

黄土丘陵沟壑区不同土地利用类型土壤抗侵蚀性研究

曾光^{1,2}, 杨勤科¹, 姚志宏^{1,2}

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 对黄土丘陵沟壑区安塞县不同土地利用类型的土壤抗冲性和崩解速率特征进行了测试。结果表明, 抗冲性指标和崩解速率在数值上均随着土层深度的增加而增大, 表明其抵抗侵蚀能力减弱。不同利用类型 0—10 cm 表层土壤抗冲性和崩解速率强弱关系均为: 灌木林 > 草地 > 乔木林 > 果园 > 农地, 而在 20—30 cm 土层及 40—50 cm 土层有所变化。不同土地利用类型下, 土壤崩解速率和土壤抗冲性之间存在着明显的直线递增关系, 灌木林地土壤崩解性能随抗冲性变化速率较快, 直线斜率达到 0.352, 而农地的崩解性能随抗冲性变化起伏最小, 直线斜率为 0.014 5, 草地、乔木林地和果园位于两者之间。其中, 乔木林地与草地二者直线斜率差异不大, 在相同取样深度上具有相同的变化特征。

关键词: 黄土丘陵沟壑区; 土壤抗冲性; 土壤崩解速率; 不同土地利用类型

文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2008)01-0006-04 中图分类号: S157.2, F301.2

Soil Anti-erodibility Under Different Landuse Types in the Loess Hill and Gully Area

ZENG Guang^{1,2}, YANG Qinko¹, YAO Zhihong^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The characteristics of soil anti-erodibility and disintegration rate under different landuse types were studied in Ansai County located in the loess hill and gully area. Results showed that the anti-erodibility and disintegration rate increased with soil depth increasing, indicating a decrease in soil anti-erodibility. Landuse types, in terms of soil anti-erodibility and disintegration rate within 10 cm of surface soils, ranked in the descendant order of shrubbery, grassland, high-forest, orchard, and farmland, but the order changed somewhat in 20—30 cm and 40—50 cm soil layers. Under different landuses, the relationship between the anti-erodibility and the disintegration rate was obviously a kind of progressively increased linearity. Soil disintegration rate for shrubbery changed fast as soil anti-erodibility changed and slope of the linear equation was 0.352 4. The linear equation slope for farmland was the smallest and is only 0.014 5. The linear equation slopes for grassland, high forest, and orchard were between 0.352 4 and 0.014 5. The difference of the linear equation slopes for grassland and high forest was little and their variation features in the same soil depth were almost identical.

Keywords: loess hill and gully area; soil anti-erodibility; soil disintegration rate; different landuse types

水土流失是黄土高原地区最主要的生态环境问题之一, 多年来已受到国内外许多研究学者的广泛关注。区域尺度土壤侵蚀的土壤学因子研究对区域水土流失的综合治理、区域水土流失土壤因子模型的建立具有实际意义, 而土壤抗冲性指标和土壤崩解速率是最能体现区域水土流失过程和土壤侵蚀规律的重

要指示指标。自朱显谟先生将土壤的抗侵蚀能力区分为抗蚀和抗冲两种性能^[1], 并提出土壤抗冲性是土壤抵抗径流对其机械破坏和推动下移的性能以来, 蒋定生^[2-3]、周佩华^[4]、李勇等对土壤抗冲性的测试方法、评价指标、影响因素以及抗冲性的时空变化规律等方面进行了卓有成效的研究^[5]。

收稿日期: 2007-10-22 修回日期: 2007-11-05

资助项目: 国家 973 研究项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”(2007CB407204); 黄委会治黄专项“黄土高原水土保持遥感监测关键技术研究”(2004SZ-01)

作者简介: 曾光(1982-), 男(汉族), 陕西省渭南市人, 在读硕士生, 主要研究方向为遥感和地理信息系统在土壤学中的应用。E-mail: zengguang05@mails.gucas.ac.cn.

通讯作者: 杨勤科(1962-), 男(汉族), 陕西省陇县人, 研究员, 博士, 主要研究区域水土流失和 GIS 应用。E-mail: qkyang@ms.iswc.ac.cn.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

目前,关于土壤抗冲性的研究大多采用原状土冲刷法为主^[2, 6-8]。土壤崩解性能是指土壤在静水中发生分散破碎塌落或强度减弱的现象,它也是评价土壤侵蚀严重程度的一项重要重要的土壤物理指标,土壤崩解速率的测定主要以蒋定生设计的土壤崩解试验装置来进行测定^[3]。

植被作为生态环境中重要的生态因子,对控制水土流失,提高土壤质量,改善当地生态环境起着十分重要的作用^[9-10]。目前,已有较多的研究报道了关于黄土高原不同土地利用方式对土壤抗冲性能的影响^[11-13],李勇等人着重从植物根系与土壤的关系角度研究了土壤抗冲性的机理^[14-15]。但是,目前关于黄土高原不同土地利用方式下土壤抗冲性与土壤崩解速率二者之间相关性的研究很少,对黄土高原土壤崩解速率的研究也比较零散,缺乏可比性。

本文对黄土高原不同土地利用类型土壤抗冲性和崩解性能进行了研究,以期研究不同土地利用方式下土壤抗冲性和土壤崩解速率的变化特征,以及相同土地利用方式下两者之间的定性关系,为区域尺度水土流失模型的建立和准确模拟提供科学依据,为水土流失的综合治理提供决策支持。

1 研究区自然概况

研究区设在地处陕北黄土高原丘陵沟壑区的安塞县,该区位于 E105°51′44″—E109°26′18″,N36°22′40″—N 36°32′16″,海拔 997~1 731 m。地形复杂,梁峁连绵,沟壑纵横。全县水土流失面积 2 832 km²,占总面积的 96%,是黄河中游水土流失重点县之一,也是西北典型生态环境脆弱区。安塞县属暖温带半干旱气候区,年平均降水量 500 mm 左右,且分布不均匀,降雨集中。年平均蒸发量 1 000 mm,无霜期 160~180 d 左右,年日照时数 2 352~2 573 h,≥10 °C 积温 2 866 °C,年均气温 8.9 °C。土壤以黄绵土为主,其分布约占总面积的 95% 左右。

2 研究方法

2.1 样地选择与测试内容

此次试验于 2007 年 9 月在陕北安塞县进行。测试点主要选择在不同退耕年限的自然荒坡上。在不同的立地条件下,选择不同土地利用方式的乔木林、灌木林、自然撂荒草地、果园以及农耕地分别进行测试,所选样点代表了研究区内典型的植被类型。

乔木林、灌木林地表含水量较高,持水性强,地上植被覆盖度在 70% 左右,枯枝落叶层厚度 1~2 cm,有机质含量丰富,土壤表层植物根系发达,团聚体含

量高,通气透水性好。自然撂荒草地土壤表面土层疏松,含水量较低,地表腐殖质厚度在 0.5 cm 左右,根系丰富。

每个测试样点均分为 0—10, 20—30, 40—50 cm 3 层,分别测定各层土壤含水量、土壤容重、土壤抗冲性指标(M)以及土壤崩解速率(B)。

2.2 试验步骤和方法

土壤抗冲性的测定选用蒋定生先生设计的原状土冲刷测定法^[3]。在野外,用条形环刀取样器(3 cm × 20 cm × 4 cm)分 3 层采集原状土,置于冲刷槽中进行冲刷实验。试验设计放水流量为 0.183 L/s,为了便于必较,坡度统一采用 15°,总用水量控制在 30 L。试验开始前,用净水将土样湿润 1~2 min,然后开始放水冲刷,分别记录冲刷时间与用水量。如果中途土样被冲刷完毕,记录用水量(水桶水位下降高度, cm)和冲刷时间。未冲刷完的土样在 105 °C 下烘干至恒重,称重,然后计算冲刷前后干土质量的差值(W),除以冲刷用水量(Q),既可以得到土壤的抗冲性指标(M)。土壤抗冲性的计算采用下面的计算公式:

$$M = W/Q \quad (1)$$

式中: M ——单位体积水量所冲刷掉的土壤质量;
 W ——冲刷掉的土壤质量; Q ——冲刷用水量。

土壤崩解速率的测定选用蒋定生先生自制的一种测定崩解速率的简易装置^[3]。它由玻璃缸、浮筒、网板 3 部分组成。浮筒直径 5.7 cm,高 22 cm,桶上有刻度,刻度的最小单位为 0.1 cm。

试验开始前,将玻璃缸中盛满清水,然后将土样放置在网板上,当浮筒挂上网板浸入水中时,开始计时,在时刻 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30 min 分别记录浮筒水位读数。土壤崩解速率的计算采用下面的计算公式:

$$B = \frac{S}{Y} \times \frac{L_0 - L_t}{t} \quad (2)$$

式中: B ——单位时间内所崩解的试样体积 (cm³/min); S ——浮筒底面积 (cm²); Y ——土壤容重, (g/cm³); L_0 ——试样浸入水中时浮筒的起始读数; L_t ——30 min 时的浮筒读数; t ——土样完全崩解的时间,未崩解完的则按试验终止时间 30 min 计。

各样点土壤容重和含水量的测定用环刀采集土样,在 105 °C 条件下烘干至恒重,然后分别进行计算。

3 结果与分析

3.1 不同土地利用类型下土壤的抗冲性

在黄土高原,水土流失主要是由于一次或几次短历时,高强度的大暴雨产生的地表径流汇集而形成的

股流强烈冲刷地表所形成的。降雨到达地表后,除去植被截留、地表微地形填洼、水分入渗等部分,剩余的大部分雨水在地表汇聚,并且随着汇聚水流的增大,径流会进一步对下层土壤进行冲刷,从而引起水土流失的加剧。但是,如果土壤中有丰富的植物根系,它们将土粒紧紧地缠绕在一起,或者土壤比较紧实,容重较大,流水就不容易对土壤产生分散、膨胀等作用,这样就会显著地降低径流对土壤的破坏和冲刷作用,从而提高了土壤的抗冲能力。

不同土地利用类型下土壤各层的抗冲性见表 1。在不同的土地利用情况下,土壤的抗冲性和同一个土壤剖面不同深度下土壤的抗冲性,其差异都是极显著的。退耕还林封育后,土壤表层的抗冲能力明显增强,各土地利用类型土壤表层抵抗径流冲刷能力强弱关系是:灌木林>草地>乔木林>果园>农地。灌木林地表层土壤抵抗流水冲刷能力最强, M 值为 0.24 g/L,其次是草地、乔木林地、果园和农地,其 M 值分别为 2.22, 3.50, 3.85 和 4.12 g/L。随着土层深度

的增加,不同利用类型土壤抗冲性强弱关系有所变化,在 20—30 cm 土层,土壤抵抗径流冲刷能力强弱关系是:灌木林>草地>农地>乔木林地>果园,灌木林地抗冲能力最强, M 值为 0.79 g/L,草地次之,而以果园最小, M 值为 21.25 g/L。在 40—50 cm 土层,土壤抗冲性强弱关系与 20—30 cm 土层规律相同,抵抗径流冲刷能力强弱关系是:灌木林>草地>耕地>乔木林地>果园。灌木林地 M 值最小,为 1.65 g/L,果园 M 值最大,为 34.71 g/L,从数值上来看,单位体积的水量对果园土壤的冲刷量是灌木林地土壤冲刷量的 21 倍,从而也就说明灌木林地在抵抗径流冲刷能力方面是果园的 21 倍。

随着土层深度的增加,土壤抗冲性 M 值均呈现出增大的趋势,说明土壤抗冲能力随着土层深度的增加明显的降低,深度越深,抗冲能力越小,这也是黄土丘陵沟壑区沟状侵蚀异常严重的主要原因之一。因此,应减少林地和草地放牧、减少林地砍伐等破坏行为。

表 1 不同土地利用类型土壤抗冲性能的测定结果

土地利用类型	退耕年限/a	坡度/(°)	坡位	取样深度/cm	含水量/%	容重/(g·cm ⁻³)	抗冲性/(g·L ⁻¹)	崩解速率/(cm ³ ·min ⁻¹)
刺槐林	20	25	坡中上	0—10	18.81	0.91	3.50	0.74
				20—30	14.93	1.23	12.52	1.71
				40—50	14.25	1.36	18.29	2.44
铁杆蒿群落	30	26	坡中	0—10	12.44	1.14	2.22	0.71
				20—30	12.75	1.25	5.46	1.06
				40—50	13.18	1.38	8.55	1.56
狼牙刺	36	40	坡下	0—10	11.15	1.02	0.24	0.54
				20—30	10.12	1.13	0.79	0.83
				40—50	9.94	1.27	1.65	1.05
果园	10	平地	坡下	0—10	11.50	1.08	3.85	0.78
				20—30	13.30	1.17	21.25	1.08
				40—50	13.23	1.51	34.71	1.65
玉米地	—	平地	坡下	0—10	13.73	1.16	4.12	0.81
				20—30	16.40	1.20	7.26	0.84
				40—50	15.10	1.25	12.55	0.93

3.2 不同土地利用类型下土壤的崩解性能

土壤崩解性能也是土壤物理化学性质、土壤结构性的一个侧面反映。不同土地利用类型土壤的容重、有机质含量等有较大差异,容重越大或有机质含量越高,其崩解速率越小,从而反映出土壤抵抗水分分散、剥落的能力就越强,土壤的抗侵蚀性就越好。

由表 1 中不同土地利用类型情况下土壤各层崩解速率可以看出,随着土层深度的增加,崩解速率也呈现出增大的趋势,表明土壤抗侵蚀能力的降低。对

各土地利用类型表层土壤崩解速率的分析中我们可以明显看出,各土地利用类型土壤抵抗水分分散能力的强弱关系是:灌木林>草地>乔木林>果园>农地。灌木林地土壤崩解速率最小,抵抗水分分散能力最强,其崩解速率 B 值为 0.54。然后依次是草地、乔木林地、果园和农地,其崩解速率 B 值分别为 0.71, 0.74, 0.78 和 0.81 cm³/min。在 20—30 cm 土层,土壤抵抗水体崩解分散能力的强弱关系是:灌木林地>农地>草地>果园>乔木林地,而在 40—50 cm 土

层, 土壤抵抗水体崩解分散能力的强弱关系有了明显改变, 农地抵抗水体崩解分散能力变得最强, 这可能与农地在耕作过程中的特点及形成的犁底层有很大关系, 耕作活动大大提高了该层的土壤容重, 使得土粒之间变得更加紧实, 从而表现出抵抗水体分散的能力增强。该层土壤抵抗水体分散能力强弱关系为: 农地 > 灌木林地 > 草地 > 果园 > 乔木林地。

3.3 土壤崩解速率与抗冲性的关系

不同土地利用类型下土壤抗冲性和崩解速率的变化关系见图 1。随着土层深度的增加, 各土地利用类型土壤抗冲性 M 与崩解速率 B 之间表现为良好的直线递增关系, 崩解速率随着土壤抗冲性的增大而增大, 即二者在反映土壤抗侵蚀性方面具有相同的特征。土壤抗冲性 M 与崩解速率 B 数值越大, 表明土壤抵抗水体分散、运移能力越差, 土壤抗侵蚀性就越差。比较不同土地利用类型下土壤抗冲性与崩解速率的直线变化特征可以发现, 灌木林地土壤崩解性能随土壤抗冲性变化速率最快, 直线斜率达到 0.352, 而农地的土壤崩解性能随抗冲性变化速率最小, 直线斜率仅为 0.009, 草地、乔木林地和果园位于两者之间, 灌木林地、草地和乔木林地土壤抗冲性与崩解速率线性关系中的直线斜率分别是农地的 39 倍、11 倍和 12 倍, 这与林(草)地植物根系在改善土壤结构、土壤理化性状、土壤团聚体状况以及土壤有机质含量等方面紧密相关。同时, 从图 1 也可以看出, 乔木林地与草地二者直线斜率差异不大, 土壤抗冲性随崩解速率变化而具有相同的变化特征。

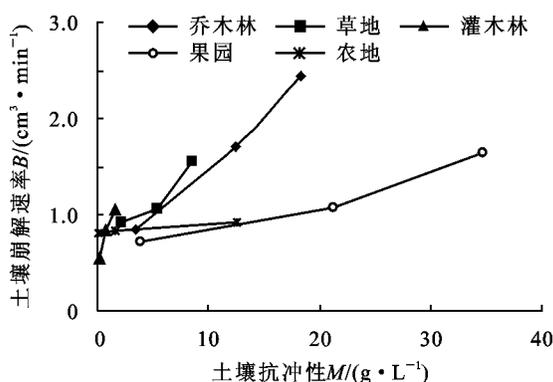


图 1 不同土地利用方式下土壤抗冲性与崩解速率的关系

4 结果与讨论

不同土地利用类型下土壤的抗冲性和崩解特性数值均随着土层深度的增加而增大, 表现为抵抗径流侵蚀能力的下降, 这一变化过程与不同深度土壤容重、土壤根系缠绕等因素有关。退耕还林后, 土壤表层 0—10 cm 的抗冲能力明显增强, 各土地利用类型

土壤表层抵抗径流冲刷能力强弱关系是: 灌木林 > 草地 > 乔木林 > 果园 > 农地, 而在 20—30 cm 土层以及 40—50 cm 土层, 土壤抵抗径流冲刷能力强弱关系相同, 表现为: 灌木林 > 草地 > 农地 > 乔木林地 > 果园, 灌木林地抗冲能力最强, 而以果园最小。

土壤崩解速率是反映土体抵抗水体分散快慢的一个指标。在 0—10 cm 土层, 土壤抵抗水体分散崩解强弱关系为: 灌木林 > 草地 > 乔木林 > 果园 > 农地。在 20—30 cm 土层, 土壤抵抗水体崩解分散能力的强弱关系是: 灌木林 > 农地 > 草地 > 果园 > 乔木林地, 而在 40—50 cm 土层, 土壤抵抗水体崩解分散能力的强弱关系有了明显改变, 农地抵抗崩解分散能力变得最强, 这可能与农地在耕作过程中形成的犁底层有很大关系, 耕作活动大大提高了该层土壤的容重, 使得土粒之间变得更加紧实, 从而表现出抵抗水体分散的能力增强。该层土壤抵抗水体分散能力强弱关系为: 农地 > 灌木林地 > 草地 > 果园 > 乔木林地。

同一种土地利用类型下土壤抗冲性 M (g/L) 与崩解速率 B (cm^3/min) 之间存在着良好的直线递增关系, 崩解速率随着抗冲性的增大而增大, 即二者在反映土壤抗侵蚀特征方面具有相同的特征。两者之间的关系可以用直线方程进行表达, 相关系数均在 0.92 以上, 相关性很强。同时, 直线斜率反映了两者之间的变化快慢关系, 灌木林地土壤崩解性能随抗冲性变化速率最快, 直线斜率达到 0.352, 而农地的崩解性能随抗冲性变化起伏最小, 直线斜率为 0.015, 草地、乔木林地和果园位于两者之间, 乔木林地与草地二者直线斜率差异不大。

[参 考 文 献]

- [1] 朱显谟. 黄土地区植被因素对水土流失的影响[J]. 土壤学报, 1960, 8(2): 110—121.
- [2] 蒋定生. 黄土区不同利用类型土壤抗冲能力的研究[J]. 土壤通报, 1979(4): 20—29.
- [3] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [4] 周佩华, 武春龙. 黄土高原土壤抗冲性的试验研究方法探讨[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 29—34.
- [5] 李勇. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的有效研究[J]. 科学通报, 1991(3): 390—393.
- [6] 刘国彬, 张光辉. 原状土冲刷法与人工模拟降雨法研究土壤抗冲性对比分析[J]. 水土保持通报, 1996, 16(2): 32—37.
- [7] 蒋定生, 李新华, 范兴科. 黄土高原水土流失严重地区土壤抗蚀性的水平变化和垂直变化规律[J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 1—8.

(下转第 38 页)

由表 5—6 可以得出幼林不同间作年限的遮荫程度,其计算公式是:

$$S_D = I_s(1 - R_r) \times 100 \quad (7)$$

式中: S_D ——遮荫程度(%); R_r ——林带阴影中相对光照强度。计算结果见表 7。

表 7 柳树不同树龄平均遮荫程度计算结果

树龄/a	1	2	3	4	5	6
遮荫程度/%	0.39	4.10	8.85	10.26	11.24	13.31

从表 7 中看出, J172 柳的遮荫程度随树龄的增大而逐步提高, 到生长第 4 a 时其的遮荫程度已超过 10%。生长到第 6 a 时遮荫程度达到 13% 以上。有研究说明, 在没有地下根系竞争条件下, 遮荫程度达到 25% 并不影响农作物的产量^[9]。由于 J172 柳生长到第 5 a 时根系对农作物的生长已经有不同程度的胁迫作用, 农作物产量开始下降。用柳树营造农田防护林造成农作物产量下降的遮荫程度远比 25% 的遮荫程度低, 13% 的遮荫程度应是柳树农田防护林的最高遮荫上限。因此, 用柳树营造农田防护林当其生长到第 5 a 以后, 应适当采取间伐措施。

4 结论

(1) 用苏柳无性系和青刚柳营造农田防护林试验结果发现, J194 柳的成活率和保存率最高, 苏柳无性系明显高于青刚柳, 而苏柳 3 个无性系之间的成活率和保存率差异不明显。各株行距之间的成活率及保存率差异也不明显, 表明所选的 3 个株行距都适于农田防护示范林的株行距配置。

(2) 在各树种(或无性系)中 J172 柳的生长量最大, 苏柳无性系的树高生长大于青刚柳且差异显著。无性系更适宜营造农田防护林。

(3) 通过计算, J172 柳(株行距 3 m × 6 m) 1~ 6 a 生的遮荫指数为 1.62% ~ 56.62%, 遮荫程度为 0.39% ~ 13.31%, 13% 的遮荫程度是柳树农田防护林的最高遮荫上限。

(4) 在临夏北塬这样的干旱半干旱地区, 只要做好合理的株行距配置, 苏柳无性系完全可以替代杨树, 成为农田防护林更新换代的优良树种之一。在柳树生长到第 5 a 以后, 开始对农作物产量产生影响, 应适当进行间伐。

[参 考 文 献]

- [1] 于慎言, 李嘉玉, 王树捕, 等. 甘肃省志·林业志[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1999: 281—319.
- [2] 周蜡虎, 赵克昌. 河西走廊土壤类型二白杨农田防护林成熟龄和更新龄探讨[J]. 林业科学, 2001, 37(2): 139—143.
- [3] 刘榕, 史元增. 甘肃杨树[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1995: 288—322.
- [4] 杨斌, 石培贤, 王涛, 等. J172 柳等柳树良种在甘肃的生长表现和推广前景浅析[J]. 甘肃林业科技, 2003, 28(4): 58—60.
- [5] 石培贤, 鲁军, 杨世民, 等. 临夏州引种柳树良种生长规律研究[J]. 甘肃林业科技, 2001, 26(4): 24—27.
- [6] 袁玉欣, 王颖, 裴保华, 等. 杨粮间作系统中林木遮荫作用研究[J]. 林业科学, 2002, 38(1): 36—43.
- [7] 袁玉欣, 裴保华, 王文全, 等. 杨粮间作条件下的作物产量与生物量[J]. 河北农业大学学报, 1996, 19(2): 34—40.
- [8] 李树人, 赵勇. 树冠遮光数学模型的研究[J]. 河南农业大学学报, 1994, 28(4): 361—366.
- [9] Qusada F. Simulation of tree shadow in agroforestry systems[M]// Reifsnnyder W S, et al. Meteorology and Agroforestry, Nairobi, ICR AF, 1989: 157—161
- (上接第 9 页)
- [8] 胡建忠, 周心澄, 李文忠, 等. 退耕地青海云杉人工林土壤抗冲性试验研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 6—10.
- [9] Zhang J, Tian G, Li Y, et al. Requirements for success of reforestation projects in a semiarid low-mountain region of the Jiasha River Basin, Southwestern China[J]. Land Degradation and Development, 2002, 13(5): 395—401.
- [10] Zhang J H, Li Y, Lindstrom M J, et al. Soil water properties in a recently established forest as affected by grazing in a semiarid valley[J]. Soil Use and Management, 2000, 16: 234—235.
- [11] 查小春, 唐克丽. 黄土丘陵林区开垦地土壤抗冲性的时间变化研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 8—11.
- [12] Wu Qinxiao, Zhong Hongyan. Soil and water conservation functions of sea buckthorn and its role in controlling and exploiting Loess Plateau[J]. Forestry Studies in China, 2000, 2(2): 50—56.
- [13] 刘国彬. 黄土高原草地土壤抗冲性及其机理研究[J]. 水土保持学报, 1998, 4(1): 93—96.
- [14] 李勇, 朱显谟. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 科学通报, 1991, 36(12): 935—938.
- [15] 李勇, 朱显谟. 黄土高原土壤抗冲性机理初步研究[J]. 科学通报, 1990, 35(5): 390—393.