

Bradford 反应蛋白质在土壤中作用的研究进展与展望^①

聂军^{1,2,3}, 周健民¹, 王火焰¹, 陈小琴¹, 杜昌文¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 湖南省土壤肥料研究所, 长沙 410125;

3 农业部望城红壤水稻土生态环境重点野外科学观测试验站, 长沙 410125)

摘要: 自 1996 年土壤中 Bradford 反应蛋白质 (BRSP, bradford reactive soil protein) 被发现以来, 其在土壤中的作用和功能以及学术地位日益受到重视。本文介绍了 BRSP 在土壤中的形态和特性, 重点阐述了 BRSP 在土壤中稳定土壤结构、促进土壤物质循环和整合土壤潜在毒性元素等作用和功能, 分析了土壤中 BRSP 含量的影响因素, 并对其研究前景作了展望。

关键词: Bradford 反应蛋白质; 土壤; 功能; 影响因素

中图分类号: S154.34; S15

随着人口-资源-环境的矛盾日趋突出, 土壤质量问题逐渐受到全世界的广泛关注。土壤退化 (包括土壤侵蚀、贫瘠化、盐碱化、沙化、酸化) 是目前全球耕地土壤质量存在的最主要问题之一, 也是关系到我国农业可持续发展的重大问题。大量研究表明, 丛枝菌根真菌 (arbuscular mycorrhiza fungi, AMF) 是严重受扰群落和生态系统演替过程的主要调节者, 在退化土壤恢复和重建中起着重要作用。AMF 能促进宿主对土壤中矿质元素 P、N、K、Cu 和 Zn 等的吸收, 提高宿主根系对根部侵染病菌的抵抗能力和增强植物对干旱、高温、高盐和重金属的抗性^[1-4]。

1996年, 美国学者 Wright 等^[5-6]研究发现在 121 °C 的温度下用 20 mmol/L (pH 7.0) 的柠檬酸能从土壤中提取出一种含量丰富、极不寻常的蛋白质, 并将这种蛋白与 AMF 菌丝上的蛋白进行了比较, 通过单克隆抗体酶联免疫法证实这类蛋白确是由 AMF 产生的一种含金属离子的糖蛋白, 并将其命名为球囊霉素 (Glomalin)。Wright 当时认为在条件如此苛刻的浸提过程中, 除了球囊霉素外, 其他大多数蛋白质都已经被破坏。2006 年, Rosier 等^[7]在土壤中加入不同量的牛血清蛋白, 用 Wright 的方法浸提、测定时发现, 用这种浸提条件和测定方法, 依然有部分牛血清蛋白可以用 Bradford 法检测出来, 同时发现落叶和土壤混合后立即浸提, 用 Bradford 法测定蛋白质含量时, 土壤中的 Bradford 反应蛋白质含量显著增加。这一结果说明, 在这种浸提条件下浸提出来的用 Bradford 法测定的物质是含金属离子的蛋白质混合物, 并不是完全由 AMF 产生的。因此, Rosier 等^[7]建议将这种物质命名

为 Bradford 反应土壤蛋白质 (BRSP, bradford reactive soil protein)。尽管 GRSP 的成分和来源还没有完全探明, 但是 BRSP 在土壤生态系统中含量丰富, 在改善土壤结构、促进土壤物质循环和整合土壤潜在毒性元素等方面发挥着重要作用。本文就这一领域的研究进展进行了简要概述。

1 Bradford 反应蛋白质的形态与特性

1.1 形态

最初, Wright 等^[6]依据提取球囊霉素的难易, 将其分为总球囊霉素 (total glomalin, TG) 和易浸提球囊霉素 (easily extractable glomalin, EEG) 两个组分。总球囊霉素是指在 121 °C 的条件下, 用 50 mmol/L (pH 8.0) 的柠檬酸所能提取的球囊霉素最大值, 代表土壤所能浸提出来的球囊霉素总量。易浸提球囊霉素是指在 121 °C 的条件下用 20 mmol/L (pH 7.0) 的柠檬酸 30 min 能浸提出的球囊霉素, 代表土壤新近形成的球囊霉素组分^[8]。另外, 根据总球囊霉素、易浸提球囊霉素分别和单克隆抗体 MAb32B11 发生免疫反应的结果, 分别将之称为免疫性总球囊霉素 (immunoreactive total glomalin, IRTG) 和免疫性易浸提球囊霉素 (immunoreactive easily extractable glomalin, IREEG)。Rosier 等^[7]研究发现用 Bradford 方法测定的蛋白质并非完全是球囊霉素, 建议对以前的术语进行修正: 建议 TG 采用的新术语是 Bradford 反应土壤蛋白质 (bradford reactive soil protein, BRSP), 建议 EEG 采用的新术语是易浸提 Bradford 反应土壤蛋白质 (easily extractable bradford reactive soil protein, EE-BRSP); 建议

①基金项目: 973 项目“长江、珠江三角洲地区土壤和大气环境质量变化规律与调控原理” (2002CB410810) 和国家“十一五”科技支撑计划课题 (2008BADA4B08) 资助。

作者简介: 聂军 (1972—), 男, 湖南沅江人, 副研究员, 博士研究生, 主要从事新型肥料研究与开发。E-mail: jnie@issas.ac.cn

IRTG 和 IREEG 分别采用的新术语是免疫性 MAb32B11 土壤蛋白质 (immunoreactive MAb32 B11 soil protein, IRSP) 和易浸提免疫性 MAb32B11 土壤蛋白质 (easily extractable immunoreactive MAb32B11 soil protein, EE-IRSP)。

研究表明, BRSP 在土壤生态系统中是普遍存在的, 在已调查的几种农田、草原、落叶热带雨林、灌木林等生态系统中都有其踪迹^[8-11]。并且土壤中 BRSP 含量丰富, BRSP 含量在 4.8 ~ 21 mg/g 之间, EE-BRSP 含量在 0.9 ~ 8.0 mg/g 之间, IRSP 含量在 0.8 ~ 6.8 mg/g 之间, EE-IRSP 含量在 0.4 ~ 5.4 mg/g 之间。

1.2 特性

BRSP 是一类难溶于水、难以分解、在自然状态下极为稳定的糖蛋白。土壤 BRSP 需要用 121℃、中性至碱性的柠檬酸才能从土壤中分离提取出来^[6,12]。如此苛刻的浸提条件说明了 BRSP 在土壤中的稳定性, 这也是其至 1996 年才被被发现的原因。

Rillig 等^[13]用 ¹⁴C 标记研究发现, 热带雨林土壤中 BRSP 降解周期长达 6 ~ 42 年。美国蒙大纳州大草原土壤所研究表明, BRSP 5 个月内仅降解了 25%^[14]。Rillig 等^[15]还发现实验室内土壤温育 400 余天以后仍有 50% 的 BRSP 残留。证明 BRSP 在土壤中是难以分解的, 从某种意义上讲 BRSP 可以作为生态系统恢复的一个潜在指标。

2 Bradford 反应蛋白质在土壤中的作用

2.1 稳定土壤结构

土壤结构是土壤生态系统的中心, 良好的土壤结构对促进土壤水分渗漏、生物地球化学循环过程、防止水土流失以及土壤 C 储存等均具有重要作用^[16-17]。土壤团聚体稳定性是土壤结构的一个重要指标, 可以衡量土壤生态系统的优良与否^[18]。研究认为, AMF 对土壤团聚体的形成起着重要作用^[19-20], 而 BRSP 相当于粘结剂, 在土壤团聚体形成过程中发挥着重要作用^[6,8,21]。Wright 和 Upadhyaya^[8]的研究表明, BRSP 粘附土壤颗粒的能力较其他用热水提取的土壤碳水化合物强 3 ~ 10 倍。BRSP 以其强大的粘结能力可以把小的土壤颗粒粘成直径 < 0.25 mm 的微聚合体, 然后形成大聚合体进而形成一个较小的土壤单位^[6,8,21]。土壤中 BRSP 含量与土壤水稳性团聚体含量呈显著正相关关系, 其中, EE-BRSP 含量与土壤水稳性团聚体含量的相关性比 BRSP 含量要好, EE-BRSP 含量与稳定性团聚体含量的高度直线相关说明, EE-BRSP 含量可能是一个实用且简单的评价土壤团聚体稳定性与农业措施间关系的指标, BRSP 的存在可以极大地提高

和改善土壤颗粒的稳定性^[8,13,23]。

2.2 促进土壤物质循环

土壤是 C 素的一个重要贮藏库, 据估计大陆上 2/3 的 C 素是以土壤有机 C 的形态存在的^[23-24]。研究表明, BRSP 是土壤有机质的主要组成部分, 通过巩固土壤颗粒的稳定性进而影响土壤 C 的贮藏量, 防止其他碳水化合物的流失, 是土壤有机 C 的一个重要来源和组织者^[25], 土壤中 BRSP 含量和有机 C 含量呈显著的正相关关系^[6,8,15]。采用实验室内温育土壤验证 BRSP 降解和 CO₂-C 源呼吸, 证实了 BRSP 是土壤活性有机 C 库最重要的来源, 其含量是过去被认为是土壤有机 C 最主要来源之一的腐殖质含量的 2 ~ 24 倍, 占土壤有机 C 源的 27%^[15,26]。在温带地区土壤中, BRSP 含量为 2 ~ 15 mg/g 不等, 有的甚至高达 60 mg/g 以上, 其对土壤总 C 和 N 最大贡献率分别达 5% 和 4%^[8,25,27]。Lovelock 等^[9]在调查热带低地雨林时发现在 0 ~ 10 cm 表层土壤内, BRSP 平均含量为 3.94 mg/g, 分别占土壤总有机 C、N 量的 3.2% 和 5%。Miller 和 Jastrow^[28]的试验结果表明, 土壤中 AMF 根外菌丝和 BRSP 可为草地生态系统提供高达 15% 的有机 C 源。BRSP 是一种由 AMF 分泌的、与 N 相连的低聚糖, 由于其含量在土壤中丰富且稳定, 其对土壤 N 循环有十分重要的作用。研究表明 AMF 对 N 循环的影响主要是通过菌丝从基质中吸取 N 素并转移给宿主植物, 及通过缓解多种胁迫条件而提高固 N 植物的固 N 速率。Rillig 等^[15]证明土壤中 BRSP 含量与土壤全 N 含量也呈显著正相关关系。

2.3 螯合土壤重金属

Wright 和 Upadhyaya^[8]发现 BRSP 具有吸附金属阳离子的能力。土壤中 BRSP 能有效地螯合不同的重金属离子, 特别是污染土壤中的 Cu、Pb、Cd 等离子。González-Chávez 等^[29]研究两种污染土壤上 BRSP 与重金属离子的螯合作用时发现, 每克 BRSP 能螯合 1.6 ~ 4.3 mg Cu, 0.02 ~ 0.08 mg Cd, 0.62 ~ 1.12 mg Pb。而当 BRSP 与不同浓度的 Cu 溶液混合时, BRSP 螯合 Cu 最大达 28 mg/g, 占加入 Cu 量的 35%, 而且这些吸附的 Cu 在柠檬酸和盐酸处理时不能全部释放, 当用柠檬酸溶解盐酸沉淀时, 不能释放的 Cu 为 7.2% ~ 12%。这说明 Cu 和 BRSP 的螯合态比 Cu 与柠檬酸的螯合态、及 Cu 与盐酸的螯合态稳定。纯化的 BRSP 螯合的 Cu 比从土壤中浸提出来的 BRSP 螯合的 Cu 的量多, 这可能是由于土壤中的 BRSP 还螯合了其他元素, 如 Pb、Cd、Mn、Zn 和 Fe 等。这些结果暗示着土壤中 BRSP 库的大小或许可以作为土

壤整合其潜在毒性离子能力的指标,为重金属污染土壤修复提供了一条新的途径。

2.4 其他作用

稳定的土壤结构单元可以极大地提高土壤水分的渗透力和土壤结构的稳定性,防止土壤的自然侵蚀,同时其合理的多孔结构可为植株根系生长提供必要的空间和较好的气体交换通道。研究证实土壤中 BRSP 的含量与土壤凝结稳定性和土壤涵水性呈正相关关系^[8,30]。另外,有人认为 BRSP 是 AMF 对其宿主植物生长环境的调整 and 适应,是微生物活动的一种积极应答机制^[31]。Miller 和 Jastrow^[28]还发现粘着 BRSP 的 AMF 根外菌丝可以在土壤水气界面很好地生存,这些菌丝在干湿循环过程中可减少土壤大聚集体遭到的破坏,从而提高土壤结构的稳定性和抗侵蚀能力,改良土壤性能。

3 影响土壤中 Bradford 反应蛋白质的因素

尽管 BRSP 是一种非常稳定的糖蛋白,在自然条件下其降解周期较长,但是土壤中 BRSP 量的形成和积累依然受到如气候条件、土壤特性、植被类型等生态环境因子以及耕作制度和土地利用方式等各种农艺措施的影响^[13]。

3.1 气候条件

大量的研究表明, BRSP 的产生受到如大气 CO₂ 浓度升高^[11, 21, 32]全球日益变暖^[36]等的影响。Rillig 等^[33]利用红外线加热器人工加热宿主植物发现,高温可以降低土壤中 BRSP 的含量。在一个为期 3 年的实验中,大气中 CO₂ 浓度极大地影响了土壤中 AMF 菌丝的长度和 BRSP 的分泌,进而对土壤结构产生了影响^[34]。当大气中 CO₂ 浓度达到 670 mg/kg 时,土壤中 AMF 菌丝长度和 BRSP 含量分别是 370 mg/kg (当前大气中 CO₂ 浓度)的 3 倍和 5 倍^[26]。

3.2 耕作制度

由于耕作制度对土壤干扰程度的差异,土壤水分含量、通气性和土壤温度等均存在很大的差异,因此,土壤微生物数量、多样性及其活性的差异也很大。Wright 等^[22,30]研究了小麦-休闲(传统耕作)、小麦-玉米-黍稷(免耕)、小麦-玉米-黍稷-休闲(少耕)、小麦-玉米-休闲(免耕)和小麦-向日葵-休闲(少耕)5 种轮作方式和黑麦草(原状)、黑小麦(高度耕作)对土壤 BRSP 含量的影响,结果发现土壤 BRSP 含量的顺序是:黑麦草≥5 种作物轮作>黑小麦。在 5 种作物轮作方式中,土壤 BRSP 含量是以小麦-玉米-黍稷最高,小麦-向日葵-休闲最低。研究还表明,免耕措施可以提高土壤中 AMF 产 BRSP 的量^[22,35]。Borie

等^[35]研究了免耕、少耕、传统耕作+短茬还土和传统耕作+短茬燃烧还土 4 种耕作方式对土壤 BRSP 含量的影响,结果表明,免耕和少耕处理土壤中的 BRSP 含量均显著高于传统耕作+短茬还土和传统耕作+短茬燃烧还土处理,平均高 27% 左右。

3.3 土地利用方式

Rillig 等^[21]比较了农业、人工林和自然森林 3 种土壤不同层次中 BRSP 的含量,发现不同土地利用方式显著影响土壤 BRSP 含量,且土壤中 BRSP 含量随土壤深度的增加而降低。自然森林土壤 A 和 B 层中的 BRSP 含量均高于农业和人工林土壤, BRSP 含量差异达到显著水平,EE-BRSP 含量差异则没有达到显著水平。同时,通过美国蒙大纳州大草原土壤培养试验,比较不同土地利用方式下不同土壤层次中 BRSP 的残留量,发现实验室内土壤温育 400 余天以后仍有 50% 的 BRSP 残留,且 B 层和 C 层土壤中 BRSP 残留量不受土地利用方式的影响,农业和自然森林土壤 A 层中的 BRSP 残留量差异不大,且均显著高于人工林土壤中的残留量^[15,36]。

3.4 作物种类

不同的作物种类可以通过其根系结构和分布、有机 C 投入的数量和质量影响土壤微气候、微生物群落及其活性,从而影响土壤中 BRSP 的产生。Rillig 等^[21]利用单孢接种 8 种不同的植物发现,不同宿主植物对 AMF 产 BRSP 影响极大。同时,研究 3 种草本植物、1 种非禾本科作物和 1 种豆科作物对土壤 BRSP 含量的影响发现,这 5 种作物只对易浸提 BRSP 和免疫性易浸提 BRSP 的含量有显著或极显著的影响,对总 BRSP 和免疫性总 BRSP 含量的影响差异不显著。

3.5 地形

Knorr 等^[37]研究湿地低坡度、干地高坡度和介于两者之间的中间地带 3 种景观位置土壤中免疫性 BRSP 含量的差异,结果发现,湿地低坡度景观位置土壤的免疫性总 BRSP 和免疫性易浸提 BRSP 含量均高于其他两种景观位置土壤。土壤中免疫性总 BRSP 含量与景观位置有显著的相关性,但免疫性易浸提 BRSP 含量与景观位置的相关性不显著。这主要是由不同景观位置宿主植物的分布差异引起的。在湿地低坡度区域,能与 AMF 形成共生体的草本植物的密度和种类均明显多于其他两个区域。

目前,尽管已经对土壤中影响 BRSP 形成、积累的各种因素开展了大量的研究,然而,施肥作为目前农业生产的一项最重要的农艺措施,其对土壤 BRSP 形成和积累的影响研究报道较少。研究施肥对土壤

BRSP 的影响, 对充实 BRSP 的研究领域可能具有一定的作用。

4 展望

由于 BRSP 是最近发现的土壤化合物, 其理化性质、二级结构以及其产生机制目前仍然不清楚。但随着土壤中 BRSP 分布规律、组分和其分子结构的深入研究, BRSP 在土壤中的功能将会引起更多的重视。BRSP 的研究将来有望在以下几个方面取得更新的进展:

(1) 土壤中 BRSP 可作为评估土壤聚合体稳定性和农耕措施之间关系的一项重要指标, 为退化土壤的生态恢复与治理提供新思维、新方法。

(2) 土壤 BRSP 是土壤 C、N 库的重要组成部分。由于 BRSP 与土壤 C、N 显著正相关, 因此, 土壤 BRSP 可以作为评价土壤 C、N 库变化的敏感指标, 这暗示着可以建立以土壤 BRSP 含量作为土壤质量评价的技术指标体系。

(3) 宿主植物种类可以影响土壤中 BRSP 含量, 这初步揭示了植物群落和土壤中 C 贮藏量的关系。由于 BRSP 对维持土壤的稳定性远远大于 AMF, 这提示了 BRSP 可能蕴藏着更为广泛的生态学功能。

(4) 有研究者在离体培养条件下已初步测定了 BRSP 蛋白部分的末端序列, 并构建了其 cDNA 文库。因此, 利用基因工程等分子生物学手段克隆合成 BRSP 的基因, 将其转移到宿主植物根系中表达, 在水土流失严重地区种植已转移这种基因的宿主植物将会为水土流失治理提供新途径。

参考文献:

- [1] 汪洪钢, 吴观以, 李慧荃. VA菌根对绿豆 (*Phaseolus aureus*) 生长及水分利用的影响. 土壤学报, 1989, 26(4): 393-399
- [2] 林先贵, 郝文英, 施亚琴. VA菌根对植物耐旱、涝能力的影响. 土壤, 1992, 24 (3): 142-145
- [3] 唐明. VA菌根提高植物抗盐碱和抗重金属能力的研究进展. 土壤, 1998, 30 (5): 251-254
- [4] 熊礼明, 史瑞和. 蒸气灭菌的土壤对植物的毒害作用及VA菌根的减毒效应. 土壤学报, 1994, 31: 234-239
- [5] Rosier CL, Hoye AT, Rillig MC. Glomalin-related soil protein: Assessment of current detection and quantification tools. Soil Biol. Biochem., 2006, 38: 2205-2211
- [6] Wright SF, Upadhyaya A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Sci., 1996, 161:575-586
- [7] Wright SF, Upadhyaya A, Buyer JS. Comparison of N-linked oligosaccharides of glomalin from arbuscular mycorrhizal fungi and soils by capillary electrophoresis. Soil Biol. Biochem., 1998, 30:1853-1857
- [8] Wright SF, Upadhyaya A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. Plant and Soil, 1998, 198: 97-107
- [9] Lovelock CE, Wright SF, Clark DA, Ruess RW. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. J. Ecol., 2004, 92: 278-287
- [10] Rillig MC, Maestre FT, Lamit LJ. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. Soil Biol. Biochem., 2003, 35: 1257-1260
- [11] Rillig MC, Hernandez GY, Newton PCD. Arbuscular mycorrhizae respond to elevated atmospheric CO₂ after long-term exposure: Evidence from a CO₂ spring in New Zealand supports the resource-balance model. Ecol. Letters, 2000, 3:475-478
- [12] Wright SF, Jawson L. A pressure cooker method to extract glomalin from soils. Soil Sci. Soc. A mer. J., 2001, 65: 1734-1735
- [13] Rillig MC, Wright SF, Nichols KA, Schmidt WF, Torn MS. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. Plant and Soil, 2001, 233:167-177
- [14] Steinberg PD, Rillig MC. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. Soil Biol. Biochem., 2003, 35:191-194
- [15] Rillig MC, Ramsey PW, Morris S, Paul EA. Glomalin, an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. Plant and Soil, 2003, 253:293-299
- [16] Oades JM. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. Plant and Soil, 1984, 76: 319-337
- [17] Elliott ET, Coleman DC. Let the soil work for us. Ecological Bulletins, 1988, 39: 23-32
- [18] Miller RM, Jastrow JD. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation // Bethlenfalvay GJ. Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. Madison, Wis: American Society of Agriculture, 1992: 29-44
- [19] Miller RM, Jastrow JD. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. Soil Biol. Biochem., 1990, 22: 579-584
- [20] Tisdall JM. Fungal hyphae and structural stability of soil. Aust. J. Soil Res., 1991, 29: 729-743
- [21] Rillig MC, Wright SF, Eviner VT. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: Comparing effects of five plant species. Plant and Soil, 2002, 238: 325-333
- [22] Wright SF, Starr JL, Paltineanu IC. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management

- transition. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 1999, 63: 1825–1829
- [23] Post WM, Emanuel WR, Zinke PJ, Stangenberger AG. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 1982, 298: 156–159
- [24] Schlesinger WH. Evidence from chronosequence studies for a low carbon storage potential of soils. *Nature*, 1990, 348: 232–234
- [25] Rillig MC, Allen MF. What is the role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant-to-ecosystem responses to Elevated CO₂? *Mycorrhiza*, 1999, 9: 1–8
- [26] Comis D. Glomalin: Hiding place for a third of the world's stored soil carbon. *Aust. Farm. J.*, 2004, 14: 64–66
- [27] Wright SF, Franke-Snyder M, Morton JB, Uoadhyaya A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. *Plants and Soil*, 1996, 181: 193–203
- [28] Miller RM, Jastrow JD. Mycorrhizal fungi influence soil structure // Kapulnik Y. *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Dordrecht: Kluwer Academic Press, 2000: 4–18
- [29] González-Chávez MC, Carrillo-González R, Wright SF, Nichols KA. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. *Environmental Pollution*, 2004, 130: 317–323
- [30] Wright SF, Anderson RL. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. *Biol. Fertil. Soils*, 2000, 31: 249–253
- [31] Rillig MC, Steinberg PD. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: A mechanism of habitat modification? *Soil Biol. Biochem.*, 2002, 34: 1371–1374
- [32] Rillig MC, Wright SF, Kimball BA, Pinter PJ, Wall GW, Ottman MJ, Leavitt SW. Elevated carbon dioxide and irrigation effects on water stable aggregates in a Sorghum field: A possible role for arbuscular mycorrhizal fungi. *Global Change Biol.*, 2001, 7: 333–337
- [33] Rillig MC, Wright SF, Shaw MR, Field CB. Artificial climate warming positively affects arbuscular mycorrhizae but decreases soil aggregate water stability in annual grassland. *Oikos*, 2002, 97: 52–58
- [34] Rillig MC, Wright SF, Allen MF, Field CB. Rise in carbon dioxide changes soil structure. *Nature*, 1999, 400: 628
- [35] Borie FR, Rubio R, Morales A, Castillo C. Relationships between arbuscular mycorrhizal hyphal density and glomalin production with physical and chemical characteristics of soils under no-tillage. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 2000, 73: 749–756
- [36] Bedini S, Avio L, Argese E, Giovannetti M. Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 120: 463–466
- [37] Knorr MA, Boerner REJ, Rillig MC. Glomalin content of forest soils in relation to fire frequency and landscape position. *Mycorrhiza*, 2003, 13: 205–210

Advances and Prospect of Study on Role of Bradford Reactive Soil Protein in Soil

NIE Jun^{1,2,3}, ZHOU Jian-min¹, WANG Huo-yan¹, CHEN Xiao-qin¹, DU Chang-wen¹

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*; 2 *Soil and Fertilizer Institute of Hunan, Changsha 410125, China*; 3 *Key field Monitoring Experimental Station for Reddish Paddy Soil Eco-environment in Wangcheng, Ministry of Agriculture of China, Changsha 410125, China*)

Abstract: Since soil Bradford reactive soil protein (BRSP), a soil glycoprotein, was discovered in 1996, its function and role in soil have attracted extensive attention over the world. A brief introduction was presented to the forms and characteristics of BRSP, with emphasis on illustrating the functions of BRSP in stabilizing soil structure, promoting soil materials cycle and sequestering soil potential toxic elements. And factors affecting concentration of soil BRSP were analyzed. Prospects of soil BRSP were discussed as well.

Key words: Bradford reactive soil protein, Soil, Function, Influencing factors