

李浪,孙燕,刘妮.红托竹荪与覆土土壤矿质元素相关性分析[J].江苏农业科学,2019,47(5):99-102.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.05.024

# 红托竹荪与覆土土壤矿质元素相关性分析

李浪,孙燕,刘妮

(贵州省山地资源研究所,贵州贵阳 550001)

**摘要:**通过对食用茵红托竹荪菌柄和菌裙以及红托竹荪种植土壤的矿质元素铜(Cu)、硒(Se)、锌(Zn)、钙(Ca)、钾(K)、镁(Mg)、锰(Mn)、钠(Na)测定,探讨红托竹荪中营养元素含量和土壤矿质元素之间的关系,并对不同元素进行相关性分析。结果表明,红托竹荪中矿质元素含量由高到低依次为  $K > Mg > Ca > Na > Mn > Zn > Cu > Se$ ,土壤中矿质元素含量高低顺序为  $Mg > K > Ca > Mn > Na > Cu > Zn > Se$ 。红托竹荪对不同矿质元素的富集能力有明显差异,除硒和钾强烈富集之外,其他的 6 种元素都相对贫化。并对红托竹荪中矿质元素及与土壤中矿质元素进行 Pearson 相关性统计,结果红托竹荪与土壤中矿质元素之间的相关性不明显,红托竹荪各矿质元素之间只有 Cu 与 Ca、Mg、Na 在 0.05 水平(双侧)上呈显著负相关,其他元素均无显著负相关关系,表明红托竹荪中 Cu 能抑制其对其他矿质元素的吸收。

**关键词:**红托竹荪;覆土土壤;矿质元素;相关性分析;富集能力

**中图分类号:** S646.801 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)05-0099-04

红托竹荪隶属菌物界真菌门担子菌亚门层菌纲腹菌亚纲鬼笔目鬼笔科竹荪属,该品种是由臧穆等 3 人联合命名并于 1976 年发表的新种<sup>[1]</sup>,是广受人们喜爱的食材,因形态优美、味道清香、营养丰富而被称为“菌中皇后”,是目前已知竹荪品种中品质最好的一个。我国栽培驯化竹荪是从 20 世纪 80 年代开始的,在栽培过程中,由于栽培环境和人工选择等原因,逐渐形成了具有地方特色的品种。其中织金竹荪于 2010 年成功申报为国家地理标志产品,目前贵州省已成为国内红托竹荪栽培主产地。栽培竹荪必须覆土,否则难以形成子实体。土壤条件成为影响竹荪生长和品质的主要环境因子。土壤中矿质元素被竹荪吸收同化后参与生理代谢活动,影响竹荪生长<sup>[2]</sup>,从而对竹荪品质产生一定影响。研究表明,土壤中无机元素含量与植物中无机元素具有一定相关性<sup>[3-4]</sup>。曾亚文等研究表明,水稻的蛋白质含量与 P、K、Mg、Cu、Mn 含量呈显著正相关,淀粉含量与 K、Mn 含量呈显著负相关<sup>[5]</sup>。杨

纯等对茶叶中的铜锌比与土壤中的铜锌比进行研究,结果表明,二者铜锌比基本呈正相关关系<sup>[6]</sup>。张红霞等揭示了土壤矿质元素对山药根茎相关品质的影响,为安顺山药规范化种植提供了依据<sup>[7]</sup>。此外,植物各矿质元素之间也存在紧密的相关关系<sup>[8]</sup>。

红托竹荪的菌柄和菌裙是竹荪食用的主要器官,测定覆土土壤与竹荪菌柄、菌裙中矿质元素<sup>[9]</sup>,分析土壤矿质元素与竹荪矿质元素相关性,研究土壤条件对竹荪品质的影响,能够为地理标志产品的追溯提供技术支撑,也是地域或特色食品产业可持续发展的重要保障。对红托竹荪研究目前主要集中在营养成分、活性成分、菌种制备、栽培技术及病虫害防治等方面,对土壤因子与红托竹荪品质相关性研究不多。而红托竹荪与覆土土壤条件及矿质元素含量相关性是影响竹荪生长和产品品质的主导因素。近年来,基于人类健康和疾病防治的需要,对红托竹荪的研究逐渐深入到无机元素。本研究通过对红托竹荪中矿质元素和其覆土土壤矿质元素相关性的探究,旨在充分了解红托竹荪及其覆土土壤无机元素的基础上,通过合理改良土壤,从而提高红托竹荪品质。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

在贵州省织金县纳雍乡(织金竹荪地理标志产品保护地)某食用菌种植基地,采集植株健壮、无病虫害红托竹荪鲜

收稿日期:2018-11-09

基金项目:贵州省科技计划(编号:黔科合支撑[2016]2600、黔科合支撑[2017]2510-1);贵州省基金项目(编号:黔科合基础[2018]1147);贵州省科技计划(编号:黔科合平台人才[2017]5783)。

作者简介:李浪(1992—),男,贵州贵阳人,硕士,研究实习员,主要从事食用菌及中药资源研究。E-mail:1475178890@qq.com。

通信作者:孙燕,硕士,助理研究员,主要从事食用菌及中药资源研究。E-mail:42008514@qq.com。

[32]李佩华,刘小文.重金属铅、镉胁迫对马铃薯生长及抗氧化酶系统的影响[J].云南农业大学学报(自然科学版),2014,29(5):746-751.

[33]吴桂容,严重玲.镉对桐花树幼苗生长及渗透调节的影响[J].生态环境,2006,15(5):1003-1008.

[34]Bartolf M, Brennan E, Price C A. Partial characterization of a cadmium-binding protein from the roots of cadmium-treated

tomato[J]. Plant Physiology, 1980, 66(3):438-441.

[35]Wang X E, Shi G X, Xu Q S, et al. Exogenous polyamines enhance copper tolerance of *Nymphoides peltatum* [J]. Journal of Plant Physiology, 2007, 164(8):1062-1070.

[36]王玉凤,王庆祥,商丽威.钙对 NaCl 胁迫下玉米幼苗根系活力和有机渗透调节物质含量的影响[J].玉米科学,2008,16(2):66-70.

品,环刀法采样覆土土壤样品。

1.2 仪器设备

电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)、原子吸收分光光度计(带有背景校正器)、火焰光度计、铜空心阴极灯、锌空心阴极灯、乙炔钢瓶、空气压缩机(备有除水、除油和除尘装置)、原子荧光光度计、自动控温消化炉、土壤筛、玛瑙研钵、火焰光度计、分析天平(感量 0.1 mg)、微波消解仪(配有聚四氟乙烯消解内罐)、压力消解罐(配有聚四氟乙烯消解内罐)、恒温干燥箱、控温电热板、超声水浴箱、样品粉碎设备(高速粉碎机)、马弗炉等。

1.3 试验试剂

硝酸、高氯酸、盐酸、硫酸、氢氟酸、硼酸、氧化铜、氯化铯、过氧化氢、氢氧化钾、硼氢化钾(均为分析纯)。金元素溶液(1 000 mg/L)、氩气(≥99.995%)、氦气(≥99.995%)、Cu、Se、Zn、Ca、K、Mg、Mn、Na 多元素标准溶液,购自国家钢铁材料测试中心钢铁研究总院。

1.4 样品处理方法

采集的鲜竹荪分离出菌柄+菌裙,编号 S<sub>1</sub>,于恒温烘箱

60℃烘至恒质量,粉碎后过 50 目筛保存备用。

采集的土壤样品混匀用四分法缩分,缩分后的土样经自然风干后,除去土样中石子和其他异物,用木棒研压、研磨,通过 100 目尼龙筛(除去 2 mm 以上的沙砾),混匀后备用,编号 S<sub>2</sub>。

1.5 矿质元素含量测定

对于红托竹荪菌柄及菌裙矿质元素的测定,将前处理好的 S<sub>1</sub> 样品、待测元素标准溶液及相关试剂准备好,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测试 S<sub>1</sub> 中的铜(Cu)、硒(Se)、锰(Mn)元素含量;采用火焰原子吸收光谱法测试 S<sub>1</sub> 中的锌(Zn)、钙(Ca)、钾(K)、钠(Na)、镁(Mg)含量。

对于红托竹荪覆土土壤中矿质元素的测定,将前处理好的 S<sub>2</sub> 样品、待测元素标准溶液及相关试剂准备好,采用火焰原子吸收分光光度法测试 S<sub>2</sub> 中的铜、锌、锰、钙、镁含量,采用氢化物发生-原子吸收分光光度法测试 S<sub>2</sub> 中的硒含量,采用火焰光度法测试 S<sub>2</sub> 中的钠、钾含量。样品中所有矿质元素的测定方法根据国家颁布的食品和农业相关标准进行,具体方法及标准见表 1。

表 1 不同矿质元素测试标准方法

元素	测定方法	
	竹荪 S <sub>1</sub>	土壤 S <sub>2</sub>
Cu	GB 5009.268—2016	GB/T 17138—1997
Se		NY/T 1104—2006
Zn	GB 5009.14—2017	GB/T 17138—1997
Ca	GB 5009.92—2016	NY/T 296—1995
K	GB 5009.91—2017	GB 9836—1988
Na		NY/T 296—1995
Mg	GB 5009.241—2017	
Mn	GB 5009.268—2016	土壤元素的近代分析方法 1992 年 5.7.1

1.6 数据处理

植物对不同的土壤矿质元素进行选择吸收和富集,选择性吸收的元素种类和富集能力大小因植物种类不同而不同。竹荪菌柄和菌裙对其覆土土壤矿质元素的富集能力用富集系数(PUF)来表征,相应的计算公式如下<sup>[10]</sup>:

$$PUF = \frac{C_p}{C_s} \tag{1}$$

式中:PUF 为富集系数;C<sub>p</sub> 为红托竹荪中矿质元素含量(mg/kg);C<sub>s</sub> 为覆土土壤中矿质元素含量(mg/kg)。

采用 Excel 2007 及 SPSS 20.0 对数据进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 试验测定条件考察

所用测样仪器在选定的参数条件下,通过对元素 Cu、Se、Zn、Ca、K、Mg、Mn、Na 的测定,得出了 8 种矿质元素的测定波长、相关系数、线性范围、检出限、标准偏差 RSD 及加标回收率相关最优参数(表 2),其中相关系数为 0.998 0~1.000 0;检出限为 0.002~1 mg/kg;标准偏差 RSD 为 0.2%~9.1%;加标回收率为 92.70%~108.10%。表明本研究选取试验方法可满足测试要求。

表 2 试验方法考察结果

矿质元素	测定波长(nm)		相关系数(r)		线性范围		检出限		RSD(%)		加标回收率(%)	
	竹荪	土壤	竹荪	土壤	竹荪(μg/L)	土壤(mg/L)	竹荪	土壤(mg/kg)	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	竹荪	土壤
Cu	63.0	324.8	0.998 6	0.999 9	0.5~5.0	0.1~1.6	0.05 mg/kg	1.000	3.8	8.7	97.00	93.10
Se	78.0	196.0	0.998 0	0.999 8	0.5~5.0	1.0~10.0	0.01 mg/kg	0.002	3.7	6.5	102.00	92.70
Zn	213.9	213.9	0.999 9	0.999 6	0.1~1.0	0.05~0.8	1.00 mg/kg	0.500	4.4	2.3		108.10
Ca	422.7	396.85	0.999 2	0.999 9	0.5~4.0	0.1~2.0	0.50 mg/kg		2.7	0.6		
K	766.5		0.999 0	0.999 8	0.1~1.0	2.0~30.0	0.20 mg/100 g		0.2	0.5		
Mg	285.2	279.6	0.999 4	0.999 9	0.5~4.0	0.1~2.0	0.60 mg/kg		1.9	0.7		
Mn	55	279.5	0.999 4	0.999 8	0.5~5.0	0.2~1.0	0.10 mg/kg		7.8	5.6	99.00	
Na	589		1.000 0	0.999 6	0.1~1.0	2.0~40.0	0.80 mg/100 g		2.9	1.9	99.00	

2.2 红托竹荪与土壤矿质元素含量

食品中矿质元素含量的多少作为评价其营养品质的一个重要指标,越来越受到人们的关注<sup>[11-12]</sup>,按相关方法将 S<sub>1</sub> 样品、S<sub>2</sub> 样品各取了 5 份分别对竹荪和土壤矿质元素进行测定和分析,分析结果见表 3。竹荪中矿质元素含量由高到低依次为 K>Mg>Ca>Na>Mn>Zn>Cu>Se,土壤中矿质元素含量高低顺序为 Mg>K>Ca>Mn>Na>Cu>Zn>Se。从结

果来看,红托竹荪中富含宏量元素钾、镁、钙和钠次之,含量最少的为硒元素,而土壤中同样以镁、钾、钙元素为主,含量最少的仍是硒元素。其中红托竹荪中含量最多的钾元素是含量最少的硒元素的 1.36 万倍,说明在竹荪中各种元素含量差异明显。此外,从测试的红托竹荪样品的 8 种矿质元素来看,超过 50% 的元素含量在 100 mg/kg 以上。结果表明,红托竹荪中富含人体所需要的多种矿质元素,具有极高的营养价值。

表 3 红托竹荪与土壤矿质元素含量

编号	样品序号	矿质元素含量(mg/kg)							
		Cu	Se	Zn	Ca	K	Mg	Mn	Na
S <sub>1</sub>	1	49.1	1.9	63.7	320	25 800	821	82	146
	2	49.2	1.86	63.2	319	25 300	819	79	143
	3	48.9	1.88	64.8	326	26 100	823	84	150
	4	49.3	1.93	64.1	317	25 600	816	81	144
	5	49	1.91	63.9	321	25 900	820	84	149
	最小值	48.9	1.86	63.2	317	25 300	816	79	143
	最大值	49.3	1.93	64.8	326	26 100	823	84	150
	平均值	49.1	1.896	63.94	320.6	25 740	820	82	146.4
	标准差	0.158	0.027	0.586	3.362	304.959	2.588	2.121	3.050
S <sub>2</sub>	1	231	0.51	210	3 120	3 530	8 350	1 870	1 420
	2	227	0.43	207	3 020	3 470	8 320	1 820	1 350
	3	219	0.45	198	3 060	3 450	8 280	1 790	1 390
	4	222	0.45	200	3 050	3 470	8 310	1 830	1 380
	5	223	0.46	203	3 060	3 500	8 330	1 820	1 410
	最小值	219	0.43	198	3 020	3 450	8 280	1 790	1 350
	最大值	231	0.51	210	3 120	3 530	8 350	1 870	1 420
	平均值	224.4	0.46	203.6	3 062	3 484	8 318	1 826	1 390
	标准差	4.669	0.03	4.930	36.332	31.305	25.884	28.810	27.386

2.3 红托竹荪对土壤矿质元素富集能力

植物对其生长环境的土壤中矿质元素的吸收受光照、空气温湿度、土壤酸碱度、土壤养分状况以及植物自身的结构等多种因素影响<sup>[7,13]</sup>。通过对红托竹荪及其栽种土壤中矿质元素的分析,根据公式(1)计算出红托竹荪对土壤矿质元素的富集系数,通过富集系数的大小来表征红托竹荪对土壤矿质元素的富集能力。从表 4 可以看出,红托竹荪对不同矿质元素的富集能力有明显差异。除了硒和钾强烈富集之外,其他 6 种元素都相对贫化,其中镁、锰元素更是强烈贫化,其富集系数在 0.1 之下,基本没有富集能力。通过元素含量和富集系数的对比可以发现,硒元素的含量虽然只有 1.896 mg/kg (平均值),但是其富集系数却高达 4.122。钾元素的含量是所测 8 种元素中含量最高的,达到 25 740 mg/kg (平均值),其富集系数也高达 7.388,表明在红托竹荪的生长过程中,对钾元素的需求量极大,在种植时要注意及时补充钾元素。

2.4 红托竹荪与土壤矿质元素的 Pearson 相关性分析

为了研究红托竹荪中各矿质元素之间的相互关系以及红托竹荪与土壤矿质元素之间的相互关系,对红托竹荪中矿质元素以及红托竹荪与土壤中矿质元素进行了 Pearson 相关性统计。

红托竹荪中矿质元素的相关性的 Pearson 值见表 5。从表 5 中可以看出,红托竹荪中矿质元素之间相互影响,有些元素之间存在协同效应,有些元素之间有拮抗作用。Cu 与 Ca、Mg、Na 在 0.05 水平上呈显著负相关;Ca 与 Mg 在 0.05 水平

表 4 红托竹荪对土壤矿质元素的富集系数

元素	富集系数 (PUF)
Cu	0.219
Se	4.122
Zn	0.314
Ca	0.105
K	7.388
Mg	0.099
Mn	0.045
Na	0.105

注:富集能力判别:PUF<0.5,贫化;0.5<PUF<1.5,同一水平;1.5<PUF<3.0,相对富集;PUF>3.0,强烈富集<sup>[14]</sup>。

上呈显著正相关;K 与 Na 在 0.05 水平上呈显著正相关;K 与 Mn 在 0.01 水平上呈显著正相关;Mn 与 Na 在 0.01 水平上呈显著正相关;表明 Cu 与 Ca、Mg、Na 存在拮抗作用,当土壤中 Cu 含量过高时,可能会导致红托竹荪中 Ca、Mg、Na 含量的不足,因此在栽种红托竹荪时,要选择 Cu 含量适宜的土壤,从而提高红托竹荪品质。

红托竹荪与土壤中 8 种矿质元素的相关性见表 6,除了 Zn、Mg、Mn 这 3 种元素呈负相关之外,其他的矿质元素都呈正相关关系。值得指出的是,虽然这 8 种元素之间呈现一定的相关关系,但是相关性不明显,均未达到显著水平,这可能与红托竹荪本身的植物属性等其他因素有关。

表 5 红托竹荪中矿质元素的相关性

元素	相关系数							
	Cu	Se	Zn	Ca	K	Mg	Mn	Na
Cu	1							
Se	0.293	1						
Zn	-0.567	0.265	1					
Ca	-0.941 *	-0.407	0.683	1				
K	-0.830	0.237	0.829	0.776	1			
Mg	-0.916 *	-0.515	0.402	0.908 *	0.678	1		
Mn	-0.820	0.305	0.745	0.701	0.966 **	0.592	1	
Na	-0.933 *	0.055	0.731	0.849	0.946 *	0.741	0.966 **	1

注：“\*”在 0.05 水平(双侧)上显著相关。“\*\*”在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

表 6 红托竹荪与土壤中矿质元素的相关性

元素	相关系数
Cu	0.339
Se	0.339
Zn	-0.816
Ca	0.131
K	0.031
Mg	-0.194
Mn	-0.286
Na	0.599

3 讨论与结论

通过对红托竹荪及其覆土土壤矿质元素含量的测定,分析了各元素含量之间的关系以及红托竹荪对土壤矿质元素的富集能力,还进一步研究了红托竹荪中各矿质元素之间的相互关系以及红托竹荪与土壤矿质元素之间的相互关系,为后期红托竹荪的营养价值分析和规范化种植提供参考。

试验结果表明,竹荪中矿质元素含量由高到低依次为 K>Mg>Ca>Na>Mn>Zn>Cu>Se,土壤中矿质元素含量高低顺序为 Mg>K>Ca>Mn>Na>Cu>Zn>Se。由此可知,红托竹荪中富含人体所需的多种矿质元素,具有极高的营养价值。

红托竹荪对不同矿质元素的富集能力有明显差异。除了硒和钾强烈富集之外,其他 6 种元素都相对贫化,表明在红托竹荪的生长过程中,该植物对不同的元素需求量差异较大,在种植时要注意及时补充强烈富集的元素。

对红托竹荪中矿质元素以及红托竹荪与土壤中矿质元素进行了 Pearson 相关性统计,结果表明,红托竹荪与土壤中矿质元素之间的相关性不明显,红托竹荪各矿质元素之间 Cu 与 Ca、Mg、Na 在 0.05 水平(双侧)上呈显著负相关;Ca 与 Mg 在 0.05 水平(双侧)上呈显著正相关;K 与 Na 在 0.05 水平(双侧)上呈显著正相关;K 与 Mn 在 0.01 水平(双侧)上呈显著正相关;Mn 与 Na 在 0.01 水平(双侧)上呈显著正相关。表明红托竹荪中 Cu 能影响其对其他矿质元素的吸收。

参考文献:

[1] 饶 军,张云珍. 红托竹荪的栽培[J]. 生物学通报,1998(4): 45-47.

[2] 黄义勇,曹若彬. 矿质元素对红托竹荪菌丝生长的影响[J]. 江苏食用菌,1994,15(6):5-6.

[3] 张树平. 川泽泻无机元素含量及其与药材质量、土壤化学性质的相关性研究[D]. 雅安:四川农业大学,2010:52-53.

[4] 顾志荣,王亚丽,陈 晖,等. 当归药材与产地土壤中无机元素的相关分析研究[J]. 土壤通报,2014,45(6):1410-1415.

[5] 曾亚文,申时全,汪禄祥,等. 云南稻种矿质元素含量与形态及品质性状的关系[J]. 中国水稻科学,2005,19(2):127-131.

[6] 杨 纯,衷明华,侯惠萍,等. 凤凰茶园茶叶和土壤中铜铁锌锰含量的相关分析[J]. 广东化工,2006,33(9):60-62.

[7] 张红霞,魏方方,王家顺,等. 安顺山药根茎与土壤中矿质元素相关性分析[J]. 西南大学学报(自然科学版),2017,39(5):31-36.

[8] 王 静,章林平,王利鹃,等. 不同磷素水平对水稻根系生长及部分营养元素吸收的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版),2015,37(7):30-36.

[9] 鲁连芳,刘小敏. 鱼腥草中微量元素和重金属含量的测定[J]. 食品科学,2016(18):256-257.

[10] 张红振,骆永明,章海波,等. 水稻、小麦籽粒砷、镉、铅富集系数分布特征及规律[J]. 环境科学,2010,31(2):488-495.

[11] Erdogan S, Aydin I, Duz M Z, et al. Simultaneous multielement determination of Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, and Zn in bulgur wheat by ICP-OES[J]. Atomic Spectroscopy, 2015, 36(5):210-215.

[12] Verma D K, Srivastav P P. Proximate composition, mineral content and fatty acids analyses of aromatic and non-aromatic Indian rice [J]. Rice Science, 2017, 24(1):21-31.

[13] 乔 光,田 田,洪 怡,等. 生物炭对玛瑙红樱桃生长、果实品质及土壤矿质元素的影响[J]. 江苏农业学报,2017,33(4): 904-908.

[14] 严 辉,段金殿,钱大玮,等. 不同产地当归药材及其土壤无机元素的关联分析与探讨[J]. 中药材,2011,34(4):512-516.