

# 南京典型利用方式土壤中球囊霉素含量及剖面分布特征<sup>①</sup>

阙弘, 葛阳洋, 康福星, 凌婉婷\*

(南京农业大学土壤有机污染控制与修复研究所, 南京 210095)

**摘要:** 采用 Bradford 染色法研究了南京市 5 种典型利用方式土壤不同土层中 (0~10、10~20、20~40 cm) 球囊霉素的含量。结果表明: 土壤中总球囊霉素含量为 1.96~3.12 mg/g, 占土壤有机碳的 12.5%~29.0%, 所占比例随土壤有机碳含量的增加而降低。林地和草地土壤中球囊霉素和有机碳的含量均高于 3 种耕作土壤 (水稻田、茶园土和菜园土)。随着土层深度 (0~40 cm) 的增加, 5 种不同利用方式土壤中总球囊霉素和有机碳的含量均减小; 与其他土层相比, 0~10 cm 土层总球囊霉素和有机碳含量均最大。耕作土壤中易提取球囊霉素更易于向总球囊霉素转化。发现 5 种土地利用方式下土壤中总球囊霉素含量与土壤有机碳含量极显著正相关, 与土壤 pH 显著负相关; 易提取球囊霉素与土壤有机碳含量极显著负相关。总球囊霉素和易提取球囊霉素可作为评价土壤丛枝菌根真菌活性和土壤质量的重要指标。

**关键词:** 土地利用方式; 球囊霉素; 土壤有机碳; 土层; 丛枝菌根真菌

**中图分类号:** X830.2

球囊霉素 (Glomalin) 是由丛枝菌根真菌 (Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) 菌丝壁产生的一种带有硫氧还原分子和金属离子的碱性可溶糖蛋白, 根据提取条件其又可分为总球囊霉素 (Total glomalin, T-GRSP) 和易提取球囊霉素 (Easily extracted glomalin, EE-GRSP)<sup>[1-4]</sup>。2004 年, Rillig 等<sup>[5]</sup>进一步建议采用球囊霉素相关土壤蛋白 (Glomalin-related soil protein, GRSP) 来定义从土壤中提取的以球囊霉素为主的蛋白质混合物。易提取球囊霉素表征土壤中新近产生, 与土壤结合不紧密的球囊霉素, 总球囊霉素为易提取球囊霉素加部分难提取的球囊霉素<sup>[6]</sup>。研究表明, 球囊霉素对维持土壤有机碳平衡、改善土壤团聚体、固定土壤重金属等有重要作用<sup>[2,7]</sup>。

球囊霉素随着 AMF 菌丝和孢子的分解而释放并积累在土壤中, 是土壤碳库的重要组成部分<sup>[8-9]</sup>。球囊霉素碳含量是腐殖酸碳含量的 2~25 倍, 甚至达到土壤总有机碳 (Soil organic carbon, SOC) 含量的 25%<sup>[10]</sup>。土地利用方式变化下, 土壤中球囊霉素比有机质降解慢<sup>[11]</sup>, 使得球囊霉素在生态系统中可以更好地固定碳元素<sup>[12]</sup>。球囊霉素中重复的单分子结构增强了土壤结构的稳定性<sup>[7]</sup>, 而土壤稳定性的加强可以减少土壤有机质的分解和增加土壤生态系统中碳元素的积累<sup>[9]</sup>。

球囊霉素广泛存在于土壤生态系统中<sup>[7-8, 13]</sup>。在对智利热带雨林火山土的调查中, Etcheverria 等<sup>[14]</sup>发现上层和下层土壤中球囊霉素含量分别为 21 mg/g 和 10 mg/g。而在夏威夷岛表层土壤层中, Rillig 等<sup>[7]</sup>测得球囊霉素的含量可高达 100 mg/g 以上, 其对土壤总碳的最大贡献率达 5%。Harner 等<sup>[15]</sup>发现在土壤深度达到 140 cm 时仍然可以检测到球囊霉素。土壤含水率、黏粒、酶、根际微生物活动等对球囊霉素含量均可造成影响。土壤球囊霉素的积累和组成受多种生态环境因子如气候条件、植被类型、土壤特性、AMF 组成等的影响<sup>[7,11,16]</sup>。然而, 不同利用方式对不同土层中球囊霉素累积的影响如何, 国内外仍不清楚。

本文以南京市浦口区 5 种不同利用方式土壤为对象, 研究不同土壤性质和土层深度与球囊霉素含量的关系, 试图揭示不同利用方式对不同土层中球囊霉素分布的影响, 为进一步明确球囊霉素在土壤中的作用和功能提供基础依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

采样区位于江苏省南京市浦口区南京农业大学

基金项目: 国家自然科学基金项目 (21477056, 41171380) 和江苏省杰出青年基金项目 (BK20130030) 资助。

\* 通讯作者 (lingwanting@njau.edu.cn)

作者简介: 阙弘 (1990—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤有机污染控制。E-mail: 2012103042@njau.edu.cn

江浦农场(32°05'N, 118°47'E), 海拔 15.59 m。该地区以平原地貌为主, 年平均气温 16℃, 多年平均降水量为 1 104.4 mm, 年无霜期日数 223 天, 初霜日出现在 11 月初。林地主要植被为白栎 (*Quercus fabri* L.)、杜仲 (*Eucommia ulmoides*)、化香 (*Platycarya strobilacea* L.)、马尾松 (*Pinus massoniana* L.)、白檀 (*Symplocos paniculata* L.) 等; 草地为海岸带自然撂荒地, 草本覆盖率 80% 左右, 优势植物有大米草 (*Spartina anglica*)、芦苇 (*Phragmites australis*)、盐蒿 (*Suaeda salsa*) 等。

供试土壤为黄棕壤, 按土地利用方式将采样区分为林地、草地、水稻田、茶园土和菜园土。在预先选好的样地上, 去除土壤表层杂物, 沿土壤剖面分 0~10、10~20 和 20~40 cm 3 个土层, 按四分法分别取各层土壤样品 1 kg, 密封保存。土样风干后去除杂物, 过 10 目筛后备用。

## 1.2 分析方法

**1.2.1 土壤化学性质测定** 土壤 pH 用 PHS-3C 型精密酸度计测定, 土水比为 1:2.5; 土壤有机碳用重铬酸钾氧化法测定<sup>[17]</sup>。

**1.2.2 土壤中球囊霉素提取和测定** 选取易提取球囊霉素和总球囊霉素来表征土壤中球囊霉素的含量和分布, 其提取和定量分析参考 Wright 等<sup>[1]</sup>和 David 等<sup>[18]</sup>报道的方法。

**易提取球囊霉素提取:** 将 0.25 g 土样与 2 ml 20 mmol/L、pH 7.0 的柠檬酸钠溶液加入塑料离心管, 放入高压灭菌锅、于 121℃ 提取 0.5 h 后, 在 9 710 r/min 条件下离心 5 min, 收集上清液, 置于 4℃ 保存。

**总球囊霉素提取** 将 0.25 g 土样与 2 ml 50 mmol/L、pH 8.0 的柠檬酸钠加入塑料离心管, 放入高压灭菌锅、于 121℃ 提取 1 h 后, 9 710 r/min 离心 5 min, 收集上清液; 重复提取直至离心管内上清液不再呈红棕色为止, 将收集到的上清液在 4 000 r/min 下离心 20 min, 置于 4℃ 下保存。

球囊霉素的定量分析采用 Bradford 法, 考马斯亮蓝染色液配制方法如下: 称取 0.1 g 考马斯亮蓝 G250 溶于 50 ml 95% 的乙醇, 加入 100 ml 85% 的磷酸, 定容至 1 000 ml, 使用前需过滤。用牛血清蛋白 BSA 作标准物质。

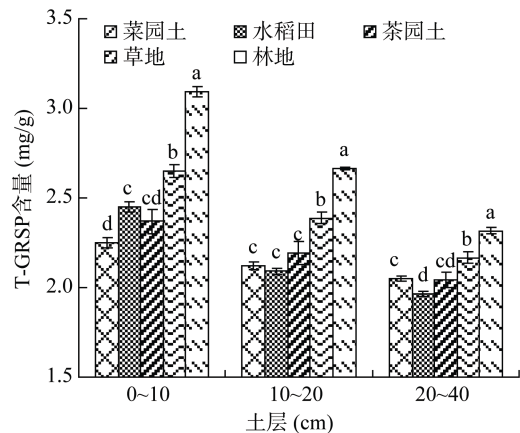
## 1.3 数据分析

应用 SPSS 16.0 软件对试验数据进行统计分析, Duncan 多重比较法检验各组数据差异的显著性, Pearson 法作相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土地利用方式下土壤中球囊霉素的含量及垂直分布

5 种土地利用方式下土壤中总球囊霉素的含量存在差异, 且总球囊霉素的含量均随着土层深度的增加呈递减趋势, 表现为 0~10 cm 土层>10~20 cm 土层>20~40 cm 土层(图 1)。在 0~10 cm 土层, 林地和草地土壤中总球囊霉素含量分别为 3.09 和 2.65 mg/g, 显著高于水稻田、茶园土和菜园土; 10~20 cm 和 20~40 cm 土层具有类似的趋势, 总球囊霉素含量表现为林地>草地>菜园土、茶园土和水稻田。林地和草地各土层的总球囊霉素含量均显著高于其他 3 种土地利用方式, 表明林地和草地相比受人为扰动大的耕作土壤更易产生和积累球囊霉素。此外, 5 种土地利用方式下土壤中总球囊霉素含量均随着土层深度增加而减小, 这是由于表层土壤中 AMF 更为丰富, 能够产生更多的球囊霉素并在表层积累。



(图中小写字母不同表示同一土层不同土地利用方式间差异达到  $P < 0.05$  显著水平, 下同)

图 1 不同土地利用方式下土壤中总球囊霉素的分布  
Fig. 1 Distributions of T-GRSP in soils under different land use types

由图 2 可知, 5 种不同土地利用方式下林地和草地各土层中易提取球囊霉素含量均显著高于另外 3 种耕作土壤(菜园土、茶园土和水稻田), 例如, 林地各土层中易提取球囊霉素含量为 0.93、0.84 和 0.88 mg/g, 是菜园土的 2 倍左右。林地各土层中易提取球囊霉素含量高于草地, 3 种耕作土壤间差异不显著。易提取球囊霉素随土壤深度的增加(0~40 cm)未表现出显著的垂直分布规律。

图 3 为不同土地利用方式下土壤中易提取球囊霉素占总球囊霉素的比。5 种土地利用方式下, 土壤中易提取球囊霉素占总球囊霉素的比在 22.15%~37.95% 之间, 其中林地和草地为 28.24%~37.95%,

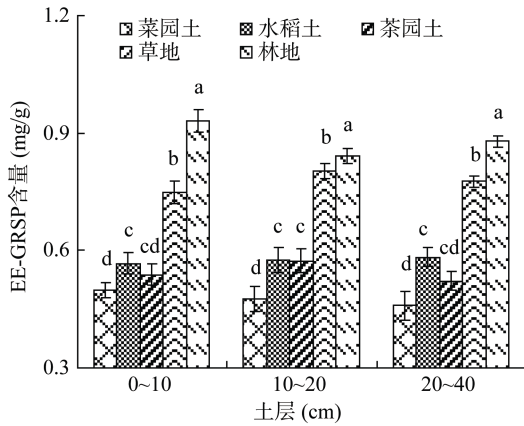
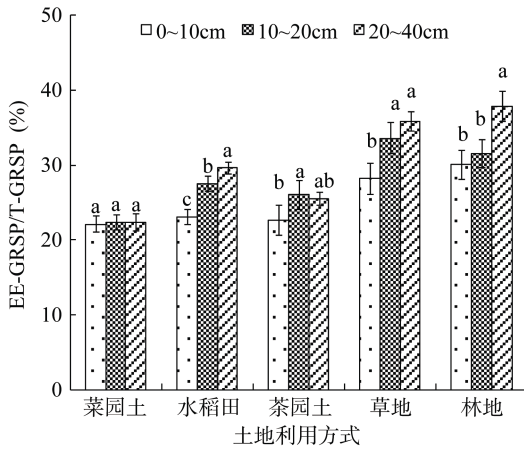


图 2 不同土地利用方式下土壤中易提取球囊霉素的分布  
Fig. 2 Distributions of EE-GRSP in soils under different land use types



(图中小写字母不同表示同一土地利用方式不同土层间差异达到  $P < 0.05$  显著水平)

图 3 不同土地利用方式下土壤中易提取球囊霉素占总球囊霉素的比  
Fig. 3 Proportions of EE-GRSP to T-GRSP in soils under different land use types

3 种耕作土壤为 22.15% ~ 27.54%。林地和草地土壤中易提取球囊霉素占总球囊霉素的比显著高于菜园土、水稻田和茶园土等 3 种耕作土壤, 这可能是由于林地和草地土壤受人为扰动小, 生态功能良好, AMF 丰富且易产生和积累球囊霉素所致。另外, 受人为作用影响, 耕作土壤中易提取球囊霉素更易消耗或向总球囊霉素转化。不同土层的比较可以发现, 林地、草地和水稻田中易提取球囊霉素占总球囊霉素的比随土层增加呈递增趋势, 菜园土和茶园土则表现为 10 ~ 20 cm 土层 > 20 ~ 40 cm 土层 > 0 ~ 10 cm 土层。

### 2.2 球囊霉素与土壤因子相关性分析

首先分析了不同利用方式下土壤的 pH 和有机碳的含量及分布。林地和菜园土不同土层土壤 pH 均略小于 7, 茶园土各土层土壤 pH 为 7.21 ~ 7.30 (表 1)。林地土壤各土层 pH 差异显著, 且随土壤深度的增加

表 1 不同土地利用方式下土壤 pH 和有机碳含量  
Table 1 pH values and organic carbon contents of test soils under different land use types

土地利用方式	土层(cm)	土壤 pH	土壤有机碳(g/kg)
林地	0 ~ 10	6.49 ± 0.05 c	17.91 ± 0.09 a
	10 ~ 20	6.63 ± 0.09 b	15.39 ± 0.37 b
	20 ~ 40	6.98 ± 0.07 a	13.84 ± 0.27 c
草地	0 ~ 10	7.02 ± 0.01 a	16.03 ± 0.20 a
	10 ~ 20	6.98 ± 0.08 a	14.74 ± 0.33 b
	20 ~ 40	6.92 ± 0.14 a	11.49 ± 0.51 c
茶园土	0 ~ 10	7.21 ± 0.22 a	11.12 ± 0.14 a
	10 ~ 20	7.29 ± 0.09 a	10.05 ± 0.58 b
	20 ~ 40	7.30 ± 0.03 a	9.73 ± 0.33 b
水稻田	0 ~ 10	7.20 ± 0.07 a	10.24 ± 0.43 a
	10 ~ 20	6.77 ± 0.08 b	8.25 ± 0.46 b
	20 ~ 40	7.13 ± 0.04 a	7.48 ± 0.08 b
菜园土	0 ~ 10	6.86 ± 0.05 b	12.49 ± 0.15 a
	10 ~ 20	6.84 ± 0.07 b	10.31 ± 0.20 b
	20 ~ 40	6.96 ± 0.03 a	8.78 ± 0.53 c

注：同列数据小写字母不同表示同一样地不同土层间差异达到  $P < 0.05$  显著水平。

而增大, 另外 4 种利用方式下土壤 pH 随土层深度的增加而无显著的规律性。林地和草地各土层有机碳含量明显高于 3 种耕作土壤(表 1)。5 种土地利用方式的土壤有机碳含量均随土层深度的增加(0 ~ 40 cm)而显著下降。

进一步分析了总球囊霉素含量占土壤有机碳量的比例(图 4)。总球囊霉素在 5 种土地利用方式的土壤各土层中含量为 1.96 ~ 3.12 mg/g, 占土壤有机碳含量的 12.5% ~ 29.0%, 该比例随着土壤有机碳含量的增加而降低(图 4)。土壤中总球囊霉素占有机碳的比例与土壤有机碳含量呈显著幂指数负相关, 方程为  $y = 245.98x^{-1.0277}$ , 相关系数为 0.821 5 ( $n = 45$ )。

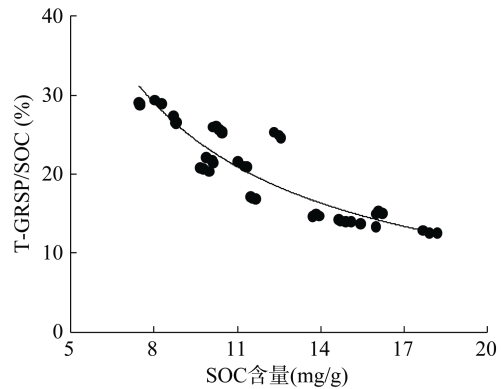


图 4 总球囊霉素占有机碳的比例随土壤有机碳含量的变化趋势  
Fig. 4 Proportions of T-GRSP to SOC as a function of SOC contents

Pearson 相关性分析表明,总球囊霉素含量与土壤有机碳含量呈极显著正相关 ( $P<0.01$ ),与土壤 pH 呈显著负相关 ( $P<0.05$ );易提取球囊霉素与土壤有机碳含量呈极显著负相关 ( $P<0.01$ ) (表 2)。

表 2 球囊霉素与土壤因子 Pearson 相关性分析结果  
Table 2 Pearson's correlation analyses of GRSP in soils with soil properties

	EE-GRSP	T-GRSP	pH	SOC
SOC	-0.582**	0.884**	-0.715**	1
pH	0.145	-0.624*	1	
T-GRSP	-0.511	1		
EE-GRSP	1			

注:\* 表示相关性达到  $P<0.05$  显著水平,\*\* 表示相关性达到  $P<0.01$  显著水平(双侧)。

### 3 讨论

据报道,在不同土地利用方式的作用下,土壤的有机碳含量等各种理化性质会发生变化<sup>[19]</sup>。土壤有机碳含量决定于其年生成量和年分解量的相对大小,也受自然成土因素的制约。不同土地利用方式必然存在土地经营过程的差异,进而使土壤有机碳含量发生改变<sup>[20]</sup>。本研究表明林地和草地相比耕作土壤有较高的有机碳含量,主要是因为人为干扰下,加速了耕作土壤中有机质的分解,导致有机碳含量降低。相关性分析结果表明,土壤中总球囊霉素含量与土壤有机碳含量显著正相关,这也被 Comis<sup>[21]</sup>的研究结果所佐证。本研究有机碳和总球囊霉素含量均随土层增加呈递减趋势,这种明显的差异与变化与土壤有机质和蛋白的空间分布和异质性有关。

土壤 pH 是影响 AMF 活性的一个重要生态因子,会对土壤中球囊霉素含量产生影响<sup>[22]</sup>。本研究发现,5 种土地利用方式下只有林地土壤 pH 随土层深度增加而增大,这与谭艳等<sup>[23]</sup>研究结果相似。5 种土地利用方式下土壤 pH 与总球囊霉素含量呈显著负相关,本研究中供试土壤 pH 均接近中性,一般说来,中性至微酸性土壤有利于 AMF 发育,而 pH 继续增高则不利于 AMF 生长<sup>[24]</sup>,进而导致总球囊霉素产生量下降。但是,贺学礼等<sup>[25]</sup>研究结果中土壤 pH 过高,丛枝菌根也会生成根外菌丝并产生球囊霉素,原因可能与植物种类、生长条件等有关。因此,需要进一步加强土壤 pH 与 AMF 以及球囊霉素关系的研究。

由于球囊霉素源于 AMF,所以其在土壤中含受 AMF 生长状况的直接影响<sup>[8]</sup>。相比于 3 种耕作土壤,林地和草地有较高的球囊霉素含量,这主要是人为耕作过程(如施用化肥、农药)降低了 AMF 丰富度和活性,减少了土壤中球囊霉素的产生,并加速了球

囊霉素分解<sup>[9]</sup>。本试验中总球囊霉素含量随土层的增加而递减,这主要是由于表层土壤通透性好、营养丰富,AMF 丰度高、活性强,导致土层中 AMF 孢子密度大<sup>[26]</sup>,释放的球囊霉素多。林地和草地中易提取球囊霉素占总球囊霉素的比率高,这主要是由于易提取球囊霉素主要表征土壤中新近产生的与土壤结合不紧密的球囊霉素<sup>[6]</sup>,人为干扰(如施用化肥、农药)下茶园土、水稻田和菜园土中易提取球囊霉素产生量少、且易于向总球囊霉素转化;另外,林地和草地中易提取球囊霉素占总球囊霉素的比率高,这随土层深度增加而递增,这也说明人为扰动较大的表层土壤中易提取球囊霉素更易于向总球囊霉素转化。

据报道,土壤中总球囊霉素含量在不同生态系统中含量可达 2.0~14.8 mg/g<sup>[1-2,7]</sup>,占土壤有机碳库的 7%~33%<sup>[27]</sup>。本研究中总球囊霉素在 5 种土地利用方式下土壤中含量为 1.96~3.12 mg/g,占土壤有机碳含量的 12.5%~29.0%。这些结果表明,球囊霉素是土壤有机碳库的重要组成部分。相关性分析结果表明,土壤中总球囊霉素含量与土壤有机碳含量显著正相关。但 Lovelock 等<sup>[6]</sup>研究得出球囊霉素含量越高的土壤中有机质含量反而越低,可能是由于其试验样地分布于热带雨林地区,年平均降雨量大,不同的气候条件和地理条件等导致了土壤有机质和球囊霉素的积累结果的差异。总球囊霉素和易提取球囊霉素能综合反映土壤 AMF 群落特性、有机质动态、养分循环及土壤生态健康状况,因此有必要将其作为土壤质量及功能评价的新指标来进一步深入研究。

### 4 结论

1) 5 种土地利用方式下土壤中总球囊霉素在 0~40 cm 土层中含量为 1.96~3.12 mg/g,占土壤有机碳量的 12.5%~29.0%,所占比例随土壤有机碳含量的增加而降低,与有机碳含量间呈显著幂指数负相关。

2) 相对于人为扰动较少的林地和草地,菜园土、茶园土和水稻田等 3 种耕作土壤中总球囊霉素和易提取球囊霉素含量低。总球囊霉素含量在 0~40 cm 土层中呈垂直衰减分布,随着土层深度增加而降低。林地和草地土壤中易提取球囊霉素占总球囊霉素比例高于耕作土壤。

3) 5 种土地利用方式下土壤中总球囊霉素含量与土壤有机碳含量极显著正相关( $P<0.01$ ),与土壤 pH 显著负相关( $P<0.05$ );易提取球囊霉素与土壤有机碳

含量极显著负相关( $P < 0.01$ )。

#### 参考文献：

- [1] Wright SF, Upadhyaya A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Soil Science, 1996, 161(9): 575–586
- [2] Wright SF, Upadhyaya A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Plant and Soil, 1998, 198(1): 97–107
- [3] Gillespie AW, Farrell RE, Walley FL, Ross ARS, Leinweber P, Eckhardt KU, Regier TZ, Blyth RIR. Glomalin-related soil protein contains non mycorrhizal-related heat-stable proteins, lipids and humic materials[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2011, 43(4): 766–777
- [4] Gadkar V, Rillig MC. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin is a putative homolog of heat shock protein 60[J]. FEMS Microbiology Letter, 2006, 263(1): 93–101
- [5] Rillig MC. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2004, 84(4): 355–363
- [6] Lovelock CE, Wright SF, Clark DA, Ruess RW. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape[J]. Journal of Ecology, 2004, 92(2): 278–287
- [7] Rillig MC, Wright SF, Nichols KA, Schmidt WF, Torn MS. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils[J]. Plant and Soil, 2001, 233(2): 167–177
- [8] Driver JD, Holben WE, Rillig MC. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(1): 101–106
- [9] Treseder KK, Turner KM. Glomalin in ecosystems[J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71(4): 1 257–1 266
- [10] Schindler FV, Mercer EJ, Rice JA. Chemical characteristics of glomalin related soil protein (GRSP) extracted from soils of varying organic matter content[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(1): 320–329
- [11] Preger AC, Rillig MC, Johns AR, Du Preez CC, Lobe I, Amelung W. Losses of glomalin-related soil protein under prolonged arable cropping: A chronosequence study in sandy soils of the South African Highveld[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(2): 445–453
- [12] Quiquampoix H, Burns R. Interactions between proteins and soil mineral surfaces: Environmental and health consequences[J]. Elements, 2007, 3(6): 401–406
- [13] Rillig MC, Ramsey PW, Morris S, Paul EA. Glomalin, an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change[J]. Plant Soil, 2003, 253(2): 293–299
- [14] Etcheverria, P, Huygens D, Godoy R, Borie F, Boeckx P. Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to C-13 and N-15 enrichment of soil organic matter in forest soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41(4): 858–861
- [15] Harner MJ, Ramsey PW, Rillig MC. Protein accumulation and distribution in floodplain soils and river foam[J]. Ecology Letter, 2004, 7(9): 829–836
- [16] Rillig MC, Hernandez GY, Newton PCD. Arbuscular mycorrhizal respond to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> after long term exposure: Evidence from a CO<sub>2</sub> spring in New Zealand supports the resource balance model[J]. Ecology Letters, 2000, 3(6): 475–478
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 25–33
- [18] David PJ, Garamszegi S, Beltran B. Glomalin extraction and measurement[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(3): 728–739
- [19] Rausch C, Daram P, Brunner S, Jansa J, Lalol M, Leggewie G, Amrhein N, Bucher M. A phosphate transporter expressed in arbuscular-containing cells in potato[J]. Journal of Nature, 2001, 14(10): 462–466
- [20] 宇万太, 姜子绍, 李新宇, 丁怀香. 不同土地利用方式对潮棕壤有机碳含量的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2 760–2 764
- [21] Comis D. Glomalin: Hiding place for a third of the worlds stored soil carbon[J]. Journal of Australia Farm, 2004, 14(9): 64–66
- [22] Rillig MC, Allen MF. What is the role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant to eco-system response to elevated atomospheric[J]. Mycorrhizal, 1999, 9(1): 91–98
- [23] 谭艳, 吴承祯, 洪伟, 陈建忠, 肖应忠, 陈灿. 邓恩桉林地土壤 pH 空间变异分析[J]. 植物资源与环境学报, 2012, 21(1): 14–19
- [24] 贺学礼, 白春明, 赵丽莉. 毛乌素沙地沙打旺根围 AM 真菌的空间分布[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 2 711–2 716
- [25] 刘润进, 李晓林. 丛枝菌根及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [26] Brady NC, Wei RR. Organism and ecology of the soil[J]. The Nature and Properties of Soil, 1996, 36(7): 328–360
- [27] 唐宏亮, 刘龙, 王莉, 巴超杰. 土地利用方式对球囊霉素土层分布的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1 137–1 142

## Content and Distribution of Glomalin-related Soil Protein in Soils of Nanjing Under Different Land Use Types

QUE Hong, GE Yang-yang, KANG Fu-xing, LING Wan-ting\*

*(Institute of Organic Contaminant Control and Soil Remediation, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)*

**Abstract:** In this paper, the contents of total glomalin-related soil protein (T-GRSP) and easily extracted glomalin-related soil protein (EE-GRSP) were determined in three depths (0–10, 10–20 and 20–40 cm) of five soils under different land use types by using Bradford staining method. It was found that the T-GRSP contents of all soil samples ranged from 1.96 to 3.12 mg/g, accounting for 12.5%–29.0% of the SOC contents. The percentages of T-GRSP to SOC were decreased with the increase of SOC content. The GRSP and SOC contents in three soils, including tea, paddy, and vegetable soil, under artificial land use types were significantly lower than those in the forestland and grassland. The GRSP and SOC contents in test five soils decreased with increase of soil depth, and the highest values were observed in soil surface layer (0–10 cm). The content of T-GRSP was positively and significantly correlated with the SOC content, while negatively with soil pH value. A negatively significant correlation of EE-GRSP with SOC was also observed. It was suggested that T-GRSP and EE-GRSP can be used as the indicators to evaluate the AMF activity and soil quality.

**Key words:** Land use type; Glomalin-related soil protein; Soil organic carbon; Soil layer; Arbuscular mycorrhizal fungi