

Metales pesados en hongos de areas contaminadas

Heavy metals in wild mushrooms from contaminated areas

A. Moyano¹, A. García Sánchez²,
L.M. Fernández Toirán¹ & E. Charro³

RESUMEN

Los hongos, saprobios y micorrícicos, desempeñan un papel importante en los ecosistemas forestales, en especial en los ciclos biogeoquímicos. Los saprobios actúan en los procesos de degradación y mineralización de la materia orgánica, mientras que los micorrícicos son esenciales en la adquisición y translocación de los nutrientes a las plantas huéspedes. En lugares contaminados por metales pesados la simbiosis micorrícica confiere resistencia a la plantas; en algunos casos se ha demostrado que plantas infectadas pueden sobrevivir más fácilmente a la contaminación que las no micorrizadas. El micelio secuestra la fracción asimilable de los metales pesados disminuyendo la translocación a las plantas. Los cuerpos fructíferos de los hongos son consumidos por una gran cantidad de animales y también por el hombre. Algunas setas silvestres tienen un alto valor nutricional y son un recurso natural con un valor económico importante. Sin embargo, la acumulación de metales pesados por los hongos puede representar un riesgo para la salud tanto para humanos como para otros seres vivos.

Suelos, hongos y hojarasca fueron muestreados en una zona contaminada con metales pesados en las proximidades de una mina de Pb-Zn (Cd), actualmente abandonada (Loma Charra, Soria). Los contenidos de metales en suelos, hojarasca y hongos indican un elevado grado de contaminación en relación a áreas cercanas, utilizadas como control, no afectadas por actividad minera. En el suelo los contenidos de Zn: 797-3540 mg/kg, Cd: 2,1-10 mg/kg y Pb: 1485-8166 mg/kg, en hojarasca (Zn: 92-1475 mg/kg; Cd 0,9-4,2 mg/kg; Pb: 54-2756 mg/kg) y en setas (Zn 118-915 mg/kg; Cd: 1,2-45,2 mg/kg y Pb 12-1475 mg/kg). Los factores de bioacumulación indican alto riesgo medioambiental.

Palabras-clave : Cd, Zn, Pb, suelo, hojarasca.

ABSTRACT

Saprotroph and mycorrhizal fungi play an important role in forest ecosystem, particularly in the biogeochemical cycles. Sapro-

¹ Dpto. Producción Vegetal. E.U. Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Campus Universitario Duques de Soria. 42004 Soria. gardini@pvs.uva.es; ² Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca, IRNASA-CSIC. Cordel de Merina 40. 37071 Salamanca; ³ Dpto. Ciencias Agroforestales. ETSIIAA. Universidad de Valladolid. Avenida de Madrid 44.34004 Palencia.

troph fungi are crucial for degradation of the organic matter. Mycorrhizal improve their hosts mineral nutrition. The mycorrhizal associations give resistance in contaminated areas to the plants. Sometimes inoculated plants hold up better the contamination than non-inoculated plants. The mycelia absorb (extracts) the soil available fraction and decrease the heavy metal concentration in the plants. The fruit-bodies can be eaten by many animal species as well as by humans. Some species of wild fungi have a high nutritional value and represent an important economic resource.

Soil, mushrooms and litter were sampled in a lead (Pb)-zinc (Zn) mine (Soria province, Spain). The distribution of metals in soil, litter and fungi shows a high concentration of metals in relation to the control areas. The Zn soil contents range are 797-3540 mg/kg, Cd: 2.1-10 mg/kg and Pb: 1485-8166 mg/kg. Litter content ranges: (Zn: 92-1475 mg/kg; Cd 0.9-4.2 mg/kg; Pb: 54-2756 mg/kg) and fruit-bodies ranges: (Zn 118-915 mg/kg; Cd: 1.2-45.2 mg/kg and Pb 12-1475 mg/kg). The bioaccumulation factors show high environmental and toxicological risks.

Key-Words: Cd, Zn, Pb, soil, litter, fungi.

INTRODUCCIÓN

Las actividades mineras de metales generan grandes cantidades de desechos de mineral que contienen altas concentraciones de metales que siguen siendo una fuente de contaminación mucho tiempo después de haber cesado las actividades de extracción (García-Sánchez *et al.*, 1999).

Metales como el Cd, Pb, Zn pueden existir en suelos y sedimentos en varias fracciones o especies químicas: adsorbido e inter-

cambiable, asociado a carbonato, adsorbido a óxidos, en la materia orgánica (Salomon & Forstner, 1980). De estas formas químicas una porción es soluble, con mayor movilidad y biodisponibilidad (Harrison, 1981; Xian, 1989).

Los hongos desempeñan un papel relevante en el ciclo de los bioelementos, en especial en sistemas forestales. Los hongos saprobios juegan un papel fundamental en los procesos de degradación de la materia orgánica y los hongos micorrízicos son importantes para la posterior adquisición y translocación de nutrientes a la planta anfitriona (Smith & Read, 1997). Asimismo, el hongo micorrízico confiere resistencia contra los hongos patógenos, especialmente a nivel de raíz (Duchesne *et al.* 1989). Tienen una influencia positiva en la estructura del suelo mediante la creación de microagregación de las partículas del suelo mejorando así la aireación del suelo y la porosidad (Tisdall & Oades, 1979). El micelio de los hongos tiene la capacidad de secuestrar metales pesados bioasimilables y prevenir la translocación a los vegetales, disminuyendo la disponibilidad del mismo en el suelo (Denny & Wilkins, 1987; González-Chávez *et al.*, 2004).

Muchos de los órganos fructíferos de los hongos (setas) se consumen por animales del bosque y también por la población. Setas comestibles silvestres son un recurso natural con un alto valor nutricional y económico (De Román & De Miguel, 2005). Alrededor de 1200 especies de hongos se utilizan en ochenta y cinco países diferentes por su valor gastronómico (De Roman & Boa, 2006) o sus propiedades medicinales (Jong & Birmingham, 1990), algunos de ellos son considerados como un manjar popular en muchos países.

Si bien el mecanismo por el cual algunos metales pesados se acumulan en las setas es algo incierto, parece estar asociada con una reacción de quelación con grupos tio (-SH)

de proteínas y, especialmente, con la metionina (Stijve & Besson, 1976). Las setas se pueden utilizar para evaluar el nivel de contaminación ambiental (Sesli & Tuzen, 1999). Por otra parte, se han llevado a cabo muchos estudios para evaluar el posible peligro para la salud humana de la ingestión de hongos que contienen metales pesados (Ouzouni, 2007; Borovička & Řanda, 2007). Esfuerzos considerables se han centrado en evaluar los riesgos para la salud humana que tiene el consumo de hongos con respecto a su contenido en metales pesados (Gast *et al.*, 1998).

El objetivo de este estudio preliminar es conocer la concentración de Cd, Pb y Zn presente en muestras de hojarasca, suelos y cuerpo fructífero de setas que crecen en un área contaminada en la proximidad de una mina abandonada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en las inmediaciones de la mina Pb-Zn Loma Charra (Soria, España), que fue una mina importante hasta hace poco tiempo. La vegetación pertenece a la Serie supramesomediterránea castellano- maestrazgo manchega basófila de *Quercus rotundifolia* o encina (*Juniperus thurifera* – *Querceto rotundifoliae sigmentum* (Rivas-Martínez *et al.*, 1987). El área de control (Olvega) sobre materiales geológicos semejantes (calizas), no está afectada por procesos mineros, se encuentra a una distancia de 6.5 km.

Preparación de la muestra

Muestras de hongos silvestres comestibles y no comestibles correspondientes a 17 géneros diferentes (Tabla 1), fueron recolec-

tadas en los otoños de 2006 y 2007 y en las primaveras de 2007 y 2008.

La composición de las especies de hongo depende de la etapa de desarrollo, la textura del suelo y otras condiciones ambientales. Se recolectan de 50 a 100 g de cada una de las especies de hongos, y se trasladan al laboratorio en las 4 h siguientes a la recogida. Las muestras de hongos, sin lavar pero limpias de desechos forestales y suelo, se secan en estufa a 60 °C hasta obtener un peso constante. Posteriormente se molieron en mortero de ágata.

Las muestras de hojarasca y de suelo (tomadas de los primeros 10 cm de suelo proceden de cuatro submuestreos en un área imaginaria de 30 cm alrededor del lugar donde se tomó la seta. Estas se homogenizan, y se secan hasta peso constante en un horno con circulación de aire a 50 °C. Las muestras de hojarasca se muelen a 1 mm en mortero de ágata y las de suelo se tamizan a 2 mm.

Análisis de metales pesados

Las muestras de suelos, hojarasca y setas fueron tratadas mediante el método de digestión, (Jiménez *et al.*, 1996) con agua regia HF para las muestras de suelo, y con HNO₃ para las de hojarasca y seta y mediante el uso del microondas (CEM, modelo MDS-2000). Posteriormente, en los extractos del suelo, hojarasca y setas fue determinado por espectroscopía de absorción (Varian AA-1475 con el GTA-95 horno de grafito) el contenido en metales, Cd, Zn y Pb. La precisión del análisis se verificó con materiales de referencia certificados BCR nn. 141 y FD8 (hojas de maíz) y se expresó con un coeficiente de variación de menos del 10%. La precisión analítica, expresada como la desviación estándar relativa, de RSD, se determinó en 10 réplicas de una muestra representativa de suelo y de seta. El RSD osciló entre el 3 y el 6%.

Tabla 1. Localización y clasificación de las setas

Localización	Especie	GT*	Comestible	
Muro de Agreda	<i>Clitocybe sp</i>	SL	No	1.
	<i>Hebeloma sinapizans</i>	M	No	2.
	<i>Lactarius sp.</i>	M	No	3.
	<i>Boletus satanas</i>	M	No	4.
	<i>Tricholoma orirubens</i>	SH	Si	5.
	<i>Lycoperdon molle</i>	SL	No	6.
	<i>Collybia dryophila</i>	M	No	7.
	<i>Lactarius ilicis</i>	M	No	8.
	<i>Collybia dryophila</i>	SL	No	9.
	<i>Lycoperdon molle</i>	SH	Si	10.
	<i>Collybia sp</i>	SL	No	11.
	<i>Inocybe flocculosa</i>	M	No	12.
	<i>Melanoleuca sp</i>	SH	No	13.
	<i>Collybia sp.</i>	SL	No	14.
	<i>Inocybe flocculosa</i>	M	No	15.
	<i>Sarcosphaera coronaria</i>	SL	Si	16.
	<i>Clitocybe</i>	SH	Si	17.
	<i>Marasmius sp</i>	SL	No	18.
	<i>Mycena sp</i>	SL	No	19.
Zona Control (Olvega)	<i>Suillus granulatus</i>	M	Si	20.
	<i>Clitocybe nebularis</i>	SL	Si	21.
	<i>Macrolepiota procera</i>	SH	Si	22.
	<i>Geastrumfimbriatum</i>	SH	No	23.
	<i>Lycoperdon perlatum</i>	SH	Si	24.
	<i>Collybia dryophila</i>	SL	No	25.
	<i>Lactarius deliciosus</i>	M	Si	26.
	<i>Tricholoma terreum</i>	M	Si	27.
	<i>Hebeloma crustuliniforme</i>	M	No	28.
	<i>Hebeloma sinapizans</i>	M	No	29.

*Grupo trófico (GT.): SH: humicolous saprotrophs SL: Ground litter saprotrophs; M: mycorrhizal fungi.

RESULTADOS Y DISCUSION

En los suelos del entorno de la mina, los contenidos de Zn fueron entre 797 y 3540 mg/kg, de Cd entre 2,1 y 10 mg/kg y de Pb entre 1485 y 8166 mg/kg. Todos los datos se han visto que eran significativamente mayores que los contenidos en los metales en el suelo control, donde el Zn variaba entre 17 y 107 mg/kg, el Cd entre 0,7 y 2,1 y el Pb entre 5 y 20 mg/kg. Los contenidos totales de metales pesados en suelo pueden expresar el grado de contaminación del mismo; sin embargo, no siempre este contenido está bien correlacionado con el contenido bioasimilable (Kuo *et al.*, 1983).

En la hojarasca tomada en la zona conta-

minada, los contenidos encontrados varían para el Zn entre 92 y 1475 mg/kg, para el Cd entre 0,9 y 4,2 mg/kg, y para el Pb entre 54 y 2756. También en el caso de las muestras de hojarasca, éstos contenidos son superiores a los encontrados en la muestra de hojarasca de la zona control.

En las setas, los contenidos de Zn oscilan en el rango 118-775 mg/kg, para el Cd el rango es 118-915 mg/kg y de Pb es 12-1475 mg/kg. Con estos resultados se realiza un análisis estadístico que se muestra de forma gráfica en las Figuras 1 a 6. En las Figuras 1 a 3, se muestra el estudio estadístico para los análisis de los distintos tipos de setas, y se observa que no se encuentran diferencias significativas en las concentraciones de Zn,

Cd y Pb presentes en el cuerpo fructífero entre los hongos saprobios y los micorrícicos. No existe por lo tanto, una especie más acumulativa que la otra.

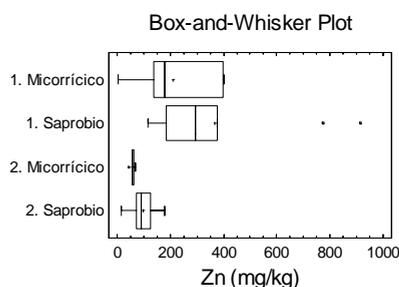


Figura 1. Zn en hongos micorrícicos y saprobios en suelo contaminado (1) y no contaminado (2).

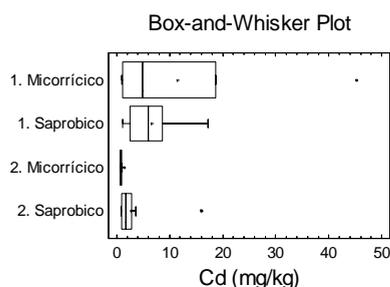


Figura 2. Cd en hongos micorrícicos y saprobios en suelo contaminado (1) y no contaminado (2).

En los gráficos estadísticos (Fig. 4, 5, 6) se comparan los contenidos en suelos, setas y hojarasca de los metales estudiados. Parece existir una relación entre el contenido de Zn en la seta y el contenido de Zn total del suelo, ($R^2= 0,71$; $P<0,05$). Las concentraciones de Zn, Cd y Pb en hojarasca y en seta (Fig. 4, 5, 6) guardan relación, aunque se evidencia la necesidad de conocer la fracción asimilable en suelo para poder establecer relaciones más precisas.

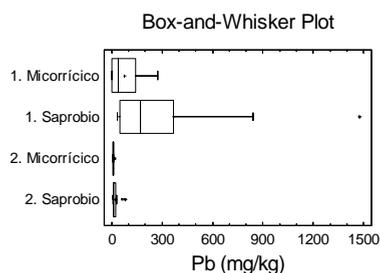


Figura 3. Pb en hongos micorrícicos y saprobios en suelo contaminado (1) y no contaminado (2).

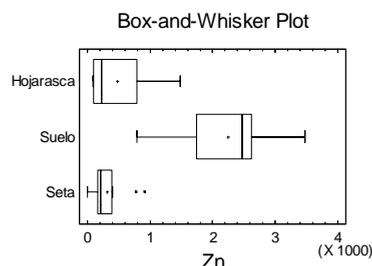


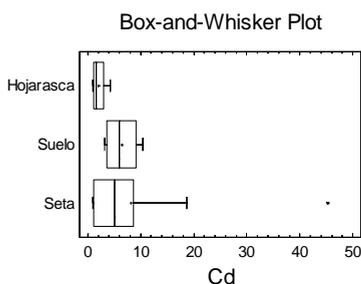
Figura 4. Comparación entre los contenidos de Zn (mg/kg) en seta, hojarasca y suelo.

Las concentraciones de metales pesados en las setas son considerablemente más altas que los contenidos en muestra de hojas de *Poa pratensis* encontrados en la zona (García Sánchez, *et al.*, 1999). Esto sugiere que las setas, en comparación con las plantas verdes que crecen en condiciones similares, poseen mecanismos muy eficaces que permite fácilmente que los metales pesados se concentren en sus tejidos (Svoboda *et al.*, 2000; Sesli *et al.*, 2008). Existen numerosos trabajos desde los años 70 que recogen los contenidos encontrados de elementos traza en hongos que crecen de forma silvestre. Toda esta información está disponible en una recopilación (Kalač & Svoboda, 2000) y en otros trabajos publicados en estos dos últimos años (Borovic̃ka & Randa, 2007, Svoboda & Chrastny, 2008). Como referencia se

Tabla 2. Relaciones entre las concentraciones medias de Zn, Cd y Pb de suelo, hojarasca y setas

Relaciones Muestras	Hojarasca / suelo			Seta /suelo			Seta / hojarasca		
	Zn	Cd	Pb	Zn	Cd	Pb	Zn	Cd	Pb
1.	0,42	0,41	0,98	0,03	2,02	0,02	0,08	4,91	0,42
2.	0,09	0,23	0,06	0,06	3,60	0,00	0,69	7,58	0,09
3.	0,05	0,43	0,01	0,24	3,29	0,01	4,36	7,67	0,05
4.	0,27	0,51	0,04	0,16	0,34	0,00	0,60	0,67	0,27
5.	0,11	0,14	0,01	0,43	0,80	0,01	3,79	5,83	0,11
6.	0,10	0,32	0,01	0,81	2,26	0,14	7,83	7,17	0,10
7.	0,07	0,32	0,01	0,15	0,55	0,01	2,05	1,75	0,07
8.	0,06	0,16	0,01	0,19	0,13	0,01	3,03	0,83	0,06
9.	0,24	0,34	0,21	0,12	0,79	0,06	0,48	2,31	0,24
10.	0,12	0,20	0,13	0,26	1,32	0,21	2,23	6,53	0,12
11.	0,69	1,00	0,15	0,15	0,68	0,05	0,22	0,68	0,69
12.	0,07	0,33	0,07	0,15	1,00	0,05	2,01	3,01	0,07
13.	0,21	0,31	0,18	0,23	0,31	0,10	1,09	1,00	0,21
14.	0,52	0,40	0,34	0,06	0,51	0,00	0,11	1,25	0,52
15.	0,25	0,41	0,07	2,38	0,48	0,36	0,34	1,17	0,25
16.	0,41	0,81	0,70	1,16	0,38	0,29	0,28	0,46	0,41
17.	0,45	0,69	0,55	0,69	0,69	0,04	0,33	1,00	0,45

puede citar los contenidos en los elementos pesados que se presentan en este trabajo en especies micológicas que han sido recogidas en zonas no contaminadas. De este modo, en el reciente trabajo de Kalač (2009) se indican como contenidos habituales los siguientes: para el Cd, entre 0,5-5 mg/kg de materia seca, Pb: 1 a 5 y Zn entre 30 y 150 mg/kg.

**Figura 5.** Comparación entre los contenidos de Pb (mg/kg) en seta, hojarasca y suelo.

Se sabe que los hongos son acumuladores de Zn; oscilando el factor de biotransferencia en relación con el suelo desde 1 a 10 mg/kg (Isiloglu *et al.*, 2001). En un trabajo reciente, Gencelep *et al.* (2009) publican un análisis de 30 especies de hongos recolectadas en suelos de Turquía, donde se encuentran valores de Zinc, entre 26,7 mg/kg materia seca, y 185 mg /kg. Las concentraciones de Zn en hongos encontradas en la literatura varían entre 33,5 y 89,5 mg/kg (Soylak *et al.*, 2005), entre 29,3 y 158 mg/kg (Isiloglu *et al.*, 2001) y 45-188 mg/kg (Tuzen 2003). También, un extenso estudio sobre diversos contenidos en minerales es el publicado por Chudzynski & Falandysz (2008) que aportan valores, contenidos en diversas partes del hongo, que pueden ser comparados los resultados de este trabajo, de este modo: Zn hasta 350µg/g de materia seca, Pb hasta $1,0 \pm 0,7$ µg/g, y Cd hasta 5,9 µg/g.

Con la finalidad de ilustrar la transferencia de los contaminantes en las distintas

especies de hongos, se muestran los cocientes entre la concentración de la hojarasca y el suelo, de la seta y el suelo, y la de la seta relativa a la hojarasca para los elementos analizados (Tabla 2). Los valores mayores de 1 ilustran que hay una acumulación en la seta (ratio seta/ suelo), de modo que cuanto más grande es el valor, mayor acumulación se ha producido. Así, los valores más altos se observan para el Cd.

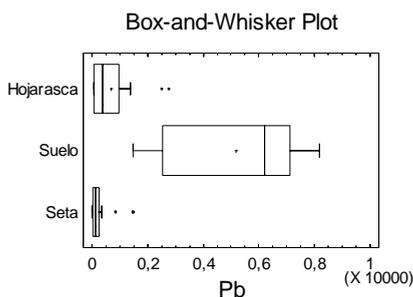


Figura 6. Comparación entre los contenidos de Cd (mg/kg) en seta, hojarasca y suelo.

CONCLUSIONES

La contaminación de los hongos en las cercanías de una mina abandonada de Zn-Pb, supone un riesgo medioambiental importante. El contenido máximo en seta de Zn es 1475 mg/kg, en Cd es de 45 mg/kg y en Pb es de 1475 mg/kg. Los altos contenidos superan los límites reglamentarios. El metal acumulado con preferencia es el Cd. Los factores de bioacumulación para el género *Lycoperdon* son particularmente altos

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación recibida por la Junta de Castilla y León (Proyectos VA094A06 y

VA014A07) y al Ministerio de Educación y Ciencia (Proyecto CTM2006-02249/TECNO).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borovička, J. & Řanda, Z. 2007. Distribution of iron, cobalt, zinc and selenium in macrofungi, *Mycol. Prog.* 6: 249–259.
- Chudzynski, K. & Falandysz, J. 2008. Multivariate analysis of elements content of Larch Bolete (*Suillus grevillei*) mushroom. *Chemosphere*, 73: 1230-1239.
- Chudzynski, K. & Falandysz, J. 2008. Multivariate analysis of elements content of larch Bolete (*Suillus grevillei*) mushroom. *Chemosphere*, 73: 1230-1239.
- De Roman, M & Boa, E. 2006. The marketing of *Lactarius deliciosus* in northern Spain. *Economic Botany*, 60: 284-290.
- De Román, M. & De Miguel, A.M. 2005. Post-fire, seasonal and annual dynamics of the ectomycorrhizal community in a *Quercus ilex* L. forest over a 3-year period. *Mycorrhiza*, 15: 471-482.
- Denny, H. & Wilkins, D. 1987. Zinc tolerance in *Betula* spp. II. Microanalytical studies of zinc uptake into root tissues. *New Phytol.*, 106: 525-534.
- Duchesne, C.L., Peterson, R.L. & Ellis, B.E. 1987. The future ectomycorrhizal fungi as biological control agents. *Phytoprotec*, 70:51-58.
- García-Sánchez, A., Moyano A. & Muñoz, C. 1999. Forms of cadmium, lead, and zinc in polluted mining soils and uptake by plants (Soria province, Spain). *Commun. Soil Sci. Plant Analysis*, 30: 385-1402.
- Gast, C.H., Jansen, E., Bierling, J. & Haanstra, L. 1998. Heavy metals in mushrooms and their relationship with soil characteristics. *Chemosphere*, 17:

- 789–799.
- Gencelep H., Uzun Y., Tunçturk, Y. & Demirel K. 2009. Determination of mineral contents of wild-grown edible mushrooms. *Food Chemistry*, 113: 1033-1036
- González-Chávez, M.C., Carrillo-González, R., Wright S.F. & Nichols, K.A. 2004. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. *Environmental Pollution*, 130: 317-323.
- Harrison, R. M. 1981. Chemical association of Pb, Cd, Cu and Zn in street dusts and roadside soils. *Environmental Science and Technology*, 15: 1378-1383.
- IGME. 1975. Investigación de Plomo-Cinc en la reserva de la Loma Charra (Soria). Instituto Geológico y Minero de España. Servicio de Publicaciones, Madrid, Spain
- Isiloglu M., Yilmaz, F. & Merdivan M. 2001. Concentrations of Trace elements in wild edible mushrooms. *Food Chemistry*, 73: 163-175.
- Jiménez, O., Rodríguez, N. & García-Sánchez, A. 1996. Determination of total arsenic and selenium in soils and plants by Atomic Absorption Spectrometry with hydride generation and flow injection analysis coupled techniques. *J. AOAC Int.*, 79:764-768.
- Jong, S.C. & Birmingham, J.M. 1990. The medicinal value of the mushroom *Gri-fola*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 8: 227-235.
- Kalač, P. 2009. Chemical Composition and nutritional value of European species of Wild growing mushrooms: A review. *Food Chemistry*, 113: 9-16.
- Kalač P & Svoboda, L. 2000. A review of trace element concentrations in edible mushrooms, *Food Chemistry*, 69: 273–281.
- Kuo, S., Heilman, P.E. & Baker, S. 1983. Distribution and forms of copper, zinc, cadmium, iron and manganese in soils near a copper smelter. *Soil Science*, 135:101-109.
- Ouzouni, P.K., Veltsistas, P.G., Paleologos E.K. & Riganakos, K.A. 2007. Determination of metal content in wild edible mushroom species from regions of Greece. *Journal Food Composition Analytical*, 20: 480–486.
- Rivas-Martínez, S., Bandullo J.M., Allué J.L., Montero J.L. & González J.L. 1987. Series de vegetacion de España. Publicaciones Agrarias. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España. 268 pp.
- Salomon, W & Fostner, U. 1980. Trace metal analysis on polluted sediments. Part 2. Evaluation of environmental impact. *Environ. Technol. Kett.*, 1:506-517.
- Sesli, E., Tuzen, M. & Soylak, M. 2008. Evaluation of trace metal contents of some wild edible mushrooms from Black Sea Region, Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 160: 462-467.
- Sesli, E. & Tuzen, M. 1999. Levels of trace elements in the fruiting bodies of macrofungi growing in the East Black sea region of Turkey. *Food Chemistry*, 65: 453–460.
- Smith, E. E. & Read, D.J. 1997. *Micorrhizal symbiosis*. 2da ed. Academia Press. London.
- Soylak, M., Saracoglu, S., Tuzen, M. & Mendil, D. 2005. Determination of trace metals in mushroom samples from Kayseri, Turkey. *Food Chemistry* 92: 649-652.
- Stijve, T. & Besson, R. 1976. Mercury, cadmium, lead and selenium content of mushroom species belonging to the genus *Agaricus*. *Chemosphere*, 5:151-158.
- Svoboda, L. & Chrastny, V. 2008. Levels of eight trace elements in edible mushrooms from a rural area. *Food Additives*

- and Contaminants 25: 51-58.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of raygrass. Australian Journal of Soil Research, 17: 429-441.
- Tuzen, M. 2003. Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by atomic absorption spectrometry. Microchemical Journal, 74: 289-297.
- Xian, X. 1989. Effect chemical forms of cadmium, zinc and lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. Plant and Soil, 113: 257-264.