

丛枝菌根真菌和腐殖酸联合作用对矿区沙土改良效应

王义¹, 杨艳², 李少朋³, 刘榕榕³, 毕银丽³

1. 神华神东煤炭分公司环保处, 鄂尔多斯 017100
2. 鄂尔多斯市水利勘察设计院, 鄂尔多斯 017100
3. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083

摘要 针对神东矿区采煤塌陷地土壤不断沙化、植物难以定植的特点, 通过室内盆栽模拟试验, 研究丛枝菌根真菌和腐殖酸联合作用对矿区沙土改良效应。结果表明, 丛枝菌根真菌和腐殖酸联合作用提高了玉米生物量和根系活力。当施加腐殖酸质量分数为 0.05% 时, 菌根与其联合作用对玉米生长和沙土的改良效果最优, 玉米干质量比空白对照组高出 73%, 根际土壤中的有效磷含量和酸性磷酸酶活性分别提高了 30% 和 49%, 玉米根际土壤菌丝密度比空白对照提高了 0.8 m/g, 且根际土壤中微生物数量增加显著。丛枝菌根真菌和腐殖酸联合作用有利于玉米生长, 对退化沙土具有改良效应。

关键词 丛枝菌根真菌; 腐殖酸; 沙土; 改良效应

中图分类号 X171.4

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.07.003

Improvemental Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Humic Acid on Sandy Soil in Shendong Mining Area

WANG Yi¹, YANG Yan², LI Shaopeng³, LIU Rongrong³, BI Yinli³

1. Environmental Protection Office of Shendong Branch Corporation, Erdos 017100, China
2. Erosion Water Survey and Design Institute, Erdos 017100, China
3. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China

Abstract Mining activities have severe deleterious effects on plants and soil fertility that must be ameliorated with additional amendments in order to achieve successful ecological restoration in the Shendong mining area in Shaanxi Province. Pot experiment is set up to investigate combined effects of arbuscular mycorrhizal fungi and humic acid on the mining soil. The results show that the combined effect can improve the maize biomass and root vigor. When humic acid whose concentration is 0.05% is added, the dry weight of maize is 73% higher than the controlled, and the available phosphorus content and acid phosphatase activity are improved by 30% and 49%, respectively, indicating that the improvement effect on maize growth and soil is optimal. The hyphal density in rhizosphere soil of maize is 0.8 m/g higher than that of the controlled, and microorganisms in rhizosphere soil is increased significantly. Combined effects of arbuscular mycorrhizal fungi and humic acid are conducive to maize growth and the degraded soil improvement.

Keywords arbuscular mycorrhizal fungi; humic acid; sand soil; ecological effects

煤炭是中国最主要的能源物质之一, 在能源构成中比例仅次于石油, 在中国社会经济发展中起着不可替代的作用^[1]。目前, 中国煤炭资源主要分布在西部干旱半干旱区, 该区干旱缺水, 土壤沙化严重, 煤炭开采过程中往往会造成地表沉陷, 从而引起植被破坏、地表水分和养分流失、土壤质地

破坏等一系列生态环境问题, 加剧了矿区土壤沙化^[2-5]。采煤造成地表塌陷面积大, 治理成本高, 矿区环境治理需要采用生物方法, 这样更有利于实现矿区生态环境自修复。丛枝菌根真菌能和世界上 90% 以上的有花植物形成互惠互利的共生体^[6], 接种菌根真菌能够促进植物对土壤水分和养分的吸

收稿日期: 2013-12-12; 修回日期: 2014-02-15

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2013AA102904); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAC10B03)

作者简介: 王义, 工程师, 研究方向为矿区环境治理和生态建设, 电子邮箱: wy410@263.net; 毕银丽(通信作者), 教授, 研究方向为矿区废弃地生态治理, 电子邮箱: ylb88@126.com

引用格式: 王义, 杨艳, 李少朋, 等. 丛枝菌根真菌和腐殖酸联合作用对矿区沙土改良效应[J]. 科技导报, 2014, 32(7): 27-32.

收,提高植物的抗逆性,同时菌根真菌分泌的球囊霉素相关蛋白能够改善土壤的团聚性,同时也是土壤碳的一个重要来源^[7-9]。腐殖酸是自然环境中广泛存在的一类高分子物质,是动植物残体通过复杂的生物、化学作用形成的,占土壤和水圈生态体系总有机质的50%~80%^[10]。研究发现,提取的腐殖酸与土壤有机质中腐殖酸具有相似的结构和性质,对土壤的改良作用明显,可改善土壤的团粒结构,使土壤疏松、吸水量增大,既能透气、增温,又能蓄水,促进植物生长发育,提高植物抗逆性,提高作物化肥效果^[11]。随着对腐殖酸结构和作用机理研究不断深入,将腐殖酸与其他物质配合使用是当前一个研究热点,研究表明,腐殖酸和铁、高岭土等配合使用可加速有机污染物的降解^[12,13],添加腐殖酸还可提高植物的产量和品质^[14]。

本研究针对神东矿区采煤塌陷地不断沙化、植物难以定植的特点,将丛枝菌根真菌和腐殖酸联合应用到营养贫瘠的矿区沙土中,研究其联合作用对植物生长的促进作用及对沙土的改良效应,寻找腐殖酸与丛枝菌根真菌联合的最佳浓度,以期实现矿区退化土壤的改良和培肥,为矿区复垦和生态重建提供支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 培养基质

培养基质为矿区风沙土,pH值7.37,电导率0.15 ms/cm,田间持水量6.72%,有效磷3.79 mg/kg,有效钾45 mg/kg,总氮0.33 mg/kg。培养基质过1 mm筛,装盆前高温、高压蒸气灭菌(121℃,2 h),风干备用。

1.1.2 供试作物

供试玉米种子由中国农业科学院种子公司提供,玉米品种为农大CFO24。将60粒饱满的玉米种子在10% H₂O₂中浸泡10 min进行表面消毒,再用蒸馏水冲洗干净,分装于3个培养皿中,25℃恒温培养箱内催芽备用。

1.1.3 供试菌种和腐殖酸

供试菌种为北京市农林科学院植物营养与资源研究所微生物室提供,本实验室增殖培养的内生菌 *Glomus mosseae* 菌剂(简称 *G. m.*)。试验所用腐殖酸从风化煤中提取,由中国矿业大学(北京)黄占斌提供,pH值为2.0~3.0,其中可用腐殖酸的质量浓度为1.21 g/L,总氮(以N计)1.07 g/L,总磷(以P₂O₅计)0.20 g/L,有机质16.6 g/L,硫0.46 g/L。

1.2 试验方法

试验设接菌根真菌(+M)和不接菌(CK)两种处理,不添加腐殖酸组为空白对照组,接菌处理中接菌量为50 g,对照加入等量灭活菌剂。每种处理下设5个亚处理,分别添加不同质量分数的腐殖酸(简称H,下同),质量分数分别为0,0.01%,0.05%,0.10%,0.20%(腐殖酸质量与基质最大持水量的比值),每个亚处理重复4次,共计40盆。

玉米盆栽实验的塑料盆规格为:11 cm(高)×13 cm(盆口直径)×9 cm(盆底直径),每盆装灭菌沙土1200 g,种植前首次浇水按最大持水量浇灌。试验在中国矿业大学(北京)日光温室中进行,每盆玉米定株为2株,各盆施肥水平:以NH₄NO₃、KH₂PO₄、KNO₃为底肥,使N、P、K分别维持在100、25、150 mg/kg,采用称重法维持基质含水量在最大持水量的60%~70%,植物生长90 d后收获测定。

1.3 样品分析及测定

玉米植株生长90 d后,分别收获其地上部与地下部,在100℃烘箱内杀青30 min,然后放入70℃烘箱直至烘干,分别称其干重。电导率(EC)采用电导仪测定,液土比2.5:1。磷含量测定采用磷酸钼锑抗比色法,植物根活性的测定采用α-萘胺法^[15]。磷酸酶活性测定采用改进的Tabatabai和Brimner^[16]方法,微生物数量测定采用稀释平板计数法^[17]。玉米收获时,拣出较细的玉米根系,用水清洗干净,剪成1 cm长根段,混匀后取鲜根测定菌根侵染率^[18],菌丝密度采用网格交叉法测定^[19]。

2 结果与分析

2.1 不同处理的结果与分析

2.1.1 对玉米生物量的影响

接种菌根真菌和施加一定量的腐殖酸有利于玉米生长。在接菌处理中,植物干重随腐殖酸浓度的增加呈抛物线式变化,在腐殖酸质量分数为0.05%时,植物干重达到最大值;不接菌处理中,单一的施加腐殖酸也对玉米生长产生一定影响,不同亚处理间玉米生物量差异较小,但腐殖酸质量分数为0.05%时,玉米植株的生物量达到最大(图1)。对于矿区贫瘠的退化土壤,接种菌根真菌改善了土壤的微环境,玉米根系和真菌之间形成大量的菌丝体,形成了良好的共生关系,促进了玉米根系对土壤中水分和养分的吸收。

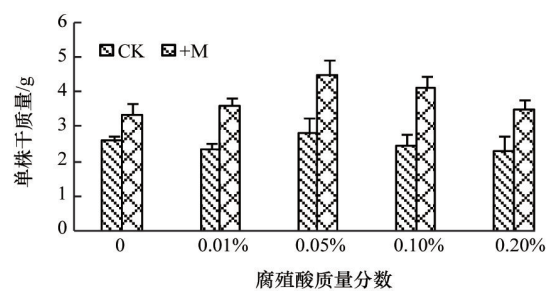


图1 不同处理对植物生长量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on plant biomass

2.1.2 对沙土电导率的影响

供试基质沙土的初始电导率为0.15 ms/cm。从图2可看出,在相同腐殖酸水平下,接菌处理基质的电导率都不同程度地高于未接菌处理。在腐殖酸质量分数为0.05%时,两种处理基质的电导率都达到了最大值,分别为0.225和0.205

ms/cm,比基质初始电导率分别提高了50%和37%。上述现象的原因可能是玉米植株生长过程中,菌根真菌与腐殖酸的联合作用会促使玉米根系分泌各种代谢产物,随着植株的生长,根系分泌物增加,促进盐基离子的释放。

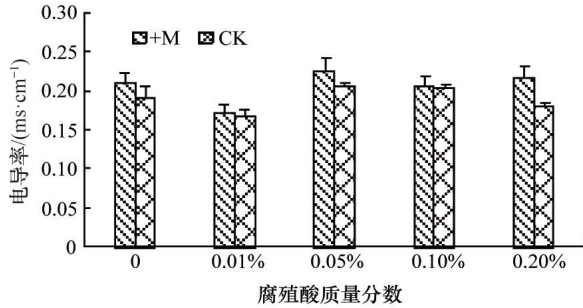


图2 不同处理对沙土电导率的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on electric conductivity of soil

2.1.3 对沙土中酸性磷酸酶活性的影响

土壤磷酸酶是一类催化土壤有机磷化合物矿化的酶,其活性高低直接影响土壤中有机磷的分解转化及其生物有效性。土壤磷酸酶活性可作为指示土壤肥力的指标,接种菌根真菌和施加一定浓度的腐殖酸都可影响根际土壤中酸性磷酸酶的活性。如图3所示,单一添加腐殖酸影响玉米根际土壤中酸性磷酸酶活性,其活性随添加腐殖酸质量分数的增加呈波动性变化,当腐殖酸质量分数为0.05%时,酸性磷酸酶活性达到最大。接种菌根处理土壤中酸性磷酸酶活性都高于对照组,在腐殖酸质量分数为0.05%时,接菌和不接菌处理沙土中的磷酸酶活性都达到最大值,分别比各自的空白对照(不添加腐殖酸组)提高了30%和21%。

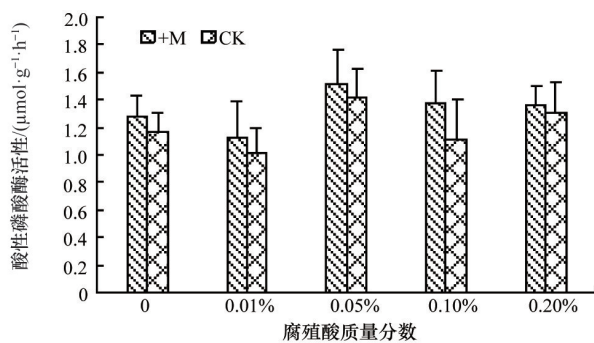


图3 不同处理对沙土中酸性磷酸酶活性的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on activity of acid phosphatase

2.1.4 对沙土中有效磷含量的影响

玉米根际土壤中有效磷含量的变化与酸性磷酸酶活性的变化表现出相似的规律(图4)。在腐殖酸质量分数为0.05%时,接菌处理和不接菌处理的基质中的有效磷含量都达到了最大值,分别为29.5和25.6 mg/kg。在沙土基质中联

合使用腐殖酸和丛枝菌根真菌,可以将沙土中难溶性磷转化为植物能够吸收利用的可溶性磷,增加基质中磷的生物有效性,促进植被的生长和恢复,有利于提高土地的生产力。腐殖酸质量分数为0.05%时,丛枝菌根真菌和腐殖酸联合作用下,基质中的有效磷含量比空白对照的提高了49%。

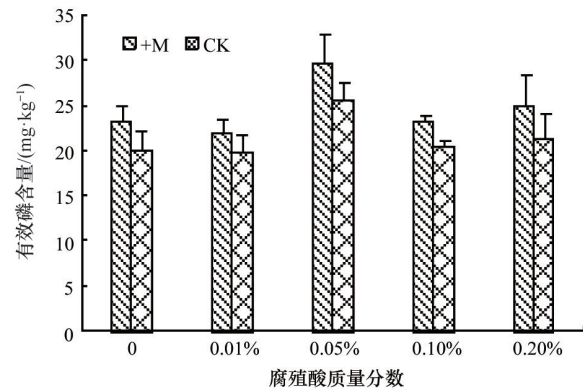


图4 不同处理对沙土中有效磷含量的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on phosphorus concentration of soil

2.1.5 对玉米根系活力的影响

根系活力直接影响植物地上部分的生长、营养状况以及产量,是植物生长的重要生理指标之一。由图5可知,接种菌根处理提高了玉米根系活力。在接菌处理中,添加腐殖酸的亚处理的玉米根系活力高于不加腐殖酸的亚处理,随着腐殖酸质量分数的增加,玉米根系活力表现出抛物线式的发展规律,在腐殖酸质量分数为0.05%时,玉米根系活力达到最大值,比空白对照提高了151%。单一添加腐殖酸也可提高玉米根系活力,在腐殖酸质量分数0.01%~0.10%范围内玉米根系活力显著提高。

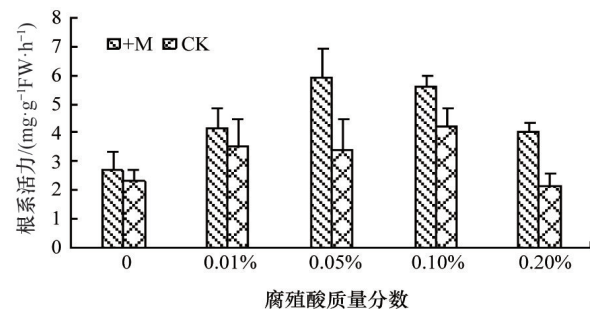


图5 不同处理对根系活力的影响

Fig. 5 Effects of different treatments on root activity

2.1.6 对根际微生物种群数量的影响

土壤微生物是构成土壤肥力的重要因素。不同处理对根际土壤微生物种群数量的影响如表1所示,在相同的腐殖酸水平下,接菌处理基质中微生物种群数量都明显高于未接菌处理。在腐殖酸质量分数为0.05%时,接菌处理基质中的

细菌、放线菌和真菌都达到了最大,分别比空白对照提高了105%,136%和326%。说明丛枝菌根真菌和腐殖酸联合使用

可显著增加土壤微生物种群的数量,提高土壤的生物活性,加速自然土壤向农业土壤的转化,缩短生态重建周期。

表1 不同处理的根际微生物数量
Table 1 Changes of microbe population in different treatments

处理	细菌/(10 ⁵ cfu·g ⁻¹)	放线菌/(10 ⁴ cfu·g ⁻¹)	真菌/(10 ⁴ cfu·g ⁻¹)
0 H(-M)	8.70± 2.40 ^{bc}	4.54± 0.51 ^b	6.64± 1.31 ^c
0.01% H(-M)	5.64± 0.90 ^c	7.40± 1.67 ^{ab}	13.17± 2.64 ^{bc}
0.05% H(-M)	4.91± 0.80 ^c	8.08± 2.19 ^{ab}	9.07± 5.50 ^c
0.10% H(-M)	5.98± 1.12 ^c	5.60± 1.39 ^b	5.96± 2.38 ^c
0.20% H(-M)	5.28± 0.98 ^{bc}	4.48± 0.86 ^b	9.08± 3.54 ^c
0 H(+M)	10.24± 1.61 ^{bc}	4.84± 1.23 ^b	9.32± 2.98 ^c
0.01% H(+M)	6.81± 1.39 ^{bc}	5.20± 1.18 ^b	15.54± 6.17 ^{bc}
0.05% H(+M)	17.83± 1.26 ^a	10.70± 2.78 ^a	28.26± 4.36 ^a
0.10% H(+M)	11.78± 2.65 ^b	7.60± 1.36 ^{ab}	16.38± 3.64 ^{abc}
0.20% H(+M)	10.29± 2.02 ^{bc}	4.89± 0.45 ^b	23.38± 1.47 ^{ab}

注:同一列数字上标的不同字母表示差异达到5%的显著水平。

2.2 接菌处理下腐殖酸亚处理的结果与分析

2.2.1 对玉米根系侵染率的影响

玉米根系侵染率在一定程度上反映了菌根真菌与宿主的亲合程度。本试验中,丛枝菌根真菌和腐殖酸联合使用时,除0.01%亚处理外,玉米根系侵染率均达到93%以上;腐殖酸质量分数为0.05%时,玉米根系侵染率达到98%(图6),说明腐殖酸质量分数为0.05%时,菌根真菌对玉米根系的侵染能力达到最大。

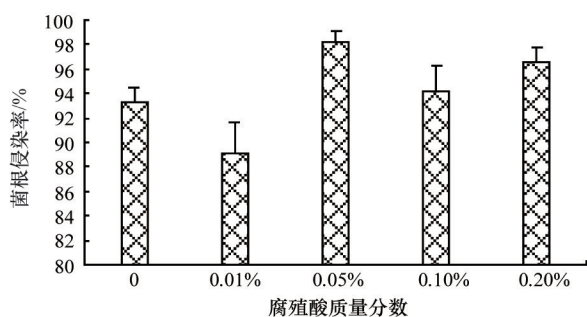


图6 接菌条件下腐殖酸添加量对菌根侵染率的影响

Fig. 6 Effects of the quality fraction of humic acid on mycorrhizal infection rate under inoculation

2.2.2 对沙土基质中根外菌丝密度的影响

菌丝密度反映了菌根在促进植物生长、营养吸收、抗逆性等方面的能力大小。试验结果表明,菌根真菌和腐殖酸联合使用时,除0.01%亚处理外,根际土壤菌丝密度均得到提高,在腐殖酸质量分数为0.05%时,根际土壤菌丝密度达到最大,比空白对照提高了0.8 m/g(图7)。菌丝密度的增加可扩大植物根系的活动空间和作用范围,促进玉米的生长。

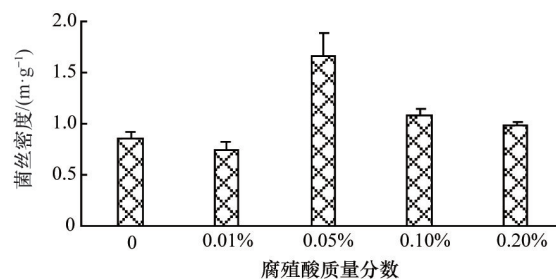


图7 接菌条件下腐殖酸添加量对菌丝密度的影响

Fig. 7 Effects of the quality fraction of humic acid on on hyphal density under inoculation

3 讨论

中国能源分布呈现东多西少的格局,西部干旱半干旱区是中国能源的聚集地,也是中国煤炭资源最主要的供应地^[20]。西部地区由于干旱缺水,植被覆盖率较低,土壤沙化逐年加重^[21]。加之中国煤炭开采94%为井工开采,势必会造成大面积的地表塌陷,产生大量裂缝,造成地表水分流失、植物根系拉伤、土壤质地破坏等一系列生态环境问题,加剧了矿区土壤沙化^[22,23]。针对采煤塌陷区土壤退化,植物难以定植特点,最优方法是采用生物手段改善土壤微环境,从而实现矿区生态环境自修复。

煤炭开采引起地表塌陷造成植物根系损伤是矿区复垦瓶颈所在,加之中国西部矿区干旱缺水独特气候特点,要实现煤炭开采塌陷区生态重建,首先要改善土壤微环境,促进植物根系生长发育。大量研究表明,丛枝菌根真菌在植物群落结构、演替和稳定性方面具有重要的生态学意义^[24]。对于退化土壤来说,丛枝菌根真菌分泌的球囊霉素相关蛋白不但

能改善土壤的团聚性,同时也为土壤提供碳源,改善了土壤微环境^[25]。大量研究表明,腐殖酸具有肥料增效、改良土壤、改善农产品质量和刺激植物根系生长等作用。正常供水条件下,配施腐殖酸显著提高了杨树根、茎、叶和总生物量,并显著提高了杨树氮、磷、钾养分含量^[26,27];姜佰文等^[28]对蔬菜保护地土壤改良发现,添加腐殖酸有利于土壤中磷素的活化;施用腐殖酸生物活性肥料对冬小麦生长和土壤微生物活性具有促进作用,添加腐殖酸提高了土壤中微生物数量和酶活性^[29]。基于丛枝菌根真菌和腐殖酸的独特优点,将丛枝菌根真菌和腐殖酸联合,研究两者的协同效应,这样不但有利于菌根菌剂的生产,而且有利于采煤塌陷区植被的恢复。

研究表明,本试验所选的丛枝菌根真菌和宿主植物有很好共生关系,宿主植物玉米根系侵染率都在80%以上,且根际土壤菌丝密度较高,当质量分数为0.05%腐殖酸和丛枝菌根真菌协同作用时,玉米根系侵染率和根际土壤菌丝密度分别达到最大值。这也说明所选的丛枝菌根真菌对矿区退化的土壤具有较好的适应性,产生的菌丝扩大了植物根系的延展空间和作用范围,具有促进植株营养和水分吸收的潜力,促进了宿主植物生长。李焱^[30]研究丛枝菌根真菌和腐殖酸对樱桃番茄产量和品质的影响,二者协同增加了果实中的可溶性固形物、可溶性糖和可滴定酸的含量。丛枝菌根真菌和腐殖酸联合作用改善了土壤微环境,提高了土壤酸性磷酸酶活性和有效磷的释放。腐殖酸的存在促进了宿主植物根系的生长,在和丛枝菌根真菌协同作用下,显著提高了玉米根系活力,根系活力代表着根系的生长情况和代谢水平,直接影响植物地上部分的生长和营养状况以及产量,这也是协同处理玉米生物量大于对照组的原因所在。植物根际是一个很特别的微区域,它由于植物根系的影响,使其周围的微域在物理、化学和生物方面更加适应微生物的生长。通过土壤微生物的代谢活动,可以促进土壤的形成和发育,改变土壤的理化性质。本试验表明菌根真菌和腐殖酸的协同效应明显,其联合应用能显著提高退化土壤中细菌、真菌和放线菌数量,增加基质中的生物多样性,有利于采煤塌陷区复垦和生态重建。

4 结论

1) 丛枝菌根真菌和腐殖酸的联合应用显著促进了玉米的生长,有效提高菌根的侵染能力,提高基质中的菌丝密度。在腐殖酸质量分数为0.05%时,促进作用更加明显。

2) 丛枝菌根真菌和腐殖酸的联合应用可以显著提高沙土电导率及有效磷含量,增强基质中酸性磷酸酶的活性,增加植物根系活力,提高基质中难溶性磷的利用率,显著提高沙土中细菌、真菌和放线菌数量。

3) 腐殖酸和丛枝菌根真菌的联合效应对沙土基质具有一定改良效应,适合在西部矿区采煤塌陷地应用,但腐殖酸和丛枝菌根真菌联合应用的作用机理及更细致的应用条件还需进一步探索。

参考文献 (References)

- 钱鸣高. 对中国煤炭工业发展的思考[J]. 中国煤炭, 2005(6): 5-10.
Qian Minggao. Thinking on the development of coal industry in China [J]. China Coal, 2005(6): 5-10.
- 王双明, 黄庆享, 范立民, 等. 生态脆弱矿区含(隔)水层特征及保水开采分区研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(1): 7-14.
Wang Shuangming, Huang Qingxiang, Fan Limin, et al. Study on overburden aquiclude and water protection mining regionization in the ecological fragile mining area [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(1): 7-14.
- 张发旺, 赵红梅, 宋亚新, 等. 神府东胜矿区采煤塌陷对水环境影响效应研究[J]. 地球学报, 2007, 28(6): 521-527.
Zhang Fawang, Zhao Hongmei, Song Yaxin, et al. The effects of coal-mining subsidence on water environment in the Shenfu-Dongsheng mining area [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2007, 28(6): 521-527.
- Parrotta J A, Knowles O H. Restoring tropical forests on lands mined for bauxite: Examples from the Brazilian Amazon [J]. Ecological Engineering, 2001, 17(2): 219-239.
- 李少朋, 毕银丽, 陈晔圳, 等. 外源钙与丛枝菌根真菌协同对玉米生长的影响与土壤改良效应[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 109-116.
Li Shaopeng, Bi Yinli, Chen Peizhen, et al. Effects of AMF cooperating with exogenous calcium on maize growth and soil improvement [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(1): 109-116.
- 刘润进, 李晓林. 丛枝菌根生态生理[M]. 北京: 华文出版社, 2001: 345-358.
Liu Runjin, Li Xiaolin. Arbuscular mycorrhizal ecology of physiological [M]. Beijing: Sino-Culture Press, 2001: 345-358.
- Rillig M C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation [J]. Canadian Journal of Soil Science, 2004, 84(4): 355-363.
- 田慧, 刘晓蕾, 盖京苹. 球囊霉素及其作用研究进展[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1215-1219.
Tian Hui, Liu Xiaolei, Gai Jingping. Review of glomalin-related soil protein and its function [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2009, 40(5): 1215-1219.
- 贺学礼, 陈程, 何博. 北方两省农牧交错带沙棘根围AM真菌与球囊霉素空间分布[J]. 生态学报, 2011, 31(6): 1653-1661.
He Xueli, Chen Cheng, He Bo. Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin of *Hippophae rhamnoides* L. in farming-pastoral zone from the two northern provinces of China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(6): 1653-1661.
- Hideko K, Naoki K, Yoshikazu H. Contribution of soil constituents in adsorption coefficient of aromatic compounds halogenated salicylic and aromatic compounds to soil [J]. Chemosphere, 1990, 21(7): 867-876.
- 牛育华, 李仲谨, 郝明德, 等. 腐殖酸的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(11): 4638-4651.
Niu Yuhua, Li Zhongjin, Hao Mingde, et al. Research development of humic acid [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2008, 36(11): 4638-4639.
- 王新颖, 孙霞, 张耀斌, 等. 腐殖酸和铁对阿特拉津光降解影响的研究[J]. 环境工程学报, 2012, 6(1): 81-86.
Wang Xinying, Sun Xia, Zhang Yaobin, et al. Effects of humic acid and iron on photodegradation of atrazine [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(1): 81-86.
- 吴运松, 封莉, 张立秋. 高岭土与腐殖酸对混凝过程中药物去除效能

- 的影响[J]. 环境工程学报, 2013, 7(7): 2501-2505.
- Wu Yunsong, Feng Li, Zhang Liqiu. Influences of kaolin and humic acid on removal of pharmaceuticals in coagulation processes[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(7): 2501-2505.
- [14] 张喜峰, 张立新, 高梅, 等. 不同氮肥形态和腐殖酸对陕西典型生态区烟叶化学成分和产质量的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(6): 60-67.
- Zhang Xifeng, Zhang Lixin, Gao Mei, et al. Effects of different nitrogen fertilizer types and humic acid (HA) on chemical composition, yield and quality of flue-cured tobacco traits in typical ecological zones of Shaanxi Province[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2013, 22(6): 60-67.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 81-87.
- Bao Shidan. Handbook of analysis of soil and agricultural chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1999: 81-87.
- [16] 赵兰坡, 姜岩. 土壤磷酸酶活性测定方法的探讨[J]. 土壤通报, 1986, 17(3): 138-142.
- Zhao Lanpo, Jiang Yan. Discussion on measurement methods of soil phosphatase activity[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1986, 17(3): 138-142.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science. Methods of soil microbiology research[M]. Beijing: Science Press, 1985.
- [18] Compiled by Microorganism Laboratory of Nanjing Institute of Soil Sciences, China Academy of Sciences. Study of soil microorganism [M]. Beijing: Science Press, 1985.
- [19] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Transactions British Mycological Society, 1970, 55(1): 158-161
- [20] 王显政. 中国煤炭工业面临的机遇与挑战[J]. 山西能源与节能, 2010 (5): 4-6.
- Wang Xianzheng. The opportunities and challenges of China's coal industry[J]. Shanxi Energy and Conservation, 2010(5): 4-6.
- [21] 张平仓, 王文龙, 唐克丽, 等. 神府一东胜矿区采煤塌陷及其对环境的影响初探[J]. 水土保持研究, 1994, 4(1): 35-44.
- Zhang Pingcang, Wang Wenlong, Tang Keli, et al. Study on the coal mining subsidence and its effect on environment in Shenfu-Dongsheng coal area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 1994, 4(1): 35-44.
- [22] 孙海运, 李新举, 胡振琪, 等. 马家塔露天矿区复垦土壤质量变化[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 205-209.
- Sun Haiyun, Li Xinju, Hu Zhenqi, et al. Variance of reclamation soil quality in Majiata opencast mine region[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 205-209.
- [23] 范钢伟, 张东升, 马立强. 神东矿区浅埋煤层开采覆岩移动与裂隙分布特征[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(2): 196-201.
- Fan Gangwei, Zhang Dongsheng, Ma Liqiang. Overburden movement and fractured distribution induced by longwall mining of the shallow coal seam in the Shendong coal field[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2011, 40(2): 196-201.
- [24] Rilling M C, Wright S F, Nichols K A, et al. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils [J]. Plant and Soil, 2001, 233(2): 167-177.
- [25] 黄艺, 王东伟, 蔡佳亮, 等. 球囊霉素相关土壤蛋白根际环境功能研究进展[J]. 植物生态学报, 2011, 35(2): 232-236.
- Huang Yi, Wang Dongwei, Cai Jialiang, et al. Review of glomalin-related soil protein and its environmental function in the rhizosphere [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2011, 35(2): 232-236.
- [26] 张敬敏, 邢尚军, 桑茂鹏. 不同水分下腐殖酸对杨树生理生化特性和生长的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6): 200-203.
- Zhang Jingmin, Xing Shangjun, Sang Maopeng. Effect of humic acid on poplar physiology and biochemistry properties and growth under different water level[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(6): 200-203.
- [27] 王岚岚, 陈小苗, 董燕燕, 等. 腐殖酸对金华佛手生长和品质的影响 [J]. 浙江农业学报, 2010, 22(2): 229-233.
- Wang Lanlan, Chen Xiaomiao, Dong Yanyan, et al. Effects of humic acid on the growth and quality of *Citrus medica*[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2010, 22(2): 229-233.
- [28] 姜佰文, 姜佳琦, 陈晓武, 等. 草酸和腐殖酸对蔬菜保护地土壤磷素活化效果研究[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(2): 23-27.
- Jiang Baiwen, Jiang Jiaqi, Chen Xiaowu, et al. Study on oxalic acid and humic acid for vegetable protected soil phosphorus activation[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2013, 44(2): 23-27.
- [29] 毕军, 夏光利, 毕研文, 等. 腐殖酸生物活性肥料对冬小麦生长及土壤微生物活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 99-103.
- Bi Jun, Xia Guangli, Bi Yanwen, et al. Effect of humic bioactive fertilizer on winter wheat and soil microbial activity[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(1): 99-103.
- [30] 李焱. 菌根真菌和腐植酸有机肥对樱桃番茄产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2009, 21(8): 95-97.
- Li Yan. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on yield and quality of cherry tomato under humic acid[J]. Northern Horticulture, 2009, 21(8): 95-97.

(责任编辑 王媛媛)

《科技导报》“卷首语”栏目征稿

“卷首语”栏目每期邀请一位中国科学院院士和中国工程院院士就重大科技现象、事件,以及学科发展趋势、科学研究热点和前沿问题等,撰文发表个人的见解、意见和评论。本栏目欢迎院士投稿,每篇文章约2000字,同时请提供作者学术简历、工作照和签名电子文档。投稿邮箱:kjdbbjb@cast.org.cn。