

Aktivitäten von ^{137}Cs und ^{134}Cs in einigen Hutpilzen zweier unterschiedlichen Standorte Mittelböhmens in den Jahren 1986 - 1990

Aktivita ^{137}Cs a ^{134}Cs v některých kloboukatých houbách dvou rozdílných lokalit středních Čech v letech 1986 - 1990

Marta Semerdžieva¹, Miloslav Vobecký²,
Jana Tamchynová¹ a Tomáš Těthal²

Fünf Jahre lang nach dem Reaktorunfall im Kern-Kraftwerk in Tschernobyl (26. 4. 1986) wurden spezifische Aktivitäten von ^{137}Cs und ^{134}Cs in grösseren Proben verschiedener getrockneter Hutpilze bestimmt. Die Fruchtkörper wurden jeden Herbst auf zwei unterschiedlichen Waldstandorten 70 km südöstlich von Prag gesammelt. Parallel wurden Erdsubstrate verfolgt.

Die Ergebnisse, summarisiert in vier Tabellen, zeigten, dass der Grad der Kontamination durch Radionuklide artspezifisch ist, dass er im Pilzhut höher ist als im Pilzstiel, dass er während der verfolgten fünf Jahre vom dritten Jahr eine sinkende Tendenz aufweist und dass er in zwei nahe gelegenen Standorten verschieden war. Bei den Bodenproben beider Standorte hatte die spezifische Aktivität des Spaltproduktes $^{137}\text{Caesium}$ der Oberflächenschicht im Laufe der Jahre eine sinkende Tendenz, während sie in der tieferen Schicht allmählich anstieg.

Po dobu pěti let po havárii v Černobylské jaderné elektrárně (26. 4. 1986) byly měřeny měrné aktivity ^{137}Cs a ^{134}Cs v hmotnostně větších vzorcích sušených plodnic různých kloboukatých hub, sbíraných každý podzim in dvou rozdílných lesních lokalitách 70 km jihovýchodně od Prahy. Souběžně byly sledovány půdní substráty.

Výsledky, sumarizované ve čtyřech tabulkách, ukázaly, že stupeň kontaminace radionuklidy je druhově závislý, že je v klobouku plodnice vyšší nežli ve třeni, že má během pěti sledovaných let od třetího roku klesající tendenci, a že byl ve dvou blízkých lokalitách rozdílný. U vzorků půdy z obou sledovaných lokalit měla měrná aktivita štěpného produktu ^{137}Cs povrchové vrstvy v průběhu let klesající tendenci, zatímco v hlubší vrstvě postupně narůstala.

Material und Methoden

Beide Waldstandorte, auf denen fünf Jahre lang Hutpilze gesammelt wurden, befinden sich im südöstlichen Teil des mittelböhmischen Landkreises und sind von einander 9 km entfernt.

Standort I: Vlastišov bei Zvěstov, vorwiegend Nadelwald (Fichte, vereinzelt Kiefer, Lerche), ausnahmsweise Laubbäume (Eiche, Birke). Hang nach Südosten gekehrt. 420 m ü. M.

Standort II: Louňovice pod Blaníkem, vorwiegend Laubwald (junge Eichen, dazwischen kleine Fichtensämlinge und Baumstümpfe). Mässiger Hang nach Norden gerichtet. 396 m ü. M. Insgesamt ärmer an Pilzarten und Pilzmenge.

Das Sammeln der Pilze und Bodensubstrate wurde alljährlich im September bis Oktober durchgeführt (11. IX. 1986, 1. X. 1987, 7. X. 1988, 12. IX. 1989 und 10. X. 1990).

Von Pilzen, die auf beiden Standorten in grösseren Mengen wuchsen, wurden Fruchtkörper einzelner Arten gesammelt (Frischmasse durchschnittlich 0,5 - 1,0 kg und mehr). Diese wurden auf Plättchen geschnitten, zum konstanten Gewicht getrocknet und in breithalsigen Polyäthylenflaschen bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Insgesamt wurden 14 Arten von Hutpilzen der Klasse Basidiomycetes untersucht und zwar 9 Arten von Mykorrhizapilzen und 4 Arten von Holzpilzen. Arten und Menge der Fruchtkörper waren in Folge unterschiedlicher klimatischen Bedingungen in den einzelnen Jahren ungleich und es war daher nicht möglich die einzelnen Pilzarten in jedem Jahr zu sammeln. Die grösste Menge an Fruchtkörpern (über 7 kg) wurde im Jahre 1986 gewonnen. Am reichsten an Arten war das Jahr 1989, am ärmsten das Jahr 1988. Die Arten *Lactarius rufus* (1986, 1987), *Tylopilus felleus* (1987) und *Armillaria mellea* (1988) wurden in genügender Menge gefunden, so dass es möglich war getrennt auch Hutpilze und Hutstiele zu analysieren. Vom Standort I wurden 12 Arten, nämlich *Armillaria mellea* (1988), *Boletus badius* (1987, 1988), *Collybia maculata* (1989), *Hygrophopsis aurantiaca* (1990), *Hypoholoma fasciculare* (1989), *Lactarius rufus* (1986, 1987, 1989, 1990), *L. turpis*

(1989), *Paxillus involutus* (1989, 1990), *Strobilomyces floccopus* (1987), *Tricholomopsis rutilans* (1989), *Tylopilus felleus* (1986, 1987, 1989) und *Xerocomus chrysenteron* (1986) untersucht. Vom Standort II wurden 7 Arten, nämlich *Collybia maculata* (1989), *Hypholoma fasciculare* (1989), *H. sublateralium* (1987, 1988), *Lactarius rufus* (1986, 1987), *Paxillus involutus* (1989, 1990), *Russula cyanoxantha* (1990) und *Tylopilus felleus* (1989) verfolgt. Für Vergleichszwecke wurden von beiden Standorten alljährlich Bodenproben entnommen und untersucht und zwar die Oberflächenschicht (bis 2 cm) und die tiefere Schicht (unter 2 cm).

Das Trockengewicht der Fruchtkörper einzelner Proben betrug 5,2 - 16,7 %, der Substrate 37,2 - 92,4 %. Die für Messungen geforderte Trockenmasse war minimal 50 g, optimal 100 g und mehr. Einige Proben wurden für das Messen der Radiocaesium-Aktivität bei Temperatur des kochenden Wasserbades mit Stickstoffsäure mineralisiert, bei Zugabe von Chlorwasserstoffsäure und 100 mg Cs als Isotop-Träger. Nach der Mineralisierung wurde der Rest der Mineralsäuren gleichfalls bei Temperatur des kochenden Wasserbades abgedampft, das Mineralisat wurde quantitativ in das ursprüngliche Messgefäß überführt und mit destilliertem Wasser auf das ursprüngliche Volumen der trockenen Probe ergänzt. Nach dem Messen des Mineralisates wurde eine bekannte Menge der Aktivität von ^{137}Cs und ^{134}Cs hinzugefügt und die Messung wiederholt. Ausser der Bestimmung der spezifischen Aktivität der mineralisierten Probe mit Hilfe der Standard-Zugabe wurde so auch die Korrektur auf Selbstabsorption für die gegebene Matrice und Geometrie vorgenommen.

Für die Bestimmung der Radioaktivität wurde das Spektrometer der Gamma-Strahlung genutzt, das aus dem System CICERO-8k (Silena, Milano) und HPGe-Detektor (Canberra) - FWHM 1.72 keV, Effektivität 20 %, bestand. Die spezifische Aktivität von ^{137}Cs und ^{134}Cs der untersuchten Proben wurde gammaspektrometrisch unter Anwendung von Etalonlösungen der angeführten Radionuklide bestimmt. Zertifizierte Etalonlösungen von ^{137}Cs und ^{134}Cs der ER-Reihe (Institut für Forschung, Produktion und Nutzung von Radioisotopen, Prag). Bei der Datenverarbeitung wurden für Kalibrationsstandarde empfohlene Halbwertszeiten verwendet (Lorenz, 1983): für das Radionuklid ^{137}Cs 30,18 Jahre und für ^{134}Cs 2,066 Jahre. Die spezifischen Aktivitäten von ^{137}Cs und ^{134}Cs sind zum Datum des Reaktorunfalls 26. 4. 1986 umgerechnet. Sowohl die Proben, wie auch die Standarde wurden in Polyäthylenflaschen gemessen. Die Flaschen wurden zu solchen Volumen gefüllt, für die Kalibrationsmessungen durchgeführt worden waren.

Ergebnisse und Diskussion

Spezifische Aktivitäten von ^{137}Cs und ^{134}Cs in Pilzen, die in den Jahren 1986-1990 auf den Standorten I und II gesammelt worden waren, sind in den Tabellen I, II und III zusammengefasst, spezifische Aktivitäten von ^{137}Cs in Bodensubstraten in Tabelle IV. Das isotope Verhältnis $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ der untersuchten Pilze und Substrate bewegte sich um den Wert 2, was der isotonen Zusammensetzung des Radiocaesiums der Tschernobyl-Kontamination entspricht (Vobecký und Těthal, 1991). Nach Feststellungen der Autoren (Vobecký und Těthal, 1991) überschritt die Kontamination von Tschernobyl in essbaren Röhrlingen im Jahre 1985 nicht das Niveau von 0,5 kBq $^{137}\text{Cs}/\text{kg}$ Trockengewicht. Auf Grund von uns gewonnener spezifischen Aktivitäten lassen sich trotz der durch Naturbedingungen beeinflussten Unvollständigkeiten aus den Tabellen folgende Erkenntnisse herauslesen:

1. Der Grad der Kontamination durch Radionuklide ^{137}Cs und ^{134}Cs ist artspezifisch. Von den 14 untersuchten Pilzarten hatten die höchsten spezifischen Aktivitäten von ^{137}Cs (über 30 kBq pro kg Trockengewicht) *Lactarius rufus*, *Boletus badius*, *Paxillus involutus* und *Tylopilus felleus*. Im Gegenteil sehr niedrige ^{137}Cs Werte (unter 1,5 kBq pro kg Trockengewicht) wiesen die Pilzarten *Russula cyanoxantha*

und *Armillaria mellea* auf (Tab. I). Diese Ergebnisse sind im Einklang mit den Arbeiten von Z. Řanda et al. (1988) und J. Klán et al. (1988). Diese Autoren verglichen kleine Proben vieler Pilzarten, die vor dem Jahre 1986 und dann im Herbst 1986 und im Jahre 1987 auf zahlreichen Standorten gesammelt worden waren. Zu den stärksten Akkumulatoren reihen sie ebenfalls alle vier, von uns angeführten Pilzarten. Als schwächste Akkumulatoren führen sie acht Pilzgattungen an, zu denen auch *Russula* und Holzpilze zählen. Auch schon H. Grüter (1971), der vor mehr als 20 Jahren die Kontamination von ^{137}Cs nach Kernwaffentesten in der Atmosphäre untersuchte, fand höhere Werte der spezifischen Aktivität von ^{137}Cs bei den Pilzarten *Paxillus involutus* und *Boletus badius*. Nach dem Unglück in Tschernobyl, besonders in Gebieten mit hohem radioaktiven Fallout, zu denen auch der südöstliche Teil des mittelböhmischen Landkreises einschliesslich beider von uns untersuchten Standorte zählt, aber auch andere Gebiete Europas, wie z. B. die Bundesrepublik Deutschland (Rückert, 1987; Molzahn et al. 1989; Elstner et al. 1989), Österreich (Teherani, 1987), Schweden (Mascanzoni, 1987), wurden in Pilzen markant höhere spezifische Aktivitäten von ^{137}Cs und ^{134}Cs gefunden. Bei der Pilzart *Laccaria amethystina* ^{137}Cs sogar bis 150,7 kBq/kg Trockengewicht (Řanda et al., 1988).

2. In Fruchtkörperhüten wurden bedeutend höhere spezifische Aktivitäten von ^{137}Cs und ^{134}Cs festgestellt als in Fruchtkörperstielen und das ungefähr doppelt so hohe, worauf Werte in Tab. II der geprüften Pilzarten *Lactarius rufus*, *Tylophilus felleus* und *Armillaria mellea* hinweisen. W. Bötticher (1974) führt an, dass die Anzeicherung der Radionuklide in den Lamellen geringfügig höher ist als im sich nach K. Rohleder (1967) in den Pilzhüten ein grösserer Gehalt an ^{137}Cs befindet, und ein kleinerer Gehalt an Strontium 90 als in den Stielen. Unsere Ergebnisse harmonisieren weiter neuerdings mit Rückert und Diehl (1987), die auch in Fruchtkörperhüten höhere Werte von Radiocaesium ermittelten.

3. Spezifische Aktivitäten von ^{137}Cs und ^{134}Cs mancher Proben, insbesondere der Pilzart *Lactarius rufus*, zeigten im Jahre 1987 einen Anstieg gegenüber dem Jahre 1986. In den weiteren Jahren 1988, 1989 und 1990 hatten sie dann meist eine sinkende Tendenz (mit Ausnahme von *Tylophilus felleus*), wie aus Tab. I. ersichtlich ist. Einen Anstieg der Radioaktivität bei essbaren Pilzarten *Boletus badius*, *Kuehneromyces mutabilis* und *Xerocomus chrysenteron* im Jahre 1987 stellte auch G. Rückert (1988) fest, der gleichzeitig bei anderen Proben gleicher als auch anderer Pilzarten Senkungen verzeichnete. Z. Řanda et al. (1989) untersuchten getrocknete Speisepilze auch im Jahre 1988, nehmen an, dass die Radioaktivität das

Maximum erreichte und der Gehalt an Radiocaesium in den weiteren Jahren zu sinken beginnt, was unsere Ergebnisse nicht ausschliessen.

4. Aus Vergleichen der spezifischen Aktivitäten von ^{137}Cs und ^{134}Cs derselben Pilzarten von beiden untersuchten Standorten geht hervor, dass ein wesentlich höherer Grad der Kontamination in Pilzen des Standortes I (vorwiegend Nadelwald) ermittelt wurde, wie aus Tab. III hervorgeht. Alle fünf untersuchte Pilzarten des Standortes II (Laubwald) hatten in allen Jahren wesentlich niedrigere spezifische Aktivitäten von Radiocaesium. Einen bestimmten Einfluss könnte die Lage der Standorte und deren hydrometeorologische Situation im Jahre 1986 gehabt haben. Eine grosse Rolle spielt hier zweifellos die Bodenzusammensetzung. Darauf weist auch W. Böttcher (1974) hin, der nach H. Grüter (1964, 1967) anführt, dass die höchsten Gehalte an Radiocaesium im Nadelwald (Kiefernadelböden) und wesentlich niedrigere im Laubwald festgestellt wurden.

5. Die Kontamination der Bodensubstrate, in denen die Pilze auf beiden Standorten wuchsen, zeigt abschliessend Tab. IV. Im Nadel- wie auch im Laubwald wurden sowohl die Oberflächenschicht bis 2 cm Tiefe, wie auch die tiefere Bodenschicht unter 2 cm untersucht, wobei die Bodenproben alljährlich von fast gleicher Stelle entnommen wurden. In der Oberflächenschicht beider Standorte hatten die spezifischen Aktivitäten ^{137}Cs im Laufe der Jahre eine sinkende Tendenz im Nadelwaldbestand von 3,2 kBq (1987) auf 1,25 kBq (1990), im Laubwald von 1,0 kBq (1987) auf 0,35 kBq (1990), während sie in der tieferen Schicht einen langsamen Anstieg zeigten im Nadelwald von 2,25 kBq (1987) auf 5,70 kBq (1990), im Laubwald von 0,10 kBq (1987) auf 0,80 kBq (1990).

Insgesamt lässt sich aus den Messungen der Pilz- und Bodenproben schliessen, dass der radioaktive Fallout auf dem Standort II (vorwiegend Eichenbestand), obwohl er vom Standort I (vorwiegend Fichtenbestand) nur 9 km entfernt ist, im Jahre 1986 wesentlich geringer war.

Die Senkung der Radiocaesium-Kontamination der Hutpilze wird wesentlich von Prozessen beeinflusst, die mit seiner Migration in gegebener Umwelt zusammenhängen, was in konkreten Fällen durch die biogeochemische Situation gegeben ist und von hydrometeorologischen Bedingungen im untersuchten Zeitabschnitt beeinflusst wird. Das Radiocaesium dringt allmählich in tiefere Bodenschichten und gelangt somit in ein Milieu, das dem Myzel weniger zugänglich ist. In geringerem Masse beteiligt sich am Sinken der Pilzkontamination der radioaktive Zerfall des ^{137}Cs (Halbwertszeit 30 Jahre).

Tab. 1

Spezifische Aktivitäten von ^{137}Cs und ^{134}Cs (kBq pro kg Trockengewicht) in Pilzfruchtkörpern der Jahre 1986 - 1990 von zwei Standorten

Pilzart	1986	1987	1988	1989	1990
Standort I					
<i>Lactarius rufus</i>	15,96 8,21	33,57 17,68		22,27 11,99	9,16 4,53
<i>Tylophilus felleus</i>	8,35 4,07	28,79 13,73		32,86 17,34	
<i>Xerocomus chrysenteron</i>	8,99 5,02				
<i>Boletus badius</i>		42,28 22,94	19,65 10,22		
<i>Strobilomyces floccopus</i>		11,64 5,56			
<i>Armillaria mellea</i>				1,10 0,49	
<i>Collybia maculata</i>				5,47 2,97	
<i>Hypholoma fasciculare</i>				6,19 2,98	
<i>Lactarius turpis</i>				22,80 11,66	
<i>Paxillus involutus</i>				32,30 17,72	9,49 4,88
<i>Tricholomopsis rutilans</i>				15,20 8,15	
<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i>					6,21 2,85
Standort II					
<i>Lactarius rufus</i>	0,55 0,28	13,76 7,01			
<i>Hypholoma sublateritium</i>		0,90 0,47	1,02 0,56		
<i>Collybia maculata</i>				1,84 0,76	
<i>Hypholoma fasciculare</i>				3,13 1,19	
<i>Paxillus involutus</i>				1,47 0,61	6,18 3,22
<i>Tylophilus felleus</i>				6,34 3,10	
<i>Russula cyanoxantha</i>					0,12 n.d.

Tab. II

Spezifische Aktivitäten von ^{137}Cs und ^{134}Cs (kBq pro kg Trockengewicht) in verschiedenen Fruchtkörperteilen

Pilzart	Sammeljahr	Fruchtkörperteil	^{137}Cs	^{134}Cs
<i>Lactarius rufus</i>	1986	Pilzhüte	21,87	11,20
	"	Pilzstiele	10,05	5,23
<i>Lactarius rufus</i>	1987	Pilzhüte	44,34	23,59
	"	Pilzstiele	23,17	12,46
<i>Tylopilus felleus</i>	1987	Pilzhüte	49,05	20,10
	"	Pilzstiele	24,00	11,30
<i>Armillaria mellea</i>	1988	Pilzhüte	1,37	0,67
	"	Pilzstiele	0,73	0,34

Tab. III

Spezifische Aktivitäten von ^{137}Cs und ^{134}Cs (kBq pro kg Trockengewicht) in Fruchtkörpern derselben Arten von zwei Standorten

Pilzart	Sammeljahr	Standort I		Standort II	
		^{137}Cs	^{134}Cs	^{137}Cs	^{134}Cs
<i>Lactarius rufus</i>	1986	15,96	8,21	0,55	0,28
<i>Lactarius rufus</i>	1987	33,57	17,68	13,76	7,10
<i>Collybia maculata</i>	1989	5,47	2,97	1,84	0,76
<i>Hypholoma fasciculare</i>	1989	6,19	2,98	3,13	1,19
<i>Tylopilus felleus</i>	1989	32,86	17,34	6,34	3,10
<i>Paxillus involutus</i>	1989	32,30	17,72	1,47	0,61
<i>Paxillus involutus</i>	1990	9,49	4,88	6,18	3,22

Tab. IV

Spezifische Aktivitäten von ^{137}Cs (kBq pro kg Trockengewicht) in Bodensubstraten der Jahre 1986 - 1990 von zwei Standorten

Standort	Schicht	1986	1987	1988	1989	1990
I Nadelwald (vorwiegend Fichte) Hang zum Südosten	Oberfläche bis 2 cm	6,1	3,2	3,0	3,35	1,25
	unter 2 ''	-	2,25	-	2,80	5,70
II Laubwald (junge Eichen) Hang zum Norden	Oberfläche bis 2 cm	3,1	1,00	0,85	-	0,35
	unter 2 ''	-	0,10	0,25	0,50	0,80

Literatur

- BÖTTICHER W. (1974): Technologie der Pilzverwertung. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- ELSTNER E. F., FINK R., HÖLL W., LENGFELDER E. und ZIEGLER H. (1989): Radioactivity in mushrooms, mosses and soil samples of defined biotops in SW Bavaria two years after "Chernobyl". - *Oecologia* 80:173-177.
- GRÜTER H. (1964): Eine selektive Anreicherung des Spaltproduktes ^{137}Cs in Pilzen. - *Naturwiss.* 51:161-162.
- GRÜTER H. (1967): Verhalten einheimischer Pilzarten gegenüber dem Spaltprodukt Caesium 137. - *Z. Lebensmittel-Unters.u. - Forschung* 134:173-179.
- GRÜTER H. (1971): Radioactive fission product Cs-137 in mushrooms in West Germany during 1963-1970. - *Health Phys.* 20:655-656.
- KLÁN J., ŘANDA Z., BENADA J. und HORYNA J. (1988): Investigation of non-radioactive Rb, Cs and radiocaesium in higher fungi. - *Čes. Mykol.* 42:158-169.
- LORENZ A. (1983): Nuclear decay data for radionuclides used as calibration standards. - International Nuclear Data Committee (NDS) - 145/GEI, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- MASCANZONI D. (1987): Chernobyl's challenge to the environment: a report from Sweden. - *Sci. Total. Environ.* 67:133-148.
- MOLZAHN D., REINEN D., BEHR H., KOCKSHOLT P. und PATZELT P. (1989): Die Belastung von Pilzen mit radioaktivem Caesium. - *Zeitschrift für Mykologie* 55: 135-148.
- ROHLEDER K. (1967): Zur radioaktiven Kontamination in Speisepilzen. - *Dt. Lebensmittel-Rdsch.* 63:135.
- RÜCKERT G. und DIEHL J. F. (1987): Anreicherung von Cäsium-137 und Cäsium-134 in 34 Pilzarten nach dem Reaktorunglück in Tschernobyl. - *Z. Lebensmittel-Unters.u. - Forschung* 185:91-97.
- RÜCKERT G. (1988): Zur Entwicklung der Radiocaesium-Anreicherung in Wildpilzen im 2. Jahr nach Tschernobyl. - XXIII. Vortragstagung der Deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) „2 Jahre nach Tschernobyl-Auswirkungen und Folgen für die Qualität pflanzlicher Nahrungs- und Futtermittel.“ März 1988, Karlsruhe: 91-101.
- ŘANDA Z., BENADA J., SINGERT M. und HORYNA J. (1988): Jsou houby radioaktivní? - *Čas. čsl. houbařů* 45 (1): 6-9, 45 (2) 36-40.
- ŘANDA Z., BENADA J., HORYNA J. und SINGERT J. (1989): Radioaktivita hub v ČSR v roce 1988. - *Čas. čsl. houbařů* 46 (4): 119-123.
- TEHERANI D. K. (1987): Accumulation of ^{103}Ru , ^{137}Cs and ^{134}Cs in fruitbodies of various mushrooms from Austria after the Chernobyl incident. - *J. Radioanal. Nucl. Chem. Letters* 117:69-74.
- VOBECKÝ M. und TĚTHAL T. (1991): Kontaminace hub ^{137}Cs v letech 1986-1990. Zpráva Ústavu nukleární biologie a radiochemie ČSAV, Praha:1-7.

Anschrift der Autoren:

1. RNDr. Marta Semerďžieva, CSc. und RNDr. Jana Tamchynová, Mikrobiologisches Institut der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Videňská 1083, 142 20 Praha 4-Krč, ČSFR
2. Ing. Miloslav Vobecký, CSc. und Ing. Tomáš Těthal, Institut für nuklear Biologie und Radiochemie der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Videňská 1083, 142 20 Praha 4-Krč, ČSFR