycena*-Arten. 0: ungeimpft. 1: *M. inclinata*. 2: *M. galericulata*. 3: *M. maculata*. 4: *M. luteo-alcalina*.



URSACHEN DER AZIDITÄTSZUNAHME

Da nach der bekannten Theorie von F a l c k (1923, 1930) die Veränderungen der Azidität bei der Streuzersetzung durch Pilze mit dem Abbau von Zellulose und Lignin verknüpft wären, wurde die Fähigkeit der *Mycena*-Arten, die verschiedenen Bestandteile der Streu abzubauen, mit Hilfe von folgenden Versuchen untersucht.

1. *Fähigkeit, Lignin abzubauen.* Diese Fähigkeit, die bekanntlich zahlreichen Hutzpilzen eigen ist (L i n d e b e r g 1946, 1948), zeigt sich am unmittelbarsten als eine Aufhellung der vom Pilz gebrauchten Streu. Bei der Zersetzung durch Helmlinge wurden alle Laubstreuarten mehr oder weniger hellgelblich. Besonders auffällig war diese Veränderungen beim Espen- und Eichenlaub, während sie bei der Nadel- und Moosstreu weniger ausgeprägt war. Dunkler wurde die Streu aber niemals.

Experimentell ist nachgewiesen worden, dass die ligninabbauenden Pilzarten auf gallensäurehaltigem Nährboden an der Impfstelle durch das von ihnen ausgeschiedene Polyphenoloxidase-Enzym einen schwarzen Ring bilden, während hinwieder bei den Arten, denen diese Fähigkeit fehlt, dieser Boden unverfärbt bleibt (B a v e n d a m m 1936, L i n d e b e r g 1948).

Versuch 6. Auftreten von Polyphenoloxidase bei den *Mycena*-Arten. Nährböden nach L i n d e b e r g (1948). Von den Stämmen in Tabelle 1 wurden 24 untersucht (folgende fehlten: *laevigata*, *epipterygia* 2, *pura* und *vulgaris* 2).

Alle untersuchten Arten bildeten auf dem Gallsäurenährboden in zwei Wochen eine schwarze Zone von etwa 5 cm Durchmesser, desgleichen auch, wensschon schmaler, auf Tannin- und Katecholnährböden. Auf Hydroxinon gaben nur *M. luteoalcalina* 1, *inclinata* und *galopus* 1 eine schwache Reaktion, andere fingen überhaupt nicht zu wachsen an. Der Versuch zeigt, dass die untersuchten *Mycena*-Arten Polyphenoloxidase-Enzym ausscheiden und demgemäss wahrscheinlich auch Lignin abbauen.

Aus Birkenholz isoliertes, gereinigtes Lignin (das mir Mag. K. F o r s s freundlicherweise aus dem Labor OY. Keskuslaboratorio beschaffte) erwies sich als giftig, und auf Nährböden, die solches Lignin enthielten, konnten *M. galopus* und *M. laevigata* überhaupt nicht zum Wachsen gebracht werden.

2. *Fähigkeit, Zellulose abzubauen.* Da die Streu etwa 15–30 % Zellulose enthält, hat die Fähigkeit der Pilze, dieselbe abzubauen, offenbar eine grosse ökologische Bedeutung.

Versuch 6. Abgewogene Quantitäten Filtrierpapier wurden in 20 ml Nährlösung A nach L i n d e b e r g (1944, p 42) getan, die 200 mg/L Glukose und 1 g/L NH₄-Tartrat enthält. Versuchsdauer 115 Tage. Trockensubstanzverlust und pH sind aus Tabelle 6 ersichtlich. Zwei Parallelen.

Tabelle 6. Trockensubstanz-(Zellulose)-Verlust bei Versuch 6. Anfangs-pH 5.5.

	Trockensubstanz- verlust %	End-pH
<i>M. vulgaris</i> 2	14.2	6.9
<i>M. laevigata</i>	12.7	4.5
<i>M. galopus</i> 2	10.6	4.2
<i>M. maculata</i> 2	9.9	3.9
<i>M. epipterygia</i> 2	7.9	4.8
<i>M. inclinata</i>	5.4	6.7
<i>M. galericulata</i>	4.4	4.7

Versuch 7. Gleiche Nährlösung wie im vorigen Versuch, aber feingemahlene Zellulose 10 g/L und Agar 1.5 %. Folgende Arten wurden in Petrischalen auf diesem Nährboden gezüchtet: *M. atroalboides*, *clavicularis*, *epipterygia* 1, *flavoalba*, *galopus* 1, *megaspora*, *rosella*, *sanguinolenta* 1, *stylobates*, *urania*, *tenella* und *vulgaris* 1.

Alle Arten wuchsen auf diesem Nährboden sehr kräftig, und an der Impfstelle entstand ein durchscheinender Hof.

Die untersuchten *Mycena*-Arten können also sowohl Lignin, als Zellulose abbauen. Unter den Hutpilzen des Bodens dürfte dieser Typus am gewöhnlichsten sein, denn ausschliesslich Zellulose oder nur Lignin zersetzende Arten scheinen nach L i n d e b e r g (1946) verhältnismässig selten vorzukommen.

3. *Fähigkeit, andere Kohlenstoffverbindungen zu zersetzen.* Die Hemizellulosen machen etwa 10—25 % von der Trockensubstanz der Streu aus, sie stellen also eine sehr wesentliche Bestandteilgruppe dar. Ihre gewöhnlichsten Hydrolyseprodukte sind u.a. Xylose, Arabinose und Glucuronsäure. Obwohl der Anteil des Pektins an der Streu verhältnismässig gering ist, so kann vom Standpunkt der Zersetzungsfähigkeit dieses hauptsächlich in der Mittellamelle der Zellen befindlichen Stoffes doch von Interesse sein. Für die Versuche stand Xylan («purum») der schweizerischen Fluka AG, d-Xylose («Merck») und Apfelpektin (hergestellt von der British Drug Houses Ltd.) zur Verfügung. Ausserdem wurde als Kohlenstoffquelle Asparagin benutzt.

Versuch 8. Von L i n d e b e r g s (1944) Nährlösung A wurden 20 ml in 100 ml fassende Erlenmeyerkolben pipettiert und von jedem zu untersuchenden Stoff 200 mg in 20 ml dest. Wasser. Versuchszeit 62 Tage. Resultate in Tabelle 7.

Tabelle 7. Das Wachstum von einiger *Mycena*-Arten auf verschiedener Kohlenstoffquellen.

	O	<i>M. galopus</i> 2		<i>M. epipterygia</i> 2		<i>M. laevigata</i>	
	pH	pH	mg	pH	mg	pH	mg
Glucose	5.6	3.7	40.7	4.4	40.8	4.0	39.7
Xylan	5.7	4.5	86.0	4.7	85.6	4.1	87.7
d-Xylose ...	5.6	5.3	2.4	4.8	9.0	4.6	21.6
Pektin	3.8	3.6	39.9	3.4	44.5	3.6	43.4
Asparagin ...	5.1	5.8	0.7	5.8	1.4	5.7	2.0

Die untersuchten Arten vermochten gut Glukose und ausserdem Pektin und Xylan auszunutzen, während mit Xylose und Asparagin das Wachstum sehr dürrig war. Offenbar spielte hier, was das Asparagin betrifft, auch der Anstieg des pH mit, auf allen anderen Nährböden wurde die Azidität durch die Pilze vermehrt. Im allgemeinen ist es konstantiert, dass die Arten, die Zellulose und Lignin abzubauen vermochten, auch Hemizellulose assimilieren können. So ist z.B. Xylan eine gute Kohlenstoffquelle für die Tintlinge (*Coprinus*) (L. F r i e s 1955) und auch für den Champignon (*Psalliota*) (T r e s c h o w 1944).

Die obigen Versuche zeigen, dass die *Mycenae* imstande sind, fast alle wichtigeren Bestandteile der Streu zu zersetzen. Die Veränderungen der Azidität scheinen jedoch ziemlich weitgehend von den Versuchsbedingungen abhängig zu sein und können nicht direkt mit der bei Laborversuchen stattfindenden Zersetzung irgendeiner einzelnen Stoffgruppe in Verbindung gebracht werden.

Physiologisch werden die von Pilzen hervorgebrachten Säuren oft als Nebenprodukte eines anormalen Stoffwechsels angesehen, die sie wegen anderer Umstände, z.B. wegen Mangels an Mineralstoffen, nicht aufzunehmen vermögen. Die Säureproduktion als Resultat eines solchen sog. Shunt-Metabolismus ist im allgemein dann am grössten, wenn das Kohlen-Stickstoffverhältnis hoch ist, während hingegen bei genügendem Angebot von Stickstoff und Mineralstoffen keine Säuren ausgeschieden werden (F o s t e r 1949).

In vielen Fällen ist festgestellt worden, dass bei der Zersetzung von Streu im Laboratorium durch Mischmikroben der pH-Wert kräftig ansteigt (N y k v i s t 1959 u.a., vgl. auch S j ö r s 1959), und das gleiche geschieht bei den schwächer zersetzenden Hut-

pilzen (Mikola 1956), während bei den effektiven Ligninzersetzern die Azidität zunimmt. Da bei den letztgenannten Arten das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis einer gewissen Streuart offenbar grösser ist als bei den nur lösliche Stoffe zersetzenden Organismen, wäre die Zunahme der Azidität vielleicht von diesem Gesichtspunkt aus verständlich.

Als *M. galopus* auf einem Nährboden kultiviert wurde, dessen C:N-Verhältnis durch Zusatz verschieden grosser Mengen Ammoniumtartrat verändert wurde, konnte die Azidität in schwach stickstoffhaltigen Lösungen, deren C:N-Verhältnis über 75 war, deutlich vermehrt werden.

Versuch 10. Veränderungen der Azidität bei der Zersetzung verschiedener Streubestandteile durch *Mycena*-Arten. In 150 ml fassende Erlenmeyerkolben wurden 50 ml Extrakt und 1 g unlöslicher Stoff in 10 ml Leitungswasser getan. Versuchszeit 102 Tage.

In Versuch 10 wurden die Veränderungen der Azidität bei der Zersetzung von wasserlöslichen sowie von in kaltem und heissem Wasser unlöslichen Bestandteilen der Laubstreu durch gewisse Helmlingarten untersucht. In sämtlichen Fällen nahm die Azidität ganz unverkennbar bei den unlöslichen, mehrmals mit Wasser extrahierten Blätter zu, während hingegen der aus Laub hergestellte Extrakt nicht wesentlich saurer wurde (Tabelle 8), obwohl das Wachstum hier sehr kräftig war, u.a. füllte das Myzelium das ganze Flüssigkeitsvolumen aus. Das extrahierte Laub muss ziemlich arm an Nährstoffen sein, es enthält hauptsächlich nur Lignin und Zellulose sowie unlösliche Proteine. Die Säuerung des extrahierten Laubs bei der Zersetzung durch

Tabelle 8. Veränderungen der Azidität bei der Zersetzung verschiedener Streubestandteile durch *Mycena*-Arten.

	Anfangs- pH	<i>M. sangui- nolenta</i> 2	<i>M. galopus</i> 2	<i>M. poly- gramma</i>
<i>Tilia cordata</i>				
Extrakt	5.4	5.1	4.9	5.1
Unlöslich	4.9	3.7	3.4	4.5
<i>Betula verrucosa</i>				
Extrakt	5.3	5.2	5.2	5.1
Unlöslich	4.8	3.6	3.2	4.7
<i>Populus tremula</i>				
Extrakt	5.2	5.6	5.2	5.6
Unlöslich	5.0	3.6	3.2	4.2
Unlösliches + 10 mg Ammoniumtartrat	—	—	4.4	—
Unlösliches + 50 mg Ammoniumtartrat	—	—	5.0	—

M. galopus konnte durch Zusatz von Ammoniumtartrat verhindert werden.

Da die Streu verhältnismässig wenig Stickstoff enthält, wurden der zu zersetzenden Eichenlaubstreu in Versuch 11 verschiedene Stickstoffverbindungen in Mengen, die 10 mg N entsprachen, zugesetzt, was den Stickstoffgehalt der Streu ungefähr verdoppelte. Im übrigen wurde das Experiment so wie Versuche 2 und 3 ausgeführt. Die Resultate sind aus Tabelle 9 ersichtlich.

Die vier untersuchten *Mycena*-Arten säueren kräftig das Eichenlaub, dessen ursprüngliches pH 4.8 war. Von den organischen Stickstoffquellen verminderten Arginin, NH_4 -Tartrat, Asparagin und Asparaginsäure die Zunahme der Azidität, und in vielen Fällen stieg der pH-Wert sogar, wie z.B. beim Asparagin. Zusatz von Pepton, Histidin und Leucin hin-

Tabelle 9. Einfluss verschiedener Stickstoffzusätze auf den Trockensubstanzverlust und die pH-Veränderungen von Eichenlaub bei Zersetzung durch vier *Mycena*-Arten. Versuchszeit 78 Tage.

Stickstoffquelle	pH	<i>M. polygramma</i>		<i>M. galopus</i> 2		<i>M. laevigata</i>		<i>M. epipterygia</i> 2	
	O	pH	%	pH	%	pH	%	pH	%
O	4.8	4.5	48.5	3.6	32.9	3.9	59.3	4.3	31.9
Arginin	4.8	5.1	55.2	3.6	27.6	4.2	52.7	4.6	30.4
NH_4 -tartrat	4.8	5.7	54.1	4.5	35.8	4.9	47.4	4.7	27.2
Asparagin	4.7	5.3	48.9	4.1	37.6	5.3	50.3	5.8	22.6
Asparaginsäure ...	3.8	4.9	40.5	4.8	27.1	4.7	37.0	4.8	22.3
Pepton	4.8	4.5	47.4	3.7	29.0	4.6	42.8	4.8	32.7
Histidin	4.6	4.4	38.2	3.4	20.0	4.0	31.5	4.4	24.3
Leucin	4.4	4.7	54.7	4.0	31.6	4.5	42.5	4.3	19.6
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	4.7	3.9	53.5	3.3	23.6	3.5	46.8	3.8	22.1
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	4.7	3.9	50.3	3.3	20.3	3.6	36.4	3.8	20.4
NH_4Cl	4.5	3.6	34.6	3.3	10.5	3.7	22.5	3.8	18.7

gegen war nicht so wirksam. Der anorganische Ammoniumstickstoff führte einen erheblichen Anstieg der Azidität herbei, was nur auf dem schnelleren Verbrauch der Kation beruhen dürfte.

Die Zersetzungsgeschwindigkeit wurde durch die Stickstoffzugaben nicht wesentlich beschleunigt, und Ammoniumchlorid sowie Histidin hatten umgekehrt eine ganz deutliche Hemmwirkung.

Ob der Stickstoffzusatz den Shunt-Metabolismus beeinflusst, oder ob dann alkalische Pufferstoffe entstehen, lässt sich ohne chemische Analyse nicht entscheiden. Ganz offenbar aber ist die Beschaffenheit und Menge der Stickstoffnährstoffe mindestens ebenso wichtig wie die der Kohlenstoffnahrung.

Die oben beschriebenen Untersuchungen umfassten nur im Laboratorium durchgeführte Versuche, bei denen die Verhältnisse in vieler Hinsicht anders sind als in der Natur. So produzieren z.B. viele Pilze in diesen Bedingungen u.a. Zitronensäure, die als den Boden beeinflussender Faktor kaum Bedeutung haben dürfte. Man kann sich daher fragen, ob die Helmlinge auch in der Natur eine säuernde Wirkung haben.

Bei den hier untersuchten Arten konnte ich nicht feststellen, dass die Streu am Fuss des Fruchtkörpers, wo offenbar Myzelien sind, sich hinsichtlich ihrer Azidität wesentlich von der Umgebung unterschieden hätte. Der niedrige pH-Wert an den Standorten der holzvermorschenden Arten könnte jedoch auf eine solche Möglichkeit hinweisen. Was die grösseren saprophytischen Hutpilze betrifft, so hat R o m e l l (1939) nachgewiesen, dass sich am Fuss des Fruchtkörpers regelmässig viel helle, von Myzeln durchzogene Streu befindet, die von dem Pilz offenbar zersetzt worden ist. Derartige Streu hat der Verfasser unter den Helmlingen bei *M. pura* gefunden, der insbesondere in den hainartigen und OMT-Wäldern sehr verbreitet ist. Die durchgeführten Messungen ergaben, dass die von dieser Pilzart in der Natur zersetzte Streu, saurer war als die umgebende Laubstreu, durchschnittlich etwa 1 pH-Grad (Tabelle 10). Ähnliche helle, myzeldurchsetzte Streu findet man auch unter den Fruchtkörpern vieler anderer streuzersetzender Pilzarten, wie z.B. *Collybia dryophila*, *C. butyracea*, *C. confluens*, *Clitocybe clavipes*, *C. odora*, *C. infundibuliformis*, *Cystoderma carcharias* und *Cudonia con-*

fusa. In sämtlichen Fällen ergab die von dem Pilz zersetzte Streu einen niedrigeren pH-Wert als die umgebenden Pflanzenreste. Ausser hinsichtlich der Azidität unterschied sich diese helle, myzelreiche Streu von der dunkleren Laubstreu der Umgebung auch noch insofern, als sich in dem zugesetzten destillierten Wasser ein hellbrauner, offenbar den Humusstoffen ähnlicher Stoff löste, was bei der daneben genommenen Probe nicht der Fall war.

Bei den Reinkulturversuchen haben diese Arten im allgemeinen die Streu weitgehend gesäuert (M i k o l a 1956), und insbesondere die *Collybia*-Arten Lignin zersetzt, worauf auch die hellere Farbe der in der Natur von ihnen zersetzten Streu hinweist. Da diese Arten sehr verbreitet sind, findet man vor allem in den Hainen reichlich saure Flecken, auch an Stellen mit im übrigen einheitlicher Pflanzendecke.

Es möge ferner noch folgende Beobachtung über die Tätigkeit der Weissmorscher berichtet werden. Im Frühjahr 1960 nach der Schneeschmelze war in der Umgebung von Korso in den feuchten MT-Mischwäldern die oberste Schicht der Birkenlaubstreu vielerorts stellenweise deutlich heller als die Umgebung. Das Birkenlaub dieser hellen Streuflecken (Abb. 5) war, wie 130 Messungen ergaben, etwa 1–1.5 pH-Grad saurer als die unmittelbar daneben befindliche, offenbar zur gleichen Zeit abgefallene Birkenlaubstreu, die dunkelgrau bis schwärzlich war (Abb. 6). Welche Pilzart die Streu verfärbt hatte, konnte nicht bestimmt werden. Da die ursprüngliche Azidität der Birkenlaubstreu etwa pH 5.1–6.0 beträgt (M i k o l a 1954 a), muss der Weissmorscher auch in diesem Falle stark säuernd wirken, während die Organismen, welche die Streu dunkel färben, dieselbe meher weniger sauer machen, was den Laborversuchen entspricht (M i k o l a 1956).

Es ist interessant, dass die obengenannten Pilze als Weissmorscher aktiv die Azidität der Streuschicht auch in den Heidewäldern verehren, worauf Beispiele von *Collybia butyracea* und *Cudonia* (Tabelle 10) hinweist. Nach der Theorie von F a l c k produzieren die Weissmorscher bei der Streuzersetzung kaum wesentlich saure Stoffe, und demgemäss bezeichnet M e y e r (1959) die von den Weissmorschern gebildeten hellen »Nester« als charakteristisch für den Hainboden. Den obigen Beobachtungen gemäss wäre jedoch die

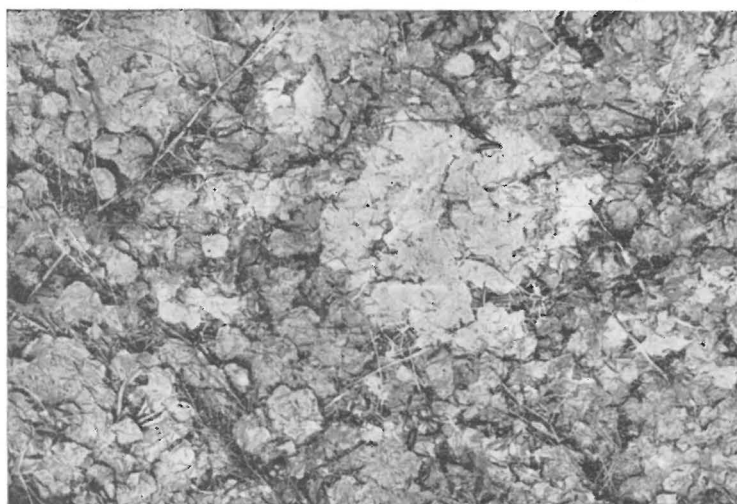


Abb. 5. Birkenstreu in feuchtem MT-Mischwald (Tuusula, Hyrylä, 9.5. 1960), worin ein vom Erreger der Weissfäule verursachter hellerer Fleck zu sehen ist.

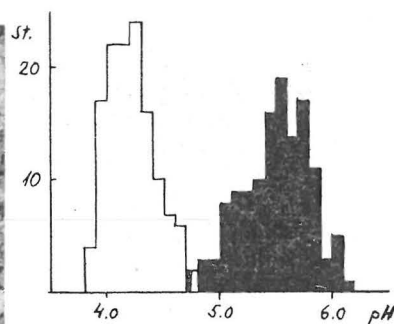


Abb. 6. pH-Werte der Streu von 130 in Abb. 5 dargestellten hellen Flecken (nicht ausgefüllte Pfeiler) und die pH-Werte der unmittelbar neben jedem Fleck genommene, meistens schwärzlichen, gleich altrigen Birkenlaubstreu (schwarze Pfeiler). Die Proben wurden in vier feuchten MT-Mischwäldern in den Kirchspielen Tuusula und Sipoo gesammelt.

Tätigkeit der Weissmorscher im Hainhumus andersartig als die seiner übrigen Bodenorganismen, und nach dem pH beurteilt dürfte sie eher zur Bildung von Rohhumus führen.

Im Hinblick auf die stark säuernde Wirkung von *Mycena pura* und der anderen in Tabelle 11 aufgeführten Hutpilze ist es wahrscheinlich, dass auch die anderen Helmlingarten als kräftige Ligninabbauer in der Natur die Azidität der Humusschicht erhöhen. Als effektiver Zersetzer von Pflanzenresten haben sie ganz offenbar eine beträchtliche Bedeutung für die Streuzersetzung in unseren Heidewäldern.

Tabelle 10. pH-Werte der unter dem Fruchtkörper gewisser Hutpilze befindlichen hellen, myzeldurchsetzten Streu (B) im Vergleich zu den entsprechenden Werten der unmittelbar angrenzenden (etwa 10–25 cm entfernten) dunklen Streu (A).

Mycena pura

A	4.3	4.5	4.7	4.8	4.8	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2
B	3.8	4.0	4.2	4.1	4.6	4.5	4.6	4.9	4.9	4.5
A	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7
B	4.2	4.5	4.3	4.5	4.2	4.7	4.7	4.8	5.1	4.6

Collybia butyracea

A	3.7	4.5	5.0	5.0	5.3	5.4	5.5	5.5	5.5	5.7
B	3.4	3.9	4.0	4.8	3.8	4.4	4.6	4.9	4.7	4.6
A	5.9	5.9	5.9	5.9	6.1	6.2				
B	4.5	4.6	4.7	4.9	4.7	4.8				

Collybia dryophila

A	5.0	5.1	5.4	5.6	5.7	5.9	6.0	6.0	6.0	6.3
B	4.1	4.4	4.2	4.3	4.6	4.6	4.3	4.4	4.6	4.9
A	6.3	6.7								
B	5.1	4.4								

Collybia confluens

A	6.1	6.5
B	4.9	5.2

Clitocybe infundibuliformis

A	5.5	5.9
B	4.4	4.6

Clitocybe clavipes

A	4.6	5.4
B	3.6	4.1

Cystoderma carcharias

A	4.7	4.9	4.9	5.1	6.0
B	3.8	4.0	4.2	4.2	4.8

Clitocybe odora

A	5.5	5.6
B	4.3	5.4

Cudonia confusa

A	4.3	4.7
B	3.4	3.6

ZUSAMMENFASSUNG

1. Die in der Natur durchgeführten pH-Messungen zeigen, dass die gewöhnlichsten *Mycena*-Arten auf sauren Heidehumus begrenzt sind.

2. In der Reinkultur war das physiologische pH-Optimum von 21 Arten etwa pH 4–5, am Neutralpunkt wuchsen die Pilze mit Ausnahme von einigen Arten der feuch-

ten und hainartigen Wälder überhaupt nicht.

3. Alle untersuchten Arten zersetzten bei den Laborversuchen Streu, manche sogar sehr effektiv.

4. Bei der Streuzersetzung im Laboratorium stieg die Azidität bei den Heidewaldarten auf ca pH 3.5—4.5, bei Hainwaldarten war die Veränderung geringer. Dies konnte auch in der Natur beobachtet werden, und zwar so dass die von *M. pura* sowie vielen anderen Weissfäule hervorrufenden Hutpilzen und einem unbekannten Weissmorscher zersetzte Streu viel saurer war

als die dunklere Umgebung, wobei der Unterschied etwa 0.5—1.5 pH-Grad betrug.

5. Die untersuchten Helmlinge waren imstande, Lignin und ausserdem auch Zellulose, Hemizellulose und Pektin abzubauen. Versuche 10 und 11 weisen darauf hin, dass die Veränderungen der Azidität auch mit dem Stickstoffmetabolismus verknüpft sind.

Der Verfasser gestattet sich, Herrn Prof. Peitsa Mikola seinen besten Dank auszusprechen für viele wertvolle Ratschläge, ferner Herrn Prof. Viljo Kujala für die Arbeitsmöglichkeiten im Forstwissenschaftlichen Institut und schliesslich der Osk. Huttunen-Stiftung und der Vanamo-Gesellschaft für finanzielle Unterstützung.

LITERATUR

- Bavendamm, W., 1936: Erkennen, Nachweis und Kultur der holzverfärbenden und holzzersetzenden Pilze. — Handb. d. biol. Arbeitsmeth., Abt. XII:2.
- Falck, R., 1923: Erweiterte Denkschrift über die Bedeutung der Fadenpilze für die Nutzbarmachung der Abfallstoffe zur Baumernährung im Walde und über die Möglichkeit einen nachträglichen pilzlichen Aufschliessung des Trockentorfs. — Mykol. Unters. u. Ber. 2, 38—72.
- »— 1930: Nachweise der Humusbildung und Humuszehrung durch bestimmte Arten höherer Fadenpilze im Waldboden. — Forstarchiv 6, 366—377.
- Foster, J. W., 1949: Chemical activities of Fungi. — 648 pp. New York.
- Fries, L., 1955: Studies in the physiology of Coprinus I. — Sv. Bot. Tidskr. 49, 475—535.
- »— 1956: Studies in the physiology of Coprinus II. — Ibid. 50, 47—96.
- Fries, Nils, 1949: Culture studies in the genus Mycena. Ibid. 43, 316.
- Grainger, J., 1946: Ecology of the larger fungi. — Trans. Brit. Myc. Soc. 29, 52—63.
- Harvey, E. N., 1952: Bioluminescence. — New York. 649 pp.
- Kühner, R., 1938: Le genre Mycena. — 710 pp. Paris.
- Lindeberg, G., 1944: Über die Physiologie ligninabbauender Bodenhymenomyceten. — Symb. Bot. Ups. 8:2, 1—183.
- »— 1946: On the decomposition of lignin and cellulose in litter caused by soil-inhabiting Hymenomycetes. — Arch. f. Bot. 33 A 10.
- »— 1948: On the occurrence of polyphenol oxidases in soil-inhabiting Basidiomycetes. — Phys. Plant. 1, 196—205.
- Meyer, F. H., 1959: Untersuchungen über die Aktivität der Mikro-organismen in Mull, Moder und Rohumus. — Arch. f. Mikrobiol. 33, 149—169.
- Mikola, P., 1954 a: Kokeellisia tutkimuksia metsäkarikkeiden hajaantumisopeudesta. — Comm. Inst. Forest. Fenn., 43:1, 1—50.
- »— 1954 b: Metsämaan kantasienten kyvystä hajottaa neulas- ja lehtikarikkeita. — Ibid. 42:7, 1—17.
- »— 1956: Studies on the decomposition of forest litter by basidiomycetes. — Ibid. 48:2, 1—19.
- »— 1957: Physiological variation in Collybia butyracea (Bull.) Fr. — Karstenia 4, 10—13.
- Modess, O., 1941: Zur Kenntnis der Mykorrhizabildner von Kiefer und Fichte. — Symb. Bot. Ups. 5:1, 1—146.
- Norkrans, B., 1950: Studies in growth and cellolytic enzymes of Tricholoma with special reference to mycorrhiza formation. — Symb. Bot. Ups. 11:1, 1—126.
- Nykvist, N., 1959: Leaching and decomposition of litter II. — Oikos 10, 212—224.
- Romell, L.-G., 1939: Barrskogens marksvampar och deras roll i skogens liv. — Sv. Skogsvårdför. Tidskr. 37, 348—375.
- Sjörs, H., 1959: Changes in pH of leaf litter during a field experiment. — Oikos 10, 225—232.
- Treschow, C., 1944: Nutrition of the cultivated mushroom. — Dansk Bot. Ark. 11:6, 1—180.
- Wilkins, W. H., J. L. Harley & G. C. Kent, 1938: The ecology of larger fungi. II. Ann. Appl. Biol. 25, 472—489.
- Wilkins, W. H. & B. M. H. Patrick, 1940: The ecology of larger fungi III. — Ibid. 27.