

高速公路路域土壤特性分析及其质量评价

田红卫¹, 黄志荣², 高照良^{1,3}, 李永红^{1,3}, 张小娟¹, 李 晶¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 新疆哈密地区榆树沟水库水管总站, 新疆 哈密 839000; 3. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:为深入研究不同扰动方式对路域土壤理化特性的影响,及路域不同部位土壤的特性,以高速公路路基、路堑、弃渣场、路肩、取土场 5 个部位的土壤为研究对象,对采集土壤样品的理化指标进行测定和分析。结果表明:挖和填两种扰动方式对土壤质地影响不显著,含水量及容重表现为:挖方>填方>自然;路域不同部位土壤含水量、容重呈现出取土场>路堑>路基>路肩>弃渣场>自然,土壤有机质和全氮的含量呈现为:自然>路肩>路基>路堑>弃渣场>取土场;扰动土壤的有机质、全氮和速效钾含量低于自然土壤,速效磷和全磷含量高于自然土壤;扰动土壤的有机质和全氮极显著相关,全氮与无机氮显著相关,与速效钾极显著相关、与速效磷负相关、容重和无机氮负相关;路域土壤有机质、全氮、全磷缺乏,土壤肥力低。

关键词:路域;土壤理化性质;高速公路;相关分析

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0059-06

Assessment of Soil Properties and Quality of the Freeway in Road Area of Highway

TIAN Hong-wei¹, HUANG Zhi-rong², GAO Zhao-liang^{1,3}, LI Yong-hong^{1,3}, ZHANG Xiao-juan¹, LI Jing¹

(1. College of Resource and Environmental Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Yushugou Reservoir Management Station of Hami District, Hami, Xinjiang 839000, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to study the impact of different disturbance manner and the soil properties of different location road areas, this paper took the embankment, cutting, residue field, shoulders, dug field of five parts of the soil object of study Shaanxi Baoji to Gansu Cattle highway as a case study, measured and analyzed the soil physic-chemical properties of the surface soil samples collected from the case. The results indicated that the two disturbance manner, fill and excavation, had no significant impact on soil texture. Furthermore, moisture content and bulk density showed the case as excavation>fill>natural. Soil moisture bulk density of different parts of the road area showed the case as soil field>cut>roadbed>shoulder>residue field>naturally. And the soil organic matter and total nitrogen content of different parts of the road area followed the order of natural>shoulder>roadbed>cutting residue field>soil field. Soil organic matter, total nitrogen and available potassium content of disturbed soil were lower than natural soil, but the available phosphorus and total phosphorus content were higher than natural soil. In disturbed soil, significantly positive relation was observed between total nitrogen and soil organic matter, inorganic nitrogen and available potassium. Negative relations were observed between total nitrogen and available phosphorus, as well as bulk density and inorganic nitrogen. The soils of road areas were lack of soil organic matter, total nitrogen and total phosphorus. Furthermore, it has a poor soil fertility.

Key words: highway area; soil physic-chemical property; highway; correlation analysis

高速公路建设是整个国民经济持续稳定发展的重要保障,也是西部大开发战略的重要任务之一。伴

随高速公路建设所形成的路域的相关研究也成为热点^[1-5]。目前的研究多集中在各种护坡防护模式、优

收稿日期:2012-03-23

修回日期:2012-05-12

资助项目:“十二五”农村领域国家科技计划课题“农田水土保持关键技术与示范”(2011BAD31B01)

作者简介:田红卫(1987—),男,陕西洋县人,硕士,主要从事工程开发建设与高速公路边坡防护研究。E-mail:394935006@qq.com

通信作者:高照良(1969—),男,河南灵宝人,博士,副研究员,主要从事土壤侵蚀与荒漠化研究。E-mail:gzl@ms.iswc.ac.cn

良植物种的筛选、物种的组合和绿化效果分析等方面。而作为路域生态系统的重要组成部分,路域植物生长的介质和养分的供应者的路域土壤的研究却不多^[6-8]。路域土壤作为路域植物生长的基础,其质量的好坏直接影响着路域植被恢复工程的成败。为此,笔者以陕西宝鸡至甘肃牛背梁高速公路(简称宝牛高速公路)为例,对不同扰动方式、不同扰动部位的路域土壤理化性质进行深入研究,以为高速公路植被恢复及土壤生态管理提供理论依据及科学指导。

1 研究区概况

宝牛高速公路是连霍国道主干线的重要组成部分,是陕西省“米”字型公路主骨架中“一横”的重要组成部分,起于宝鸡市清姜河以西的石家营村,与现西宝高速公路终点相接,终于陕甘交界的牛背梁,与甘肃境在建的牛背至天水高速公路起点相接。

公路所经地区东部局部属渭河河谷阶地,地形平坦;中西部大部分地区属于秦岭山区,为中低山~低山地貌。研究区属温带半湿润、半干旱大陆季风性气候区。多年平均气温 13℃,1 月份平均气温 -1℃,7 月份平均气温 26℃,极端最低气温 -16.7℃,极端最高气温 41.4℃。盆地及河谷区无霜期 210 d,深山区无霜区不足 100 d。区内年平均降雨量 701 mm,降雨多集中在 7—9 月。区域内主要土壤类型为黄壤土和褐土,土壤质地属于中壤土,土层薄,土壤养分瘠薄,公路沿线植被覆盖率达 80% 以上,林木以栎类、桦类、云杉、落叶松等为优势种群,草本植物以狗牙根、蒿属植物为优势种群。

取土场取土以黄土为主,土壤肥力贫瘠,路基、路堑、弃渣场、路肩土壤来自于施工过程中的剥离表土和取土场取土,路堑和取土场均属于挖方,路基、弃渣场和路肩均属于填方。自然土壤为恢复年限 20 a 以上的边坡表层土,16 号为黄土、22 号为褐土,均为壤质黏土,地表植被有飞蓬草、铁苋菜、白茅、茭蒿等。

2 研究方法

2.1 采样方法

采样于 2010 年 5 月份进行,按照典型性、代表性和科学性的原则,在宝牛高速公路路基、路堑、路肩、弃渣场、取土场各处进行采样(各样点路基、路堑、路肩弃渣场、弃土场及自然的土壤来源一致,均来自于线路所经区域)。在选定的样地内,用环刀对 0—10、10—20 cm 深度土壤分层取样,每层 3 个重复,每个混合样品取 1 kg 左右,如果采样点较多而使混合土样太多时,可用四分法淘汰。采样时先清理选定样地

地表枯枝落叶层,然后将环刀托放在已知重量的环刀上,将环刀刃口向下垂直压入土中,直至环刀筒中充满样品,环刀压入时要平稳,用力一致,而后用削土刀切开环刀周围的土壤,取出已装满土的环刀,细心削去环刀两端多余的土,并擦净环刀外面的土,环刀两端立即加盖,以免水分蒸发,之后进行各项指标测量。各样地基本情况如表 1 所示。

2.2 土壤样品分析方法

需要测定的土壤物理性质指标包括机械组成(土壤质地)、土壤容重,土壤水分。土壤化学性质指标包括有机质、全氮、无机氮、全磷、速效磷和速效钾。

土壤的机械组成采用激光粒度仪 2000 测定,土壤容重采用环刀法测定,土壤含水量的测定采用烘干法,其他化学性质指标测定参照《土壤农化分析》^[9]。数据处理采用 SPSS 和 Excel 软件进行。

3 结果与分析

3.1 不同扰动方式土壤特性分析

3.1.1 不同扰动方式土壤物理性质分析 高速公路在建设过程中的土壤扰动方式主要分为挖方和填方,由表 2 可以看出,挖、填两种扰动方式下,土壤黏粒、粉砂粒、物理性黏粒含量与自然土相比差异不明显。而砂粒含量同自然土相比差异明显,砂粒含量大小为:填方土>自然土>挖方土。填方土壤来自别处,且填方部位多发生在路基,施工过程中部分砂粒的混入导致填方土壤砂粒含量增高,地表挖方后的土壤深层土,多为土壤母质,其砂粒含量远小于其他自然土及填方土。

0—10 cm 和 10—20 cm 土层中,土壤的容重和水分均呈现为挖方>填方>自然,填方土壤是人工回填土壤,其结构较为松散,相比挖方裸露出的深层土壤,其容重明显偏小。自然土壤容重均小于挖方和填方土壤,这是因为后两者都经过了机械碾压,比自然土壤要紧实。上层的水分都低于下层水分,主要是由于机械碾压导致水分渗透的上层土壤容易板结,下层土壤透水性差,水分分配不合理,以及地表风的影响等造成的。

扰动土壤扰乱了原来土壤的发育层次和土体构型,破坏了原有土壤结构、质地等属性。受到干扰后,土壤原本的水分系统遭到破坏,后期的通气保水性能又严重下降。因此,在路域土壤恢复过程中,应注重土壤结构的改良。

3.1.2 不同扰动方式土壤化学性质分析 由表 3 可知,不同扰动方式下土壤的有机质、全氮含量均为上层高于下层,且差异不大,填方和挖方土壤都远低于

自然土壤。无机氮的含量变化为填方和挖方土壤都小于自然土壤,但与自然土壤的含量差别也较小,因为无机氮只是土壤氮含量的很少一部分,且含量随着外界环境变动。扰动土壤的速效磷及全磷含量均高于自然土壤,这主要是由于人工种植的过程中施肥的缘故,其上下层变化差异不大。扰动土壤的速效钾含量低于自然土壤,且扰动土壤之间的含量变化差异不大。

表 1 样地基本情况

路域部位	样地编号	扰动方式	恢复模式	主要植被	总盖度/%
路基	1	填方	植草	苜蓿、草木犀、马唐	100
	17	填方	植草	苜蓿、狗尾草	100
	9	填方	拱形+植草	紫穗槐、千里光、艾蒿	60
	11	填方	拱形+植草	狗尾草、苜蓿	100
	20	填方	拱形+植草	猪毛蒿、小冠花	85
	23	填方	拱形+植草	苜蓿、苔草	90
	24	填方	拱形+植草	小冠花、猪毛蒿	85
路堑	3	挖方	植草	紫穗槐、苜蓿	50
	7	挖方	植草	紫穗槐、野菊	35
	19	挖方	植草	紫穗槐、飞蓬草、艾蒿	75
	27	挖方	植草	紫穗槐、飞蓬草	30
	25	挖方	拱形+植草	紫穗槐、飞蓬草	65
	26	挖方	拱形+植草	紫穗槐、野菊	100
	2	挖方	土工格室+植草	紫穗槐、飞蓬草、苜蓿	100
弃渣场	10	挖方	土工格室+植草	紫穗槐、牡蒿	50
	30	挖方	土工格室+植草	紫穗槐、鹅肠菜	40
	4	填方	自然恢复	苜蓿、飞蓬草	60
	5	填方	人工恢复	苜蓿、香附子	100
	12	填方	自然恢复	飞蓬草、狗尾草	10
	14	填方	自然恢复	飞蓬草、风毛菊	25
	18	填方	自然恢复	地肤、苜蓿	50
路肩	21	填方	自然恢复	狗尾草、飞蓬草	32
	8	填方	植草	狗尾草、飞蓬草、波斯菊	100
	28	填方	植草	狗尾草、铁苋菜	100
取土场	29	填方	植草	白三叶、狗尾草	80
	6	挖方	自然恢复	飞蓬草、狗尾草、千里光	70
	13	挖方	自然恢复	狗尾草、飞蓬草	25
自然	15	挖方	自然恢复	金盏银盘、秃疮花	60
	16	自然	自然	飞蓬草、铁苋菜	50
	22	自然	自然	白茅、茭蒿	100

表 2 不同扰动方式的土壤机械组成

扰动方式	土层深度/cm	黏粒/% ≤0.001 mm	粉砂粒/% 0.001~0.05 mm	砂粒/% 0.05~1 mm	物理性黏粒/% ≤0.01 mm	容重/(g·cm ⁻³)	水分/%
填方	0—10	21.1649	59.8449	18.9902	36.5311	1.4032	7.2659
	10—20	21.2602	58.4529	20.2870	37.2456	1.4564	11.0492
挖方	0—10	23.2512	66.1347	10.6141	41.3907	1.4537	7.1205
	10—20	22.2550	67.4438	10.3012	41.7932	1.5687	13.1724
自然	0—10	20.3601	57.9999	21.6400	35.7693	1.2728	7.0250
	10—20	24.8168	63.1215	12.0617	42.1322	1.4244	8.4700

不同扰动方式下的土壤有机质和多种养分的含量都随土壤采样深度的增加呈减小趋势,其主要原因是施工过程中地表植被遭到破坏,间接导致风蚀强度增大,从而导致表层土壤养分流失。

3.2 路域不同部位土壤特性分析

3.2.1 路域不同部位土壤物理性质分析 由表 4 可见,路域不同扰动部位及自然土壤的粉砂粒含量为 60%~70%,物理性黏粒在 30%~45%之间,都属于中

壤土。弃渣场的砂粒含量明显高于其他扰动部位,粉粒含量较低。这主要是由于弃渣场多处于路域视线范

围之外,施工单位在覆土过程中出于成本控制,覆土质量普遍较差,覆土中含有施工弃渣,石砾含量较高。

表 3 不同扰动方式土壤养分情况

扰动方式	土层厚度/ cm	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	无机氮/ (mg · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	全磷/ (g · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
填方	0—10	4.6180	0.4041	8.0131	26.1990	1.0684	149.8558
	10—20	3.8875	0.3089	3.9356	24.0881	1.1980	122.5500
挖方	0—10	4.2516	0.3855	7.0955	28.6386	0.6094	138.7076
	10—20	3.2077	0.3078	3.5767	27.4028	0.5942	122.0741
自然	0—10	25.0394	1.8243	10.0250	17.6750	0.6772	240.5750
	10—20	13.4789	1.0670	6.7263	9.4188	0.6731	140.0750

同自然土壤相比,路域不同部位土壤经过了机械碾压、混合杂质、扰乱剖面后,容重和水分均发生了很大的变化。上下层间土壤容重和水分的变化规律均为上层 0—10 cm 高于下层 10—20 cm 土壤。不同部位土壤容重和水分呈现为取土场>路堑>路基>路肩>弃渣场>自然。取土场土壤施工中挖走了大量的表层土壤,导致深层土壤裸露,深层土壤长期受到表层土壤的压力,且经过施工机械的反复碾压,容重

最大,路堑次之;路基和路肩为路域绿化的重点部位,其土壤为经过适度夯实的自然土壤,其容重和水分适中,不同扰动部位中弃渣场的容重及含水量最低,这主要与弃渣场的覆土质量差,管护不到位有关。总体上看,扰动土壤上层 0—10 cm 和下层 10—20 cm 水分差异较大,上层 0—10 cm 土壤保水性差,水分偏低,下层 10—20 cm 通气性差,水分较高。说明扰动土壤的水分分配很不合理,不利于植被的恢复。

表 4 路域不同部位土壤物理性质

路域部位	土层深度/ cm	黏粒/% ≤0.001 mm	粉砂粒/% 0.001~0.05 mm	砂粒/% 0.05~1 mm	物理性黏粒/% ≤0.01 mm	容重/ (g · cm ⁻³)	水分/ %
路基	0—10	23.9708	63.2633	12.7659	40.0508	1.3450	6.6517
	10—20	23.1059	61.1789	15.7152	39.2673	1.4658	10.2127
路堑	0—10	23.2336	63.3905	13.3759	39.8727	1.4279	6.9698
	10—20	21.8115	63.0978	15.0907	38.9215	1.5402	12.3425
弃渣场	0—10	17.8542	56.3568	25.7890	32.2662	1.1034	8.0618
	10—20	17.2831	56.0007	26.7162	33.1964	1.3565	13.1154
取土场	0—10	21.6698	59.9146	18.4157	37.2764	1.4892	8.7264
	10—20	23.3915	58.1790	18.4295	39.2732	1.5999	17.3579
路肩	0—10	23.2688	68.8788	7.8524	42.9088	1.4627	4.2828
	10—20	22.6984	71.7898	5.5117	44.6649	1.4859	9.3558
自然	0—10	20.3601	57.9999	21.6400	35.7693	1.2728	7.1250
	10—20	24.8168	63.1215	12.0617	42.1322	1.4244	8.4700

3.2.2 路域不同部位土壤化学性质分析 从表 5 可知,路域不同部位的土壤有机质和全氮的含量呈现为自然>路肩>路基>路堑>弃渣场>取土场,路肩和路基覆土为满足绿化的要求,均为质量较高的外来土壤,养分含量相对较高。路基边坡受坡度的影响,养分会有部分流失,较路肩要低一些。路堑属于挖方土壤,深层土壤的养分偏低,弃渣场混杂较多的施工石料等,土壤保水保肥性差。取土场最低,因为取土场所剩的往往都是一些心土或母质,土壤肥力非常贫瘠。同自然土壤相比,这些扰动土壤的有机质和全氮含量均偏低。

路基的全磷和速效磷含量均最高,取土场的全磷

含量最低,自然土壤的速效磷含量最低。因此,该地段的全磷和速效磷均偏低,扰动土壤的含量要高于自然土壤。

不同扰动部位的速效钾含量均较高,以自然土壤的速效钾最高,路堑最低。主要原因是土壤的全钾来源于成土母质,全钾含量受成土母质的影响。

3.3 土壤参数相关性分析

运用 SPSS 软件对自然土壤及扰动土壤理化性质的相关参数进行相关性分析,路域自然土壤的理化性质相关性分析见表 6,路域扰动土壤的理化性质相关性分析见表 7。结果表明:自然土壤的有机质与全氮、全磷、无机氮极显著相关,全氮与无机氮极显著相

关,速效磷和速效钾极显著相关,容重和有机质、全氮、全磷呈负相关;扰动土壤的有机质和全氮极显著与速效磷负相关,容重和无机氮负相关。

表 5 路域不同部位土壤化学性质

部位	土层厚度/ cm	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	无机氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
路基	0—10	4.6134	0.43	6.09	34.29	0.99	154.13
	10—20	4.7264	0.35	4.12	30.03	1.50	126.61
路堑	0—10	4.5350	0.40	7.78	27.86	0.64	127.57
	10—20	3.4440	0.31	3.47	25.49	0.63	109.34
路肩	0—10	5.6007	0.47	5.04	26.69	0.73	163.72
	10—20	4.4068	0.37	2.88	21.27	0.73	130.94
弃渣场	0—10	3.6608	0.33	11.21	21.54	1.16	142.20
	10—20	2.4234	0.19	4.05	19.01	1.21	110.42
取土场	0—10	3.2795	0.32	5.61	18.65	0.49	168.18
	10—20	2.3583	0.29	4.43	18.21	0.46	150.26
自然	0—10	25.0394	1.82	10.03	17.68	0.68	240.58
	10—20	13.4789	1.07	6.73	9.42	0.67	140.08

由此可见土壤有机质对于土壤中其他养分含量、土壤肥力及环境质量状况有很大影响。土壤中保持有较高数量和质量的有机质对于路域土壤质量的改善、路域植被的恢复具有积极意义。另外全氮的含量对土壤也具有重要意义。

同自然土壤相比,扰动土壤在经过扰动后,其土壤理化性质指标间的相关性发生了明显变化,这主要是由于施工过程中土壤被切割、机械碾压,土壤原有的发育层次和团粒结构遭到破坏,以及成土母质来源多样化及风蚀和水蚀的影响。

表 6 自然土壤理化性质相关性分析

指 标	有机质	全氮	无机氮	速效磷	全磷	速效钾	水分	容重
有机质	1.000	0.998**	0.958**	0.596	0.733**	0.484	-0.033	-0.921**
全 氮		1.000	0.963**	0.649	0.699	0.538	-0.099	-0.909*
无机氮			1.000	0.703	0.523	0.640	-0.089	-0.771
速效磷				1.000	-0.022	0.981**	-0.757	-0.373
全 磷					1.000	-0.193	0.358	-0.919**
速效钾						1.000	-0.749	-0.208
水 分							1.000	-0.045
容 重								1.000

注: ** 指在 0.01 水平上显著相关,* 指在 0.05 水平上显著相关。下表同。

表 7 扰动土壤理化性质相关性分析

指 标	有机质	全氮	无机氮	速效磷	全磷	速效钾	水分	容重
有机质	1.000	0.997**	0.512	-0.527	-0.173	0.781	-0.345	-0.315
全 氮		1.000	0.522*	-0.528*	-0.222	0.791**	-0.343	-0.298
无机氮			1.000	-0.244	0.033	0.540*	-0.449	-0.801**
速效磷				1.000	0.163	-0.138	-0.042	0.241
全 磷					1.000	-0.311	-0.062	-0.465
速效钾						1.000	-0.379	-0.271
水 分							1.000	0.426
容 重								1.000

3.4 土壤质量评价

土壤是植物生长的主要环境因子之一,植被建立过程,也是植物与土壤相互影响和相互作用的过程^[10]。土壤质量水平直接影响到边坡植被恢复的后期效果^[11]。由于研究区域处在黄土高原和秦岭土石山区的过渡地带,因此采取黄土高原土壤养分含量分

级标准对其进行评价^[12]。

从表 8 可以看出路域扰动土壤的有机质处于“很低”水平,全氮处于“低”水平,速效磷处于“高”水平,全磷处于“低”水平。可以看出路域范围内各部位的扰动土壤的肥力普遍较低,有机质、全氮和全磷都为缺乏,严重制约路域植被的恢复重建。因此在今后

的路域土壤管理中应科学施肥,注意有机肥、氮肥和磷肥的施加,同时,在施工过程中尽可能做好表土剥离、堆放,在后期绿化过程中尽可能地使用保肥力和有机质含量都比较高的剥离表土。

表 8 路域扰动土壤质量评价

部位	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
路基	很低	低	高	低	中
路堑	很低	低	高	低	中
路肩	很低	低	高	低	中
弃渣场	很低	低	高	低	中
取土场	很低	低	高	很低	较高
自然	较高	高	中	低	较高

4 结论

(1) 挖方和填方两种扰动方式下土壤质地没有显著变化。土壤水分和容重呈现为挖方>填方>自然。路域不同部位土壤中弃渣场的砂粒含量最高,路肩最低。不同部位土壤在经过机械压实、践踏后土壤结构受到明显破坏,通气和持水孔隙降低,不同部位土壤容重和水分呈现为取土场>路堑>路基>路肩>弃渣场>自然。

(2) 路域不同部位有机质及全氮含量呈现出自然>路肩>路基>路堑>弃渣场>取土场,各部位的有机质、全氮和速效钾含量均比自然土壤低很多,但速效磷和全磷的含量高于自然土壤,无机氮的变化很大。

(3) 扰动土壤的有机质和全氮显著相关,全氮与无机氮、速效钾相关、和速效磷负相关,容重和无机氮负相关。与自然土壤相比受施工过程中切割、碾压、成土母质多样化及侵蚀的影响,扰动土壤的土壤理化

指标间的相关性减弱。

(4) 路域范围内各部位的扰动土壤的肥力普遍较低,有机质、全氮和全磷都极为缺乏,路域土壤管理中应注意施肥特别是有机肥的使用。

参考文献:

- [1] 崔晓阳,方怀龙.城市绿地土壤及其管理[M].北京:中国林业出版社,2001.
- [2] 江玉林,杜娟.高等级公路生态环境保护问题与对策[J].公路,2000(8):68-72.
- [3] 胥晓刚,杨冬生,胡庭兴.公路区域生态破坏及植被恢复技术应用与研究进展[J].中国园林,2005,21(1):51-54.
- [4] 刘孔杰,刘龙,周存秀.生物多样性在路域植被恢复中的应用[J].交通环保,2002,23(4):10-12.
- [5] 陈爱侠.路域生态系统环境功能与稳定性的初步研究[J].长安大学学报:建筑与环境科学版,2003,20(1):11-13.
- [6] 祝遵凌,胡海波,芦建国.不同植物配置模式在边坡防护中的应用比较[J].公路交通科技:应用技术版,2007(12):17-20.
- [7] 王云,龙春林,刘怡涛.植物在高速公路边坡防护中的应用[J].水土保持研究,2005,12(6):199-202.
- [8] 肖玉德.铜陵至黄山高速公路边坡绿化设计探讨[J].工程与设计,2007,21(2):148-150.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [10] 郑顺安.渭北黄土高原植被恢复过程中的土壤质量演变[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [11] 肖志红.土壤质量演变规律确保土壤资源持续利用[J].世界科技研究与发展,2001,23(3):28-32.
- [12] 中国科学院黄土高原综合科学考察队.黄土高原地区土壤资源及其合理利用[M].北京:中国科学技术出版社,1991.