

地表裂缝对油蒿根际生物活性的影响及其动态演变特征

杜涛, 毕银丽

中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083

摘要 以裂缝未经过的油蒿为对照, 利用统计分析方法系统研究了神东矿区补连塔煤矿有裂缝经过的油蒿根际微生物数量和酶活性的动态演变特征, 以了解煤炭开采引起的地表裂缝对油蒿根际生物活性的影响, 为采煤沉陷区的生态修复提供理论依据。结果表明, 地表裂缝出现后, 油蒿根际细菌、放线菌的数量减少, 真菌的数量增加, 酶的活性提高, 土壤含水量和电导率下降, 地表裂缝对油蒿根际的生物活性造成明显的干扰破坏。经过一年多的时间, 随着地表裂缝的逐渐闭合, 油蒿根际土壤含水量恢复正常, 电导率、蔗糖酶活性和磷酸酶活性受地表裂缝的影响逐渐减弱, 而微生物数量受地表裂缝的影响未见明显好转。可见, 油蒿根际的生物活性具有一定的自修复能力, 但进程比较缓慢。

关键词 地表裂缝; 微生物数量; 酶活性; 根际; 油蒿

中图分类号 X171

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.18.005

Effects of Surface Cracks on Microorganisms Quantity and Enzyme Activities in the Rhizosphere of *Artemisia ordosica* and Its Dynamic Evolution Characteristics

DU Tao, BI Yinli

College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China

Abstract In contrast with those *Artemisia ordosica* which does not been passed through by the cracks caused by underground coal mining in Shendong mining area, Bulianta coal mine, the dynamic evolution characteristics of microorganisms quantity and enzyme activities of soil in the rhizosphere of *A. ordosica* passed through by the cracks are analyzed by using statistical analytical method. The results show that after the surface cracks appeared, the number of bacteria and actinomyces in the rhizosphere of *A. ordosica* is reduced, the number of fungi and the activity of enzyme are increased, the amounts of water content and electric conductivity are decreased, therefore the interferences of surface cracks on the biological activity in the rhizosphere of *A. ordosica* are quite obvious. After more than a year, with surface cracks gradually close, the content of soil water gradually returned to the normal, the effects of surface cracks on phosphatase activity, sucrase activity, and electric conductivity are gradually weakened, while the effect of surface cracks on the number of microorganisms does not change obviously. Nevertheless, the biological activity in the rhizosphere of *A. ordosica* possesses certain self-repair ability; however the complete recovery of biological activity might take a longer time.

Keywords surface crack; microbial quantity; enzymatic activity; rhizosphere; *Artemisia ordosica*

0 引言

根际是指直接受植物根系影响的土壤区域, 其范围一般是围绕根面 1 至数毫米^[1,2], 它是水分和矿物质养分进入根系、参

与生物循环的门户, 同时也是根系自身活动与代谢过程对土壤影响最直接、最强烈的区域^[3,4], 是植物在其生长、吸收、分泌过程中形成的物理、化学、生物学性质不同于原土体的、复杂

收稿日期: 2013-02-17; 修回日期: 2013-03-13

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAC10B03); 教育部高等学校博士点基金项目(20090023110009); 神华科技创新项目(SHGF-20-22)

作者简介: 杜涛, 博士研究生, 研究方向为土地复垦与生态重建, 电子信箱: duguo_dutao@sina.com; 毕银丽(通信作者), 教授, 研究方向为微生物(主要是菌根)矿区生态重建, 电子信箱: ylb88@126.com

的、动态的微型生态系统^[5]。微生物是土壤有机组分和生态系统中最活跃的部分,在土壤形成、肥力演变、植物养分有效化和土壤结构形成与改良、有毒物质降解及净化等方面起着重要作用^[1],是最敏感的土壤质量生物学指标^[6]。酶活性不仅可以指示土壤肥力状况、重金属污染状况、生物化学活性及其动态变化,对管理措施、自然和人为干扰也有敏感响应,在较短时间内就能反映出土壤质量的变化^[7]。土壤是植物赖以生存、发展和繁衍的物质基础,土壤性状的改变可导致植物群落类型的改变^[8]。目前,对于根际微生物和酶活性的研究已经取得了诸多成果^[6,9],但关于煤炭开采对植物根际微生境影响的研究却十分少见。

神府东胜矿区(简称神东矿区)是中国现已探明储量最大的煤田,也是世界七大煤田之一,位于晋陕蒙接壤区、陕西省榆林市北部和内蒙古自治区鄂尔多斯市南部之间,是毛乌素沙地与黄土丘陵区的复合过渡地带。地貌类型主要为风沙丘陵和黄土丘陵,地表为流动沙及半固定沙覆盖。气候类型属典型的半干旱、半沙漠的高原大陆性气候,气候干旱,蒸发量大,平均海拔高度为 1200m,年均气温 6~8℃,年均降水量 194.7~531.6mm,年均蒸发量 2297.4~2838.7mm。降水主要集中在 7~9 月,约占全年降水量的 66.8%。土壤以风沙土为主,机械组成粗,易遭受流水侵蚀和风蚀。土壤贫瘠,缺氮少磷,有机质含量低。植被稀少,盖度低,生态环境恶劣。而煤炭开采引发地表沉陷、裂缝等次生地质灾害,严重威胁当地的生态安全。因此,深入系统地探寻煤炭开采对生态环境的破坏机理,探索土地退化的内在机制,对于矿区的土地复垦和生态重建具有重要的理论意义和现实意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区为神东矿区补连塔煤矿 12406 工作面地上的一个 80m×50m 的区域,主要植物有人工种植的杨树、沙柳和野生的油蒿、沙竹、沙米等,植被覆盖率低。研究区土壤基本理化性状:pH7.19,电导率 111μS/cm,质量含水量 4.22%,全钙 8.78g/kg,全钾 6.67g/kg,全磷 0.44g/kg,砂粒 89.43%,粉粒 7.59%,黏粒 2.99%。根据陕西省土壤养分分级标准^[10]可知,全磷、全钾含量均属“4 级”较低水平。

1.2 样品采集

供试植物为当地自然生长的油蒿(*Artemisia ordosica*),属菊科蒿属,为多年生半灌木,是干旱区常见固沙物种。2011 年 6 月,在研究区地下煤炭开采使地表出现大量长短不一、大小不等的裂缝后,按照对角线和随机相结合的原则,选取有裂缝经过的同等大小的油蒿 5 株(简称油蒿裂),按照相同原则选取没有裂缝经过的同等规格的油蒿 5 株作对照(简称 CK 油蒿)。油蒿样本的选择标准为:株高 0.6~0.8m,冠幅 0.7~0.9m。动态开采裂缝的选择标准为:宽约 1.5cm,长约 2~5m。

采集土壤样本时,首先除去地表枯叶,然后在 0~20cm 深度多点采集紧贴油蒿根系的根际土和距离根系 20cm、同等深

度的非根际土。对于裂缝经过的油蒿,在靠近裂缝的一侧采集土壤样本。采集时间为 2011 年 6 月和 9 月、2012 年 5 月和 9 月。土样采集后立即装入无菌封口塑料袋内,低温冷藏并迅速带回实验室。一部分新鲜土样过 2mm 筛,置于 4℃冰箱内保存,用于测定土壤微生物数量和酶活性;另一部分土样在室内自然风干,过 1mm 筛,用于测定土壤理化性质。

1.3 测定方法

土壤微生物数量的测定采用常规的稀释平板法^[11],其中,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌采用改良高氏 1 号培养基,真菌采用孟加拉红培养基。酸性磷酸酶活性测定采用改进的 Tabatabai & Brimmer 法^[12],酶活性用酚 mg/g(37℃,1h)表示;脲酶活性测定采用改进的苯酚-次氯酸钠比色法(选择 5%的底物浓度、pH6.7 的柠檬酸盐缓冲液、培养 24h 后再经 2mol/L KCl 溶液浸提过滤)^[13,14],酶活性用 NH₃-N mg/g(37℃,24h)表示;蔗糖酶活性的测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[14],酶活性用葡萄糖 mg/g(37℃,24h)表示。pH 值、电导率的测定采用去离子水浸泡法(水土比为 2.5:1.0),土壤含水量测定采用烘干法^[15]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据的基础处理,采用 DPS v7.05 统计软件进行差异显著性分析,采用 SPSS 17.0 统计软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 地表裂缝对油蒿根际微生物数量的影响

微生物在自然环境中主要扮演分解者的角色,在生态系统乃至整个生物圈的能量流动、物质循环和养分转化等方面发挥着独特和不可替代的作用^[1]。裂缝未经过和经过的油蒿根际微生物区系中(表 1),细菌数量最多,占微生物总数的 80%~90%;放线菌次之,占微生物总数的 8%~20%;真菌数量最少,不到微生物总数的 0.2%。这与当地土壤为中性,细菌及放线菌在中性-弱碱性土壤中容易繁殖,而真菌在弱酸性、中酸性土壤中发育良好^[16]有关。

地表裂缝出现后(2011 年 6 月),与裂缝未经过的油蒿相比,裂缝经过的油蒿根际细菌和放线菌数量分别下降 4%和 7%,差异均不显著($P<0.05$),而真菌数量上升了 73%,差异显著($P<0.05$)。可见,地表裂缝对油蒿根际细菌和放线菌数量的影响较弱,对真菌数量的影响较强。这与地表裂缝引起土壤内部水、热、气、肥等条件的改变,细菌、放线菌、真菌的生活习性各不相同,以及油蒿本身的特性等均有一定的关系。

从时间效应看,与裂缝未经过的油蒿相比,2011 年 6 月—2012 年 9 月裂缝经过的油蒿根际细菌数量的下降幅度分别为 4%、3%、8%、22%,放线菌数量的下降幅度分别为 7%、18%、6%、51%,真菌数量的上升幅度分别为 73%、56%、10%、-24%。

可见,经过一年多的时间,裂缝经过的油蒿根际细菌数量下降幅度有所增大,放线菌数量下降幅度的变化趋势不明,

真菌数量上升幅度有所减小。因此,虽然油蒿根际微生物数量随季节的变化呈现一定的周期性波动,但地表裂缝对油蒿根际细菌、放线菌数量的影响远未消除,对真菌数量的影响

有所减弱。其原因可能是地表裂缝的表象愈合并不意味着油蒿根际水、热、气、肥等条件,即根际微生境的完全恢复,微生物活性的完全恢复可能需要更长的时间。

表 1 地表裂缝对油蒿根际微生物数量的影响 ($n=5$)

Table 1 Effects of surface cracks on the microbial quantities in the rhizosphere of *A. ordosica* ($n=5$)

取样时间	放线菌/(10^4 cfu·g $^{-1}$)		真菌/(10^2 cfu·g $^{-1}$)		细菌/(10^5 cfu·g $^{-1}$)	
	CK 油蒿	油蒿裂	CK 油蒿	油蒿裂	CK 油蒿	油蒿裂
2011-06	156±30 ^a	144±22 ^a	84±21 ^{cd}	146±28 ^a	117±6 ^a	112±22 ^a
2011-09	96±6 ^b	78±3 ^b	81±11 ^d	127±27 ^{ab}	87±15 ^{bc}	85±9 ^{cd}
2012-05	163±10 ^a	152±11 ^a	124±27 ^{abc}	137±23 ^{ab}	120±6 ^a	110±11 ^{ab}
2012-09	151±21 ^a	73±3 ^b	128±22 ^{ab}	98±22 ^{bcd}	62±19 ^{bc}	48±12 ^c

注: 1) \pm 前后的数据分别为平均值和标准差; 2) 同类指标数据后不同字母表示在 0.05 水平上差异显著(下表同)。

Notes: 1) Data both before and after the \pm represent mean and standard errors, respectively; 2) Different letters of a, b, c, et al after the data of a same indicator represent significant difference at the level of 0.05 (same below).

2.2 地表裂缝对油蒿根际酶活性的影响

土壤酶活性是灵敏可靠的土壤生物活性指标和土壤肥力指标,蔗糖酶可反映土壤呼吸强度状况,脲酶可反映土壤有机氮转化状况,磷酸酶活性可反映土壤有机磷转化状况^[14]。与裂缝未经过的油蒿相比(表 2),2011 年 6 月裂缝经过的油蒿根际蔗糖酶活性提高 21%,脲酶活性提高 115%,磷酸酶活性提高 13%,蔗糖酶、脲酶活性的差异显著($P<0.05$)。可见,地表裂缝对油蒿根际蔗糖酶、脲酶的活性具有显著影响,对磷酸酶活性影响不显著。这可能是地表裂缝引起土壤内部水、热、气、肥等条件的改变刺激了土壤酶活性或者刺激了植物根系分泌作用,使

土壤酶活性增强,而不同土壤酶的反应程度又有所不同。

从时间效应看,与裂缝未经过的油蒿相比,2011 年 6 月—2012 年 9 月裂缝经过的油蒿根际蔗糖酶活性的提高幅度分别为 21%、-27%、-10%、-7%;磷酸酶活性的提高幅度分别为 13%、-16%、-9%、-4%;脲酶活性的提高幅度分别为 115%、-18%、-6%、12%。可见,经过一年多的时间,裂缝经过的油蒿根际蔗糖酶活性和磷酸酶活性提高幅度逐渐减小,脲酶活性提高幅度的变化趋势不明。说明随着地表裂缝的逐渐闭合,油蒿根际的微生境得到一定程度的恢复,地表裂缝对油蒿根际蔗糖酶活性和磷酸酶活性的影响逐渐减弱。

表 2 地表裂缝对油蒿根际酶活性的影响 ($n=5$)

Table 2 Effects of surface cracks on enzymatic activity in the rhizosphere of *A. ordosica* ($n=5$)

取样时间	蔗糖酶/(葡萄糖 mg·g $^{-1}$)		脲酶/(NH $_3$ -N mg·g $^{-1}$)		磷酸酶/(酚 mg·g $^{-1}$)	
	CK 油蒿	油蒿裂	CK 油蒿	油蒿裂	CK 油蒿	油蒿裂
2011-06	17.71±3.11 ^{bc}	21.47±0.04 ^a	0.132±0.04 ^e	0.284±0.04 ^a	4.31±0.49 ^b	4.88±0.13 ^b
2011-09	22.39±0.75 ^a	16.44±1.57 ^c	0.255±0.06 ^{ab}	0.209±0.04 ^{bcd}	4.5±0.75 ^b	3.8±0.16 ^b
2012-05	17.38±2.25 ^c	15.69±1.73 ^c	0.225±0.04 ^{abc}	0.21±0.03 ^{bcd}	4.98±0.80 ^b	4.51±0.75 ^b
2012-09	21.8±0.95 ^a	20.28±0.96 ^{ab}	0.156±0.02 ^{de}	0.174±0.01 ^{cde}	8.4±1.85 ^a	8.07±0.45 ^a

2.3 地表裂缝对油蒿根际土壤理化性状的影响

土壤水分、电导率、酸碱度都是土壤肥力的重要指标。土壤水分对土壤中矿物风化、腐殖质合成与分解、土壤养分释放、形态转化和移动等均具有显著的影响^[16]。土壤酸碱度不仅直接影响着土壤中养分元素的存在形态、有效性及迁移转化过程,还影响土壤微生物的数量、组成和活性^[17,18]。与裂缝未经过的油蒿相比(表 3),2011 年 6 月裂缝经过的油蒿根际土壤含水量下降了 24%,电导率下降了 12%,差异均不显著($P<0.05$),而 pH 值基本不变。原因可能是地表裂缝的形成加剧了

土壤水分的蒸发散失,降低了土壤有机质的降解速率,使土壤电导率降低。

从时间效应看,与裂缝未经过的油蒿相比,2011 年 6 月—2012 年 9 月裂缝经过的油蒿根际土壤含水量的降低幅度分别为 24%、0%、-1%、-5%,电导率降低幅度分别为 12%、14%、9%、8%,pH 值基本没有变化。可见,经过一年多的时间,裂缝经过的油蒿根际土壤含水量已恢复正常,电导率降低幅度也逐渐减小。因此,随着地表裂缝的逐渐闭合,地表裂缝对油蒿根际土壤含水量的影响逐步消除,对电导率的影响逐渐减弱。

表 3 地表裂缝对油蒿根际土壤理化性状的影响 ($n=5$)Table 3 Effects of surface cracks on physical and chemical properties of soil in the rhizosphere of *A. ordosica* ($n=5$)

取样时间	含水量/%		pH 值		电导率/ $(\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1})$	
	CK 油蒿	油蒿裂	CK 油蒿	油蒿裂	CK 油蒿	油蒿裂
2011-06	6.01±1.00 ^{ab}	4.59±0.68 ^b	7.71±0.04 ^a	7.71±0.02 ^a	132±22 ^{bcd}	117±8 ^{cd}
2011-09	2.73±0.28 ^c	2.74±0.35 ^c	7.23±0.02 ^b	7.22±0.01 ^b	132±30 ^{bcd}	114±8 ^d
2012-05	5.96±1.18 ^{ab}	5.99±0.90 ^{ab}	7.05±0.09 ^c	7.05±0.06 ^c	170±32 ^a	156±22 ^{ab}
2012-09	5.89±1.04 ^{ab}	6.19±1.29 ^a	7.06±0.07 ^c	7.0±0.05 ^c	164±21 ^{ab}	150±10 ^{abc}

2.4 相关性分析

油蒿根际细菌数量和放线菌数量之间极显著相关 (表 4), 这与细菌和放线菌对地表裂缝的反应基本一致、对土壤酸碱度的适应性基本一致相符。油蒿根际细菌数量与土壤

pH 值之间显著相关, 这与有关学者^[17,18]的研究结果一致, 说明土壤酸碱度影响土壤微生物的数量、组成和活性。油蒿根际磷酸酶活性与脲酶活性之间显著负相关, 与细菌数量之间极显著负相关, 其内在机理有待进一步研究。

表 4 相关性分析 ($n=120$)Table 4 Pearson correlations analyses ($n=120$)

	细菌	真菌	放线菌	蔗糖酶	脲酶	磷酸酶	含水量	pH 值
真菌	0.133							
放线菌	0.548**	0.255						
蔗糖酶	-0.293	-0.066	-0.133					
脲酶	0.201	0.319	-0.061	0.330				
磷酸酶	-0.669**	-0.048	-0.088	0.326	-0.433*			
含水量	-0.014	0.063	0.438*	-0.129	-0.341	0.355		
pH	0.464*	-0.076	0.220	0.119	0.139	-0.445*	-0.127	
电导率	-0.074	0.055	0.302	0.113	0.012	0.207	0.421*	-0.455*

注: ** 表示在 0.01 水平上相关性显著, * 表示在 0.05 水平上相关性显著。

Notes: ** represents that the correlation is significant at the level of 0.01, * represents that the correlation is significant at the level of 0.05.

3 讨论

土壤微生物和酶活性共同推动着土壤生化过程和物质循环, 对土壤质量变化比较敏感^[7]。煤炭开采使地表出现裂缝后, 土壤内部水分的蒸发散失, 外部空气、热量的侵入, 以及土壤结构的重构, 打破了油蒿根际土壤原有的水、气、热、肥的平衡, 使油蒿根际土壤的理化性状发生改变。研究表明, 地表裂缝出现后, 油蒿根际土壤含水量下降, 电导率降低。同时, 地表裂缝对油蒿根系造成的拉伤等伤害引起植物的应激性反应, 使根系分泌物的种类、数量发生改变。而油蒿根际土壤理化性状的变化以及根系分泌物的变化造成油蒿根际微环境的改变, 进而引起油蒿根际微生物和酶活性的适应性变化。研究表明, 地表裂缝出现后, 油蒿根际细菌和放线菌的数量减少, 真菌的数量增加, 蔗糖酶、磷酸酶、脲酶的活性均升高。可见, 在开采扰动初期, 煤炭开采对根际微生境的干扰破坏是明显的。

随着地表裂缝的逐渐闭合, 地表裂缝对油蒿根际微生境的干扰破坏从表象上看似乎得以逐渐消除。研究表明, 经过一年多的时间, 油蒿根际土壤含水量恢复正常, 电导率、蔗糖酶活性、磷酸酶活性受地表裂缝的影响逐渐减弱。但油蒿根

际微生物数量的恢复缓慢, 表明油蒿根际微生境还没有完全恢复, 其机理有待进一步的深入探讨。生态脆弱区生态自我恢复的进程是比较缓慢的。

4 结论

(1) 地表裂缝减少了油蒿根际细菌、放线菌的数量, 增加了真菌的数量, 提高了油蒿根际蔗糖酶、磷酸酶、脲酶的活性, 降低了油蒿根际土壤含水量、电导率。因此, 地表裂缝对油蒿根际的生物活性造成了明显的干扰破坏。

(2) 随着地表裂缝的逐渐闭合, 油蒿根际蔗糖酶活性、磷酸酶活性逐渐恢复, 微生物数量缓慢恢复, 土壤含水量恢复正常。因此, 油蒿根际的生物活性具有一定缓慢自修复能力。

参考文献 (References)

- [1] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
Yao Huaiying, Huang Changyong. Soil microbial ecology and experiment technology[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [2] 王延平, 王华田, 谭秀梅, 等. 杨树人工林品种更替连作与非更替连作根际效应的比较[J]. 生态学报, 2010, 30(5): 1379-1389.

- Wang Yanping, Wang Huatian, Tan Xiumei, et al. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(5): 1379-1389.
- [3] Lee K K, Wani S P, Sahrawat K L, et al. Nitrogen and /or phosphorus fertilization effects on organic carbon and mineral contents in the rhizosphere of field grown sorghum[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1997, 43(1): 117-126.
- [4] 张学利, 杨树军, 刘亚萍, 等. 章古台固沙林主要树种根际土壤性质研究[J]. *中国沙漠*, 2004, 24(1): 72-76.
Zhang Xueli, Yang Shujun, Liu Yaping, et al. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(1): 72-76.
- [5] 周志宇, 朱宗元, 刘钟玲, 等. 干旱荒漠区受损生态系统的恢复重建与可持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
Zhou Zhiyu, Zhu Zongyuan, Liu Zhongling, et al. *Arid desert region the restoration and reconstruction of damaged ecosystems and sustainable development*[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [6] 陆雅海, 张福锁. 根际微生物研究进展[J]. *土壤*, 2006, 38(2): 113-121.
Lu Yahai, Zhang Fusuo. *Soils*, 2006, 38(2): 113-121.
- [7] Tscheko D, Kandeler E, Bárdossy A. Fuzzy classification of microbial biomass and enzyme activities in grassland soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(7): 1799-1808.
- [8] 单贵莲, 初晓辉, 田青松, 等. 典型草原恢复演替过程中土壤性状动态变化研究[J]. *草业学报*, 2012, 21(4): 1-9.
Shan Guilian, Chu Xiaohui, Tian Qingsong, et al. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(4): 1-9.
- [9] 万忠梅, 吴景贵. 土壤酶活性影响因子研究进展 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2005, 33(6): 87-92.
Wan Zhongmei, Wu Jinggui. *Journal of Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry: Nature Science Edition*, 2005, 33(6): 87-92.
- [10] 陕西土壤普查办公室. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- Shaanxi Soil Census Office. *Shaanxi soils* [M]. Beijing: Science Press, 1992.
- [11] 沈萍, 范秀容, 李广斌. 微生物学实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
Shen Ping, Fan Xiurong, Li Guangbin. *Microbiology experiment* [M]. Beijing: Higher Education Press, 1999.
- [12] 赵兰坡, 姜岩. 土壤磷酸酶活性测定方法探讨[J]. *土壤通报*, 1986, 17(3): 138-142.
Zhao Lanpo, Jiang Yan. *Chinese Journal of Soil Science*, 1986, 17(3): 138-142.
- [13] 黄娟, 李稹, 张健. 改良靛酚蓝比色法测土壤脲酶活性 [J]. *土木建筑与环境工程*, 2012, 34(1): 102-107.
Huang Juan, Li Zhen, Zhang Jian. *Journal of Civil Architectural and Environmental Engineering*, 2012, 34(1): 102-107.
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.
Guan Songyin. *Soil enzymes research* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1986.
- [15] 王荫槐. 土壤肥料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992.
Wang Yinhuai. *Soil fertilizer*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1992.
- [16] 王国. 土壤学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
Wang Guo. *Agrology*[M]. Beijing: Higher Education Press, 2009.
- [17] 张浩, 王正银, 董燕, 等. 砂质土壤 pH 对中性缓释复合肥养分释放特性的影响研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(3): 9-12.
Zhang Hao, Wang Zhengyin, Dong Yan, et al. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(3): 9-12.
- [18] 余海英, 李廷轩, 周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响[J]. *土壤*, 2005, 37(6): 581-586.
Yu Haiying, Li Tingxuan, Zhou Jianmin. *Soils*, 2005, 37(6): 581-586.

(责任编辑 王媛媛)

· 学术动态 ·



中国科协办公厅印发《中国科协三峡科技出版资助计划管理办法》

2013年6月6日,中国科协办公厅印发《中国科协三峡科技出版资助计划管理办法》。

为促进科技工作者学术成长,推动学科发展,繁荣科技出版,中国科学技术协会、中国长江三峡集团公司于2012年联合设立中国科协三峡科技出版资助计划。出版资助计划资金由中国三峡集团提供,自2012年至2016年先期连续资助5年,用于资助出版自然科学和技术科学领域科技著作。中国科协学会学术部负责出版资助计划的统筹管理和组织协调,中国科学技术出版社负责出版资助计划的日常管理和所资助科技著作的出版工作。

资助的中文版原创著作应满足如下条件之一:① 基础研究科技著作;② 应用基础研究科技著作;③ 技术改造和产品研发科技著作;④ 科技政策研究著作;⑤ 科技史研究、科技文献整理研究著作;⑥ 高等院校教材。

资助的中文版译著内容必须满足如下条件之一:① 国外有影响的能反映最新科技研究成果、最新科技发展动态的学术著作;② 科技发展史上著名科学家经典的重要科技著作;③ 国外著名高等院校理工类权威教材用书。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35488/14782572.html>。