

风化煤施用对黄土高原露天煤矿区复垦土壤理化性质的影响研究

李 华¹, 李永青¹, 沈成斌², 尹建平², 贺振伟²

(1.山西大学环境与资源学院, 山西 太原 030006; 2.平朔煤炭工业公司公共关系部, 山西 朔州 036006)

摘 要:针对黄土高原露天煤矿区复垦土壤存在的土体构造不良、土壤养分极度贫乏等问题,通过野外分区试验,以风化煤为修复介质,研究刺槐种植后露天煤矿区复垦土壤理化性质的变化。结果表明,不同量风化煤施用后,各土层土壤团聚体的质量、水稳性团聚体含量及土壤阳离子交换量均有不同程度改善;0~20 cm 土层土壤有机质、腐殖质含量显著提高,且明显高于 20~40 cm 土层;20~40 cm 土层土壤有机质,腐殖质无显著改善。风化煤施用使土壤 pH 有所降低,但效果不显著。随着改良时间延长,0~20 cm 土层各理化指标均有改善;20~40 cm 土层除有机质、腐殖质无显著变化外其他指标均有改善。总体来看,风化煤施加量为 27 000 kg·hm⁻² 时改良效果最佳。

关键词: 风化煤; 矿区土壤; 理化性质

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)05-1752-05

Physicochemical Properties of Reclaimed Soil with Weathered Coal in Open Cast Mining Areas of Loess Plateau

LI Hua¹, LI Yong-qing¹, SHEN Cheng-bin², YIN Jian-ping², HE Zhen-wei²

(1.College of Environment and Resources, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2.Pingshuo Coal Industry Company, Shuozhou 036006, China)

Abstract: Problems of reclaimed soil exist in the Loess Plateau opencast mine area such as bad soil structure and extreme poverty in soil nutrients and so on. Using field experiment, weathered coal was chosen in this research as repair media. Effect of weathered coal on physico-chemical properties of reclaimed soil after planting *Robinia pseudoacacia* was studied in this experiment. Results showed that application of weathered coal could significantly improve the quality of soil aggregates, increase the content of water stable aggregates and cation exchange capacity in 0~20 cm and 20~40 cm soil layer. The organic matter and humus in 0~20 cm soil layer were significantly improved at the same time. The content of organic matter and humus in 0~20 cm soil layer were higher than it in 20~40 cm soil layer, and effects of amendments on organic matter and humus in 20~40 cm soil layer were not obvious. Change of pH was not obvious with weathered coal application. The effects of amendments on physicochemical properties in 0~20 cm soil layer were more significant as the amendment time longing. Except organic matter and humus, effects of amendments on physicochemical properties in 20~40 cm soil layer had same trend with 0~20 cm soil layer. In conclusion, physicochemical properties of reclaimed soil were improved with weathered coal application. And the best application amount of weathered coal for reclaimed soil improvement in the loess plateau opencast mine area was 27 000 kg·hm⁻².

Keywords: weathered coal; mined soil; physicochemical properties

矿山开采造成大规模的土地破坏在我国以及世界都是一个十分严重且日益受到高度重视的问题^[1-3]。

收稿日期: 2008-04-03

基金项目: 国家自然科学基金“风化煤对黄土区煤矿复垦土壤改良与植被恢复的影响及作用机理研究”(40501071)

作者简介: 李 华(1971—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为环境污染治理。E-mail: lihua@sxu.edu.cn

由于采矿活动对矿区地表的破坏, 露天煤矿区土壤原有理化性质发生了根本的变化。主要表现为土壤团聚体遭到严重破坏, 土体松散, 抗蚀能力明显下降, 土壤有机质含量降低, 养分极度缺乏^[4], 不适于植被种植, 改善土壤结构将有利于该区域复垦工程的实施。

风化煤作为煤矿生产的废煤, 在我国分布广、储量^[5]。虽发热量低, 但腐植酸含量丰富, 其中含有多

种活性基团,如羧基、羟基、酚羟基、醇羟基、酰胺基等^[9],因而具有吸附、络合和交换等性能,是一种良好的天然吸附剂。目前,风化煤对土壤改良作用的研究主要集中在农田退化土壤上,而对矿区复垦土壤方面研究不多。本文从合理利用现有资源,解决耕地及环境问题的角度出发,针对我国平朔安太堡露天煤矿复垦土壤存在的问题,以风化煤为修复载体,研究刺槐种植对矿区复垦改良土壤理化性质的影响,以期为黄土高原矿区生态重建提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于黄土高原晋陕蒙接壤的黑三角地带、山西省北部的朔州市境内,地理坐标:东经 112°10′~113°30′,北纬 39°23′~39°37′。该区属典型的温带半干旱大陆性季风气候区,年均气温 4.8~7.8℃,年均降雨量 428.2~449.0 mm,全年蒸发量 1 786.6~2 598.0 mm,超过降水量的 4 倍。无霜期约 115~130 d。矿区地貌属缓坡丘陵区,黄土广布、植被稀少,水蚀、风蚀并重,海拔 1 180~1 500 m。矿区地带性土壤为栗钙土与栗褐土的过渡带,地带性植被属于草原类型^[7]。

1.2 试验处理及供试土壤

试验根据风化煤施加量不同共设 5 个处理:分别为 0(CK,对照组)、13 500、27 000、40 500、54 000 kg·hm⁻²。根据处理 2006 年 4 月 20 日于小区施加风化煤并种植刺槐。于 2006 年 7 月 20 日、9 月 20 日两次(分层 0~20 cm 及 20~40 cm)采集土壤样品,于室内风干、过筛备用。供试土壤基本理化性状见表 1。每个测定值均设 3 个重复。供试风化煤取自试验地矿区,pH 为 6.16,腐殖质含量为 44.64%。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the tested soil

团聚体>0.25 mm/ %	容重/ g·cm ⁻³	水分/ %	腐殖质/ %	有机质/ %	阳离子交换量/ cmol·kg ⁻¹	pH
7.58	1.62	9.1	0.04	0.32	1.58	8.60

1.3 分析测试

采用干筛法测定土壤团粒;净水法测定土壤水稳性团粒;电位法测 pH 值;重铬酸钾容量法-外加热法测有机质^[8];土壤腐殖质组成测定法测腐殖质^[9,10];乙酰胺法测定阳离子交换量^[8]。

1.4 数据分析

采用 SPSS13.0 ANOVA 及 LSD 方法多重比较不同试验处理之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同风化煤处理对土壤团聚体结构的影响

土壤团聚体是土壤结构最基本的单元,是土壤的重要组成部分,对土壤的许多物理化学性质有重大影响。试验结果显示(见表 2),施用风化煤可显著提高土壤团聚体含量,且土壤团聚体含量随着风化煤施用时间的延长显著提高。改良 3 个月后,0~20 cm 土层风化煤施加量为 40 500 kg·hm⁻²时,土壤团聚体含量最高,达 79.43%,分别是对照组、风化煤施加量为 27 000 kg·hm⁻²的 1.4 倍、1.1 倍;20~40 cm 土层风化煤施加量为 13 500 kg·hm⁻²时,土壤团聚体含量最高,其次为风化煤施加量为 27 000 kg·hm⁻²,约为对照组的 1.2 倍。改良 6 个月后,对照组土壤团聚体含量无显著变化($P>0.05$),各风化煤处理土壤团聚体含量显著增加($P<0.05$)。不同土层均在风化煤施加量为 40 500 kg·hm⁻²时土壤团聚体含量达最高,但各风化煤处理变化幅度不大。这是因为适量风化煤施加量使土壤有机质含量有所增加。资料表明,土壤有机质与团聚体之间存在密切的相关关系,是土壤团聚体的主要粘结剂^[11],能帮助土壤形成团粒结构。土壤团聚体含量 20~40 cm 土层含量高于 0~20 cm 土层。

表 2 施加风化煤对土壤团聚体含量的影响(%)

Table 2 Effect of different weathered coal treatments on soil aggregates(%)

风化煤施加量/ kg·hm ⁻²	施用时间及深度			
	3 个月		6 个月	
	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
0	61.50±1.98dB	66.85±1.09eA	61.21±2.01eB	67.93±1.02eA
13 500	75.84±4.01bD	79.47±1.42aC	86.20±1.32bB	87.34±2.03bA
27 000	71.78±2.03cD	78.29±2.03bC	84.80±1.36cB	86.17±4.97cA
40 500	79.43±2.10aC	76.77±2.01cD	87.22±2.31aA	87.99±3.12aA
54 000	71.50±2.32cC	73.70±1.05dB	82.85±2.34dA	82.85±3.01dA

注:表中数据为平均值±SE;同一列小写字母不同、同一行大写字母不同表示有显著差异($P<0.05$),否则无显著差异,下同。

国内外许多学者把土壤团聚体的水稳定性作为评价土壤抗蚀性的重要指标,认为只要能提高土壤团聚体的水稳性以及水稳性团聚体的数量和质量,就能提高土壤的抗侵蚀能力^[12-14]。风化煤施用对土壤水稳性团聚体含量的影响如表 3 所示。结果显示,经改良,各样地土壤水稳性团聚体含量显著提高($P<0.05$),且随改良时间的增加而增加。资料表明,土壤有机质、黏粒及碳酸钙是影响土壤水稳性团聚体含量的主导因子^[15-18]。究其原因,这与风化煤适量使有机质含量增加

表 3 施加风化煤对土壤水稳性团聚体含量的影响(%)
Table 3 Effect of different weathered coal treatments on water-stable aggregates(%)

风化煤施加量/ kg·hm ⁻²	施用时间及深度			
	3 个月		6 个月	
	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
0	66.07±2.10cC	66.03±1.53aC	72.03±1.56eB	79.20±1.34aA
13 500	62.80±1.89dC	56.43±6.01dD	78.80±2.68aA	77.60±4.06bB
27 000	70.43±4.02bB	64.40±2.10bC	77.20±3.21bA	77.20±2.35bA
40 500	61.57±3.23cC	60.40±4.11cC	76.40±1.54cB	81.60±3.03aA
54 000	79.63±4.00aB	60.80±1.03cD	75.20±5.02dC	81.20±4.01aA

有关,有机质可以为水稳团粒的形成提供胶结剂^[19,20]。但风化煤施加量对土壤水稳性团粒含量影响规律不太明显,可能是因为土壤结构的根本性改善不仅需要较大量有机质的补充而且需要足够的时间^[21]。不同土层土壤水稳性团粒含量变化不大。

2.2 不同风化煤处理对土壤有机质含量的影响

土壤有机质既是植物有机营养和矿质营养的源泉,又是形成土壤结构的有机胶结剂。有机质含量被视为衡量土壤肥力的重要指标^[21,22]。施加风化煤对土壤有机质的影响见图 1。由图 1 可知,经改良,各样地土壤有机质含量均高于复垦前土壤有机质含量。风化煤施用 3 个月后,0~20 cm 土层各样地土壤有机质含量差异显著($P<0.05$),随风化煤施加量的增加呈增加趋势,施加量超过 40 500 kg·hm⁻² 后增幅变小。施加量为 13 500 kg·hm⁻² 土壤有机质含量低于对照组,其他样地均高于对照组。施加量为 40 500 kg·hm⁻² 时有机质含量最高,达 1.31%,分别为复垦前土壤、对照组、风化煤施加量为 13 500 kg·hm⁻²、27 000 kg·hm⁻²、54 000 kg·hm⁻² 样地的 4.09 倍、2.38 倍、2.57 倍、1.21 倍、1.15 倍;20~40 cm 土层土壤有机质含量在风化煤施加量为 27 000 kg·hm⁻² 时最高为 0.55%,其他样地无显著变化($P>0.05$)。改良 6 个月后,0~20 cm 土层土

壤有机质含量均有提高,且差异显著($P<0.05$)风化煤施加量为 54 000 kg·hm⁻² 增幅最大,达到最高为 1.78%,风化煤施加量为 27 000 kg·hm⁻² 含量达 1.35%,分别为对照组、复垦前土壤的 1.7 倍、4.2 倍,并超过风化煤施加量为 40 500 kg·hm⁻² 样地含量;20~40 cm 土层土壤有机质含量稍有提高,但无显著差异($P>0.05$)。相同风化煤施加量,0~20 cm 土层土壤有机质含量显著高于 20~40 cm 土层土壤有机质含量。究其原因,我们认为,一方面与风化煤的施用方式有关,另一方面是由于 0~20 cm 作为耕作层,输入的有机物其分解转化主要在该层发生。因而,不同处理对该层土壤有机质含量的影响十分明显^[23]。

2.3 不同风化煤处理对土壤腐殖质含量的影响

腐殖质是土壤肥力的基础物质,是土壤中最活跃的部分,对土壤肥力的高低具有重要影响^[21]。施加风化煤对土壤腐殖质的影响如图 1 所示。由图 1 可知,相同风化煤施加量,0~20 cm 土层土壤腐殖质含量显著高于 20~40 cm 土层土壤腐殖质含量。经风化煤改良 3 个月后,0~20 cm 土层各样地土壤腐殖质含量差异显著($P<0.05$),均高于对照组及复垦前土壤腐殖质含量,且随风化煤施加量增多呈增加趋势,施加量超过 40 500 kg·hm⁻² 后增幅变小,施加量为 40 500 kg·hm⁻² 样地最高,达 0.13%,分别为对照组、复垦前土壤的 4 倍、3.25 倍;20~40 cm 土层各样地土壤腐殖质含量差异不显著($P>0.05$)。这与风化煤施加量对土壤有机质的影响一致。经风化煤改良 6 个月后,0~20 cm 土层各样地土壤腐殖质含量差异显著($P<0.05$),均高于对照组及复垦前土壤腐殖质含量,与改良 3 个月相比,风化煤施加量为 13 500 kg·hm⁻² 样地无显著变化,施加量为 40 500 kg·hm⁻² 样地含量有所降低,施加量为 27 000 kg·hm⁻² 及 54 000 kg·hm⁻² 样地显著增加,且施加量为 54 000 kg·hm⁻² 时达最高为 0.15%,分别

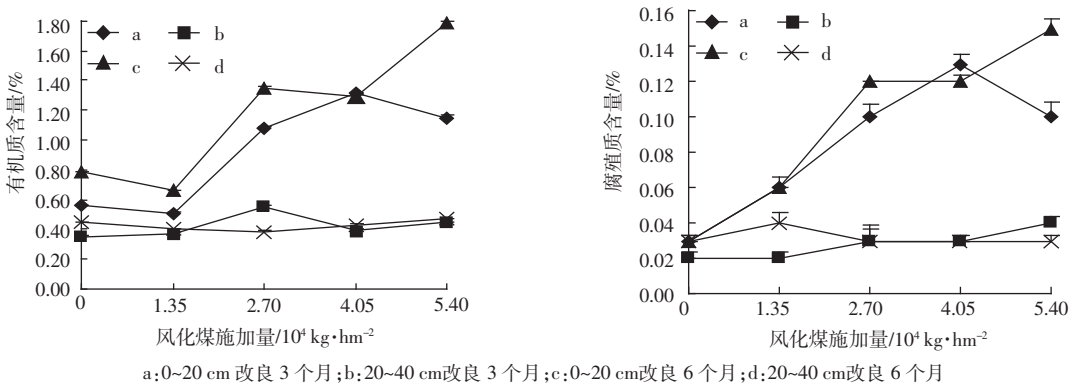


图 1 施加风化煤对土壤有机质及腐殖质的影响

Figure 1 Effect of weathered coal treatments on soil organic matter and humus

为对照组、复垦前土壤、施加量为 27 000 kg·hm⁻² 样地的 5 倍、3.75 倍、1.25 倍,据分析与刺槐根际分泌物加速腐殖质形成有关,另外与风化煤中富含腐植酸有直接关系;20~40 cm 土层风化煤施加量为 13 500 kg·hm⁻² 样地显著增加,其他样地无显著变化($P>0.05$)。

2.4 不同风化煤处理对土壤 pH 的影响

施加风化煤对土壤 pH 的影响见表 4。由表 4 可知,经风化煤改良后,土壤 pH 有所降低。对照组土壤 pH 改良效果不显著。相同风化煤施加量,土壤 pH0~20 cm 土层低于 20~40 cm 土层。土壤 pH 随改良时间的变化有所降低,这与适量风化煤施加及刺槐根际分泌物有关。随着风化煤施用量的增加 pH 没有出现显著变化($P>0.05$),最高 8.60,最低 8.35。0~20 cm 土层在风化煤施加量为 27 000 和 54 000 kg·hm⁻² 时土壤 pH 值最低,为 8.35。

表 4 施加风化煤对土壤 pH 的影响

Table 4 Effect of different weathered coal treatments on soil pH

风化煤施加量/ kg·hm ⁻²	施用时间及深度			
	3 个月		6 个月	
	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
0	8.60±0.02aA	8.54±0.02bA	8.56±0.01aA	8.57±0.00aA
13 500	8.54±0.01aB	8.60±0.02aA	8.47±0.03bC	8.47±0.03bC
27 000	8.42±0.00bB	8.60±0.02aA	8.35±0.02dC	8.43±0.01bB
40 500	8.40±0.00bB	8.56±0.00bA	8.42±0.01cB	8.44±0.01bB
54 000	8.36±0.01bC	8.54±0.02bA	8.35±0.02dC	8.48±0.03bB

2.5 不同风化煤处理对土壤阳离子交换量(CEC)的影响

土壤 CEC 反映了土壤保肥能力的大小。CEC 越大,土壤交替表面负电荷越多,吸附保持阳离子养分的能力越强。CEC 与土壤有机质及粘粒含量有关^[24]。施加风化煤对土壤 CEC 的影响见表 5。由表 5 可知,经改良,各样地土壤 CEC 显著高于复垦前土壤 CEC ($P<0.05$),且施加风化煤后改良效果优于对照组。对照组不同土层间土壤 CEC 无显著差异;而其他处理组合在相同风化煤施加量下,土壤 CEC 含量 0~20 cm 土层均高于 20~40 cm 土层。改良 3 个月后,0~20 cm 土层土壤 CEC 随风化煤施加量的增加而增加,施加量为 54 000 kg·hm⁻² 样地最大,为 9.81 cmol·kg⁻¹,分别为对照组、复垦前土壤的 1.24 倍、5.64 倍;20~40 cm 土层土壤 CEC 随风化煤施加量无显著规律,施加量为 13 500 kg·hm⁻² 样地最高,为 8.91 cmol·kg⁻¹。改良 6 个月后,0~20 cm 土层土壤 CEC 随风化煤施加量增多而增加,与改良 3 个月相比施加量为 13 500、40 500 kg·hm⁻² 样地有所降低,其他样地均有提高,其中施加量为 27 000 kg·hm⁻² 样地增幅最大,达 9.33 cmol·kg⁻¹,

表 5 施加风化煤对土壤 CEC 的影响(cmol·kg⁻¹)

Table 5 Effect of different weathered coal treatments on soil CEC(cmol·kg⁻¹)

风化煤施加量/ kg·hm ⁻²	施用时间及深度			
	3 个月		6 个月	
	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
0	7.89±0.00dB	7.93±0.00dB	8.19±0.00eA	7.93±0.00dB
13 500	9.26±0.00bA	8.91±0.00aB	8.81±0.01dC	7.24±0.00eD
27 000	8.72±0.00cB	8.43±0.01bD	9.33±0.01bA	8.62±0.01bC
40 500	9.26±0.00bA	8.10±0.01cD	9.19±0.00cB	8.72±0.01aC
54 000	9.81±0.00aB	8.41±0.00bD	10.09±0.01aA	8.55±0.01cC

为对照组、复垦前土壤的 1.14 倍、5.91 倍,风化煤施加量为 54 000 kg·hm⁻² 最高达 10.09 cmol·kg⁻¹,为对照组、复垦前土壤的 1.23 倍、6.39 倍。风化煤使土壤 CEC 增加主要是因为其中富含的腐植酸类物质是一种亲水性可逆棕黑色胶体,其中的羧基、羟基、酚羟基等活性基团容易解离,因此风化煤可以吸附某些分子或离子^[25]。20~40 cm 土层施加量为13 500 kg·hm⁻² 样地显著降低,其他样地均有小幅提高。

3 结论

(1)风化煤施用后,各土层土壤团聚体的质量显著改善,水稳性团聚体及阳离子交换量显著提高。0~20 cm 土层土壤有机质、腐殖质含量显著提高,且明显高于 20~40 cm 土层;20~40 cm 土层无显著改善。风化煤施用使土壤 pH 有所降低,但效果不显著。

(2)随着改良时间的延长,0~20 cm 土层各理化指标均有改善;20~40 cm 土层除有机质、腐殖质无显著变化外其他指标均有改善。

(3)风化煤施加量在 27 000 kg·hm⁻² 和 54 000 kg·hm⁻² 时,各理化指标的改善显著高于其他处理,且两者差异不显著。总体而言,风化煤最佳施加量为 27 000 kg·hm⁻²。

参考文献:

[1] 倪含斌,张丽萍,吴希媛. 矿区废弃地土壤重构与性能恢复研究进展[J]. 土壤通报, 2007, 38(2): 399-404.
NI Han-bin, ZHANG Li-ping, WU Xi-yuan. Research progress on soil reconstruction and property restoration in mine regions[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(2): 399-404.

[2] Miao Z, Marrs R. Ecological restoration and land reclamation in open-cast mines in Shanxi Province, China [J]. *Environment Management*, 2000, 59: 205-215.

[3] Bradshaw A D, Huttll R F. Future minesite restoration involves a broader approach[J]. *Ecological Engineering*, 2001, 17: 87-90.

[4] 王改玲,白中科. 安太堡露天煤矿排土场植被恢复的主要限制因子

- 及对策[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1):38-40.
- WANG Gai-ling, BAI Zhong-ke. Main limiting factors for re-vegetation and measures of dumping site in antaibao opencast mine[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002, 9(1):38-40.
- [5] 张学才, 张德祥. 我国的腐殖酸资源及其工农业应用 [J]. 中国煤炭, 2000, 18:13-17, 18.
- ZHANG Xue-cai, ZHANG De-xiang. China humic acids resource and application in industry and agriculture[J]. *China Coal*, 2000, 18:13-17, 18.
- [6] 马秀欣, 赵宏波. 我国泥炭、褐煤和风化煤的资源优势及其应用领域[J].中国煤炭, 2004, 30(9):47-49.
- MA Xiu-xin, ZHAO Hong-bo. Resource superiority of peat, lignite and weathered coal in China and application field [J]. *China Coal*, 2004, 30(9):47-49.
- [7] 陈虎维, 郭昭华. 露天煤矿土地复垦生态重建[J]. 露天采矿技术, 2005, 5:72-75.
- CHEN Hu -wei, GUO Shao -hua. Land reclamation and ecological restoration in opencast mine[J]. *Opencast Coal Mining Technology*, 2005, 5:72-75.
- [8] 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. 27-28.
- Lu Ru-kun. Agricultural chemical analysis of soil[M]. Beijing:China Agricultural Sciencetech Press, 1999. 27-28.
- [9] 中国标准出版社总编室. 中国国家标准汇编 (2001 年修订)[M]. 北京:中国标准出版社, 2003. 210-213.
- China Standard Press Chief Editor Room. China national standard collection (Modified in 2001) [M]. Beijing: China Standard Press, 2003. 210-213.
- [10] 曹 鹏, 李 华, 李永青, 等. 两种测定风化煤与土壤腐殖酸含量方法的比较[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1):277-279.
- CAO Peng, Li Hua, Li Yong-qing. Comparison of two kinds of methods on humic acids in weathered coal and soils[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(1):277-279.
- [11] 刘 京, 常庆瑞, 李 岗, 等.连续不同施肥对土壤团聚性影响的研究[J].水土保持通报, 2000, 8(4):24-26.
- LIU Jing, CHANG Qing-duan, LI Gang, et al. Effect of different fertilization on soil characteristics of aggregate[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2000, 8(4):24-26.
- [12] Shinjo H, Fujita H, Gintzburger Gus. Soil aggregate stability under different landscapes and vegetation types in a semiarid area in northeast-Syria[J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 2000, 46(1):229-240.
- [13] 王国梁, 刘国彬. 黄土丘陵沟壑区植被恢复的土壤水稳性团聚体效应[J].水土保持学报, 2002, 16(1):48-50.
- WANG Guo-liang, LIU Guo-bin. Soil water-stable aggregates effect of vegetation restoration in the hilly and gully regions of the Loess Plateau[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1):48-50.
- [14] 吴 彦, 刘世全, 付秀琴. 植物根系提高土壤水稳性团粒含量的研究[J]. 水土保持学报, 1997(1):45-49.
- WU Yan, LIU Shi-quan, FU Xiu-qin. Study on improving soil's water-stable aggregates amounts by botanic roots[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1997(1):45-49.
- [15] Ni J Z, Xu J M, Xie Z M, et al.Changes of labile organic fractions in soils under diferent rotation systems[J]. *Pedosphere*, 2004, 14(1):103-109.
- [16] 杨彭年.石灰性土壤有机质矿质复合体及其团聚性的研究[J].土壤学报, 1984, 21(2):144-152.
- YANG Peng-nian. Study of organic-mineral complexes in calcareous soils and aggregation (In Chinese)[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1984, 21(2):144-152.
- [17] 姚贤良, 于德芬. 关于集约农作制下土壤结构问题 [J]. 土壤学报, 1985, 22(3):241-250.
- YAO Xian-liang, YU De-fen. Problem of soil structure on intensivism tillage system (In Chinese)[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1985. 22(3):241-250.
- [18] 杨建国, 安韶山, 郑粉莉. 宁南山区植被自然恢复中土壤团聚体特征及其与土壤性质关系[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1):72-76.
- YANG Jian-guo, AN Shao-shan, ZHANG Fen-li. Characteristics of soil water stable aggregates and relationship with soil properties during vegetation rehabilitation in Ningxia Loess Hilly Region[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1):72-76.
- [19] 安韶山, 黄懿梅, 李壁成, 等. 黄土丘陵区植被恢复中土壤团聚体演变及其与土壤性质的关系[J]. 土壤通报, 2006, 37(1):45-50.
- AN Shao-shan, HUANG Yi-mei, LI Bi-cheng, et al. Characteristics of soil water stable aggregates and relationship with soil properties during vegetation rehabilitation in a Loess Hilly Region[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(1):45-50.
- [20] 吕春娟, 白中科, 陈卫国, 等. 黄土区大型排土场植被根系的抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2):35-39.
- LV Chun-juan, BAI Zhong-ke, CHEN Wei-guo, et al. Study on anti-erosibility and anti-Scourability of vegetation roots of large-stackpile in Loess Area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(2):35-39.
- [21] 刘 湛, 成应向, 向仁军, 等. 腐殖质类物质的形态结构及功能研究进展[J]. 科技资讯, 2006, 22:27.
- LIU Zhan, CHENG Ying-xiang, XIANG Ren-jun, et al. Progress of researching for conformation structure and function of humus matter[J]. *Science Technology Information*, 2006, 22:27.
- [22] Loit R, Elmar K, Igna R. Development of soil organic matter under pine on quarry detritus of open-cast oil-shale Mining[J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, 71:191-198.
- [23] 李新爱, 童成立, 蒋 平, 等. 长期不同施肥对稻田土壤有机质和全氮的影响[J]. 土壤, 2006, 38(3):298-303.
- LI Xin-ai, TONG Cheng-li, JIANG Ping, et al. Effects of long-term fertilization on soil organic matter and total nitrogen in paddy soil[J]. *Soil*, 2006, 38(3):298-303.
- [24] 郑顺安, 常庆瑞. 黄土高原不同类型人工林对土壤肥力的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2006, 34(2):119-124.
- ZHENG Shun-an, CHANG Qing-rui. The influence of different plantations on the soil fertility on Loess Plateau[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech Univ of Agri and For*, 2006, 34(2):119-124.
- [25] 郝艳玲, 范福海, 任爱梅. 风化煤处理含酚废水的实验研究[J]. 应用化工, 2006, 35(6):437-439.
- HAO Yan-ling, FAN Fu-hai, REN Ai-mei. Study on the treatment of wastewater containing phenol with weathered Coal [J]. *Applied Chemical Industry*, 2006, 35(6):437-439.