

粤北石漠化地区¹³⁷Cs 分布特征与背景值研究

张素红^{1,2}, 李 森³, 严 平^{1,2}, 魏兴琥³, 高尚玉^{1,2}

(1. 北京师范大学 防沙治沙教育部工程研究中心 中国沙漠研究中心, 北京 100875;
2. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875; 3. 佛山大学 资源与环境科学研究所, 广东 佛山 528000)

摘 要:土壤侵蚀是决定土壤中¹³⁷Cs 含量及其再分配的主要因素。粤北岩溶山区¹³⁷Cs 背景值为(1 433. 60 ± 131. 40) Bq/m², 低于北半球的平均值,¹³⁷Cs 剖面分布基本符合指数分布形式。石漠化地区土壤¹³⁷Cs 活度平均为(6. 54 ± 0. 57) Bq/kg, 土壤中¹³⁷Cs 水平随石漠化程度增加有先降低后升高的趋势, 表明在重度石漠化阶段, 土壤活动已由侵蚀转为沉积。

关键词:石漠化; ¹³⁷Cs 分布; 背景值; 粤北

中图分类号:S157. 1 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2007)06-0361-04

¹³⁷Cs Distribution and Its Reference Inventory in Rocky
Desertification Land in North Guangdong

ZHANG Su-hong^{1,2}, LI Sen³, YAN Ping^{1,2}, WEI Xing-hu³, GAO Shang-yu^{1,2}

(1. MOE Engineering Center of Desertification and Blow-n-sand Control at Beijing Normal University, China Center of Desert Research, Beijing 100875, China; 2. College of Resources Science and Technology Research, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. The Resource and Environmental Science Research Institute, Foshan University, Foshan, Guangdong 528000, China)

Abstract: Soil erosion is the key factor that determined the ¹³⁷Cs content in soil and its redistribution. In karst rocky mountain areas in North Guangdong, the value of ¹³⁷Cs reference inventory is calculated to be (1 433. 60 ± 131. 40) Bq/m², which is lower than the global average value of Northern Hemisphere. The depth distribution of ¹³⁷Cs approximatively agrees to the exponential type. And the ¹³⁷Cs activity of rocky desertification land ranges from (0. 65 ± 0. 29) Bq/kg to (17. 48 ± 1. 03) Bq/kg, and average to be (6. 54 ± 0. 57) Bq/kg. Along with the intensification of rocky desertification, ¹³⁷Cs activity in soil decreases in earlier stage and increases later. It indicates that the process of soil erosion has gradually changed into the process of soil deposition.

Key words: karst rocky desertification; ¹³⁷Cs distribution; ¹³⁷Cs reference inventory; north of Guangdong province

¹³⁷Cs 是 20 世纪 50 - 70 年代核试验产生的放射性尘埃, 随大气环流在全球沉降, 半衰期 30. 17 a。沉降在地表的¹³⁷Cs 迅速被土壤颗粒和有机物强烈吸附, 基本不被淋溶流失和植物吸收, 在土壤中的损失与富集主要伴随土壤侵蚀和沉积活动发生, 是土壤侵蚀研究的良好示踪元素^[1]。大量研究表明, 地表¹³⁷Cs 的再分配是地表侵蚀或堆积的可靠证据^[2-4], 根据¹³⁷Cs 的流失量或堆积量, 可以定量定性分析土壤的流失量或堆积量。

粤北石漠化区域处于北江源头及上游水源涵养区, 不合理的人为活动破坏植被与土壤, 导致土壤流失, 水土资源短缺。因人口压力大, 陡坡开荒加剧, 且耕作模式粗放, 作物产量很低, 人为活动对土壤破坏更加严重, 形成恶性循环。石漠化成为制约当地经济发展的主要因素之一。通过对粤北石漠化土地分布最广的阳山、英德、连州、乳源等地进行野外考察, 选取不同石漠化程度的 9 个采样点进行¹³⁷Cs 取样测定, 确定区域¹³⁷Cs 背景值, 对比分析不同石漠化程度地区、不同利用类型土地¹³⁷Cs 区域分布特征, 以期对粤北石漠化地区土壤侵蚀特征、侵蚀速率研究提供基础性数据。

1 研究区概况

粤北岩溶山区位于 111° 55' - 114° 44' E, 23° 26' - 25° 31' N, 属南岭山地的一部分, 碳酸盐岩地层分布的范围达 9 475. 63 km², 形成裸露型、半裸露型岩溶山地、岩溶丘陵和岩溶准平原等 3 类岩溶地貌。气候类型为中亚热带—南亚热带季风气候, 雨热同期, 降水丰沛。年均气温 19. 0 ~ 21. 0℃, 年辐射总量 4 186. 8 × 10⁶ J/m², 年降水量 1 400 ~ 1 800 mm, 雨季 4 - 9 月, 雨季雨量占全年的 85% 左右。主要植被类型为石灰岩植被, 植物群落以喜钙植物为主, 灌木种类较多, 乔木较少。常见为火棘 (*Pyracantha fortuneana*)、绣线菊 (*Spiraea blumei*)、牡荊 (*Vitex negundo*)、继木 (*Loropetalum chinense*) 群落。土壤以石灰土为主, 海拔 600 m 以下的缓坡地、谷地、洼地中为红色石灰土, 地势较高的岩缝和洼地中为黑色石灰土。雨水、坡面水和裂隙水渗透大, 地表水易流失, 仅在溶蚀谷地、洼地内有地表径流, 山地和丘陵缺水干旱, 形成季节性严重缺水的不协调格局。据本次调查, 粤北岩溶山区的阳山、英德、连州、乳源等 4 县(市)

*收稿日期: 2007-01-13
基金项目: 国家自然科学基金项目(30471421)
作者简介: 张素红(1971-), 女, 新疆哈密人, 博士, 主要从事土地退化研究。

石漠化土地面积达 567.87 km², 其中极重度、重度、中度和轻度石漠化土地的面积分别占 0.59%、31.39%、43.46% 和 24.56%, 是我国西南土地石漠化的主要区域之一。

2 研究方法

在研究区内背景值取样点, 并根据裸岩率、植被覆盖度选择其它 8 个样点(图 1, 表 1), 进行¹³⁷Cs 取样测定, 分别代表不同石漠化程度土地、不同利用类型土地。¹³⁷Cs 样品包括全样和层样, 取样时对于区域背景值样点, 在小范围内取 5 组全样和 1 组层样, 层样取样深度 30 cm, 每 2 cm 取一个样; 其它区域性样点, 随机取 2~3 组全样, 全样均用土钻(截面积 43.10 cm²)取样。共采集 83 个样品, 样品过 1 mm 筛后送往四川大学物理系核物理实验室, 用 γ 谱仪进行¹³⁷Cs 活度测定。¹³⁷Cs 总量(面积浓度)用式(1)计算^[2]:

层样:
$$CPI = \sum_{i=1}^n C_i \cdot Bd_i \cdot D_i \cdot 10^3 \quad (1)$$

全样:
$$CPI = C_i \cdot W/S \quad (2)$$

式中: CPI(¹³⁷Cs point inventory)——样点的¹³⁷Cs 总量(Bq/m²); C_i——i 采样层¹³⁷Cs 活度(Bq/kg); Bd_i——i 采样层的土壤容重; D_i——i 采样层的深度(m); i——采样层序号; n——采样层数; W——过 1 mm 筛后的细粒样品重(kg); S——取样器横截面积(m²)。

通过各个样点¹³⁷Cs 含量与背景值比较, 分析各样点¹³⁷Cs 再分配特征^[5]:

$$CPR = \frac{CPI - CRI}{CRI} \times 100\% \quad (3)$$

式中: CPR(¹³⁷Cs Percentage Residual)——样点¹³⁷Cs 总量的变化率; CPI(¹³⁷Cs Point Inventory)——样点¹³⁷Cs 总量(Bq/m²); CRI(¹³⁷Cs Reference Inventory)——区域¹³⁷Cs 背景值总量(Bq/m²)。CPR 为负值表示¹³⁷Cs 流失, 正值表示¹³⁷Cs 富集。¹³⁷Cs 再分配形势与土壤侵蚀直接有关。

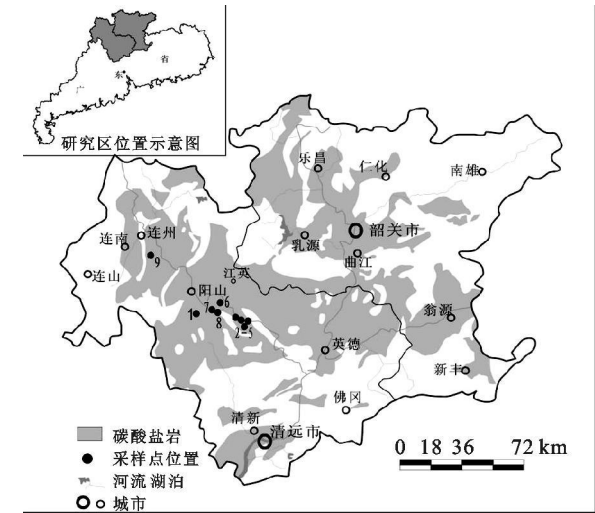


图 1 采样点位置示意

3 粤北石漠化土地¹³⁷Cs 分布特征

3.1 粤北石灰岩地区¹³⁷Cs 背景值特征

¹³⁷Cs 背景值是指特定地区保存下来的¹³⁷Cs 沉降总量, 即未受扰动、非积非蚀条件下的¹³⁷Cs 沉积总量^[6]。背景值的取样点选在广东省阳山县东山乡石井林场以东 5 km 处的台地上, 海拔 702 m, 属于典型的石灰岩草地, 土壤厚度 30~

70 cm 不等, 主要优势植物有白茅(*Imperata cylindrical* var. *major*)、金茅(*Eulalia speciosa*)、野古草(*Arundinella hirta*)、鸭嘴草(*Ischaemum aristatum*)、野香茅(*Cymbopogon caerius*)、苎麻(*Boehmeria nivea*)等, 草被高 70~150 cm, 植被盖度 80%~90%。终年有草被覆盖, 地形起伏较小, 几乎没有人为扰动的迹象, 符合背景值取样要求。选择一平坦处挖土壤剖面, 按标准取层样 1 组和全样 5 组,¹³⁷Cs 活度的深度分布如图 2 所示。

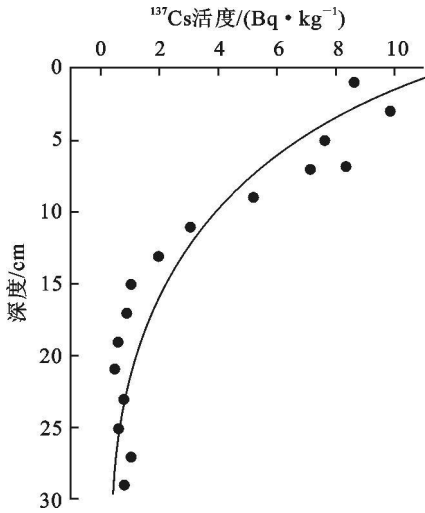


图 2 粤北背景值区域¹³⁷Cs 剖面分布与回归曲线

剖面中¹³⁷Cs 峰值出现在 2~4 cm 层位, 而不是地表 0~2 cm 层位, 这种尖峰型的剖面是近年来常见的¹³⁷Cs 分布形式, 可能是近几十年来¹³⁷Cs 在重力作用下长期缓慢扩散、迁移的结果。¹³⁷Cs 集中分布在土壤表层, 其含量一般遵循指数分布规律, Yang 等(1998)认为尖峰函数最适合现今的¹³⁷Cs 背景值深度分布^[7]。石井林场剖面代表了本区¹³⁷Cs 的原始沉积, 剖面未经历任何形式的侵蚀或堆积, 其总量代表区域¹³⁷Cs 背景值。

石井林场样品(全样 15, 层样 1 组, 共 30 个样品)显示, 90% 的¹³⁷Cs 集中分布在 0~15 cm, 活度在 0.61~14.89 Bq/kg, 平均值(5.82±0.47) Bq/kg。¹³⁷Cs 总量在 863.64~2508.97 Bq/m² 之间, 层样平均值(1403.244±142.28) Bq/m², 全样平均值(1463.96±120.52) Bq/m², 在误差范围内两者比较接近, 因此将粤北山区的¹³⁷Cs 背景值取为二者的平均值(1433.60±131.40) Bq/m²。在现有文献提供的¹³⁷Cs 背景值数据中, 除新疆库尔勒的背景值偏高^[8]、青藏高原中南部及美国西部背景值偏低外^[9-10], 北半球其他各个样点的¹³⁷Cs 背景值 2000~3500 Bq/m², 平均值约为 2500 Bq/m²^[10-11]。粤北¹³⁷Cs 背景值远远低于北半球平均值, 可能是因纬度低, 距离核试验中心较远的缘故。

近几十年来¹³⁷Cs 受重力影响长期缓慢下渗, 形成背景值区域¹³⁷Cs 尖峰型分布形式。¹³⁷Cs 与土壤侵蚀速度相比,¹³⁷Cs 下渗进程缓慢, 持续时间较长, 不足以对侵蚀引起的¹³⁷Cs 总量变化产生显著影响^[6-7], 背景值剖面的¹³⁷Cs 分布经回归后近似于指数型分布(图 2), 其分布函数为

$$C_s = 11.8285 \cdot e^{-0.1121 \cdot z} \quad (R^2 = 0.9089) \quad (4)$$

式中: z——深度(cm); C_s——某个深度 z 中的¹³⁷Cs 活度(Bq/kg)。

3.2 粤北石漠化地区¹³⁷Cs 分布特征

粤北¹³⁷Cs 样品测试结果(表 1)显示, 粤北各个采样点(纬度位置在 24°16′N~24°42′N 之间)¹³⁷Cs 活度在(0.65±0.29) Bq/kg 到(17.48±1.03) Bq/kg 之间(探测下限为 0.66 Bq/kg), 变率很大, 平均活度(6.54±0.57) Bq/kg, 高于广东省平均水平, 略高于卫生部 20 世纪 80 年代的调查结果^[12]。

表 1 粤北采样点¹³⁷Cs 活度、总量与变化率

编号	采样 编号	采样地点	地表状况	容重/ (g· cm ⁻³)	¹³⁷ Cs 活度平均值/ (Bq·kg ⁻¹)	¹³⁷ Cs 总量/ (Bq·m ⁻²)	¹³⁷ Cs 变化率/ %
1	SJ	阳山石井林场	未扰动草地, 植被盖度 90%~95%, 为背景值区域	1.42	5.82±0.47	1433.60±131.4	-
2	YB-L	阳山县岩背乡	自然草坡, 轻度石漠化, 裸岩率>30%, 植被盖度>50%	1.076	7.63±0.61	731.34±58.76	-48.99
3	YB-M	阳山县岩背乡	草坡, 中度石漠化, 裸岩率>40%	1.174	5.55±0.53	526.95±50.27	-63.24
4	YB-H	阳山县岩背乡	草坡, 重度石漠化, 裸岩率>60%, 植被盖度 30%~40%	0.934	17.48±1.03	1737.4±102.45	21.19
5	YB-A	阳山县岩背乡	峰林洼地底部, 农田。在石隆地内开垦, 种植玉米、木薯等	1.210	7.12±0.92	688.09±88.64	-52.00
6	DS-L	阳山县东山乡	轻度石漠化, 裸岩率>30%, 植被盖度 60%	1.101	9.41±0.69	779.68±56.33	-45.61
7	DS-M	阳山县东山乡	中度石漠化, 裸岩率>50%, 植被盖度 40%~50%	1.046	6.42±0.58	525.57±47.23	-63.34
8	DS-H	阳山县东山乡	重度石漠化, 植被盖度 30%~40%, 坡度 15~18°	1.104	13.61±0.89	1181.64±77.66	-17.58
9	LT-A	连州市龙潭镇	坡耕地, 种植玉米、木薯、辣椒等	1.275	3.46±0.37	260.80±31.51	-81.81
	平均				6.54±0.57	595.0±51.57	-43.92

土壤侵蚀是决定土壤剖面中¹³⁷Cs 含量及其再分配过程的主要因素。而不同形式的人为活动在一定程度上改变了地表性状和土壤结构等, 从而通过削弱或加剧土壤侵蚀, 使原有的¹³⁷Cs 分布形式和格局产生不同程度的变化。土壤侵蚀程度不同, 不同石漠化程度区域土壤中¹³⁷Cs 水平差异较大(图 3): 岩背、东山两处均表现出中度石漠化地区土壤¹³⁷Cs 含量低于轻度石漠化地区, 而重度石漠化地区土壤¹³⁷Cs 含量又增大。

¹³⁷Cs 被土壤中的黏粒和有机质强烈吸附于阳离子交换位置, 很难被置换, 化学和生物运移极小, 土壤中含量的变化主要受土壤颗粒物理运动的影响^[13-14]。¹³⁷Cs 含量变化表明, 在石漠化发展初期阶段, 土壤侵蚀量逐渐增大, 部分¹³⁷Cs 随土壤颗粒迁移, ¹³⁷Cs 含量降低; 石漠化发展高级阶段, 岩石裸露率升高, 土被覆盖率越来越低, 从理论上说土壤环境愈发恶化, ¹³⁷Cs 水平也应随之降低。但实际上在重度石漠化阶段, 土壤侵蚀源已经很少的情况下, 土壤侵蚀活动逐渐减弱而土壤沉积成为这一阶段的主要过程, ¹³⁷Cs 随着土壤颗粒运移至平坦低洼处沉积、富集, ¹³⁷Cs 水平反而提高。由于喀斯特地区存在独特而复杂的小生境, 在石漠化发展到末期阶段, 一些封闭或开放性不强的石坑、石沟、石槽等负地形内会有少量土壤留存并维持较高的养分水平, 因经历的土壤残积更久, ¹³⁷Cs 越发富集。极重度石漠化区域基岩完全裸露, 岩石裂隙十分发育, 仅在岩缝中有少量土壤残积, 并有少量植物生长于岩缝, 无法按采样标准采集土样, 只收集两处岩缝中的土壤样品, 测出其¹³⁷Cs 活度高达(368.12±18.56) Bq/kg, 土壤有机质含量也高出其它样点 5~10 倍。

耕作活动使土壤中¹³⁷Cs 的深度分布上趋于均匀化^[6], 人为扰动改变土壤结构也使得土壤易于被侵蚀, 土壤中¹³⁷Cs 含量降低。对岩背乡分布于峰丛洼地的农田及龙潭镇位于

山坡的农田采样分析表明, 土壤中¹³⁷Cs 含量损失与农田所处地貌位置也相关。龙潭镇坡耕地(LT-A)由于很少接收沉积, ¹³⁷Cs 随土壤被侵蚀而含量降低, 因此¹³⁷Cs 活度比位于沉积区洼地中农田(YB-A)土壤中¹³⁷Cs 活度低很多。

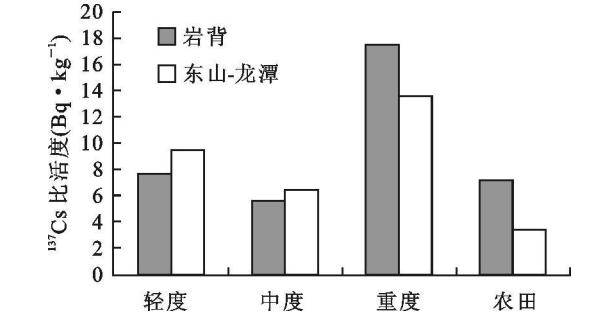


图 3 粤北采样点¹³⁷Cs 活度

3.3 粤北不同程度石漠化地区¹³⁷Cs 总量变化

与¹³⁷Cs 活度变化一致, 石漠化区域土壤中¹³⁷Cs 总量变化很明显。根据式(3)计算, 粤北各个采样点¹³⁷Cs 变化率平均为-43.92%, 除样点 YB-H 表现为沉积外, 各个样点均表现为¹³⁷Cs 大量流失, 流失率 17.58%~81.81%(表 1)。

¹³⁷Cs 变化率显示粤北岩溶山区土壤侵蚀程度很高, 随石漠化程度加重土壤中¹³⁷Cs 水平逐渐降低; 当土壤流失严重, 无足够土壤可供侵蚀时, 逐渐表现出土壤沉积。样品 YB-H 显示该区域¹³⁷Cs 富集, 该采样点位于阳山县岩背乡一山麓, 坡度 5°左右, 岩石裸露率高, 土壤集中分布在裸岩底部较为平缓处, 是典型的接受沉积区, 因此¹³⁷Cs 大量富集。

4 结论与讨论

(1) 粤北岩溶山区¹³⁷Cs 背景值为(1433.6±131.4) Bq/m², 这一数值低于北半球的平均值, 与文献中已有的我国和世界若干地区¹³⁷Cs 背景值相比明显偏低, 是由于所处的纬

度位置较低,距离核试验中心区域位置较远的缘故。背景值区域¹³⁷Cs 的深度分布形式接近指数函数,剖面中¹³⁷Cs 的峰值出现在 2– 4 cm 层位而不是地表,是近年来常见的¹³⁷Cs 背景值剖面分布形式。

(2) 根据我国卫生部于 20 世纪 80 年代所做的土壤放射性核素水平调查结果,我国土壤中¹³⁷Cs 平均活度为 10.45 Bq/kg,其分布有随纬度下降而降低的规律。25°N 以南土壤中¹³⁷Cs 平均活度为 6.20 Bq/kg^[12]。本次采样获得的粤北¹³⁷Cs 活度平均值为(6.54±0.57) Bq/kg,因各地土壤侵蚀程度的差异,¹³⁷Cs 水平差异很大。土壤侵蚀越严重的地区,¹³⁷Cs 活度越低,但在土壤堆积的小环境,¹³⁷Cs 却逐渐富集。在石漠化发展初期,土壤中¹³⁷Cs 水平随着石漠化程度加强而降低,当石漠化达到一定程度,无土壤提供侵蚀而只在低洼处不断堆积阶段,¹³⁷Cs 水平会逐渐增高。

(3) 由于岩溶山区特殊的地质基础,土壤有限,土壤侵蚀模数不会无限增大。当石漠化达到一定程度,土壤沉积量会高于侵蚀量。但这与研究区范围大小、土壤厚度、采样点地面组成异质性等因素有关,采样点位置选择也会影响区域土壤¹³⁷Cs 水平。可以确定的是,当喀斯特地区某区域土壤中¹³⁷Cs 水平增加,表明这一区域已无足够土壤可供侵蚀,石漠化已到严重程度。

参考文献:

[1] Ritchie J C, McHenry J R. Application of radioactive fallout caesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review [J]. Journal of Environmental Quality, 1990, 19: 215– 233.

[2] Walling D E, Quine T A. Use of caesium-137 as a tracer of erosion and sedimentation: handbook for the application of the caesium-137 technique[M]. Department of Geography, University of Exeter, Exeter, 1993: 15– 34.

(上接第 360 页)

91.35%。这与陈江南、王岚等人有关沙棘根系在裸露砒砂岩地区主要分布在 0– 35 cm 的土层中的结论大体相同^[5– 6]。

(2) 各径级根系的根密度分布情况是:径级 < 1 mm 和径级 1– 3 mm 的根系其根密度都在表层达到最大,之后随着土层深度的增加而减少。其它径级的根系其根密度的实测点分布规律为:表层较少,10– 20 cm 处达到最大,之后随着土层深度的增加而减少。

(3) 根长随着径级的增加大致呈现出减小的趋势。其中 < 1 mm 的吸收根在所有径级根系中所占比例最大,它沿土层分布的规律是:在表层最大,之后随着土层深度增加而减少。其它各级根系的实测点分布呈现出:在表层较少,10– 20 cm 处达到最大,之后呈沿土层深度增加而减小的趋势。

(4) 根量随着径级的增加呈现出增大的趋势。其中> 10 mm 径级的根系所占的比例最大,而< 1 mm 径级的根系所占的比例最小。各径级根系的绝大部分重量集中在 0– 40 cm 的土层内,40 cm 以下少有分布。

(5) 根瘤在土层表面分布最为集中,随土层深度的增加其量在减少。它主要集中分布在 0– 30 cm 的土层中,其占总根瘤量的比例达到 90.22%。这样的分布对于提高砒砂

[3] 严平,张信宝.¹³⁷Cs 法在风沙过程研究中的应用前景[J].中国沙漠,1998,18(2):182– 187.

[4] 张春来,董光荣,邹学勇,等.半固定沙丘表明的¹³⁷Cs 沉积特征[J].中国沙漠,2002,22(2):154– 158.

[5] 严平,董光荣.青海共和盆地土壤风蚀的¹³⁷Cs 法研究[J].土壤学报,2003,40(7):497– 503.

[6] 严平,董光荣,张信宝,等.青海共和盆地土壤风蚀的¹³⁷Cs 法研究②:¹³⁷Cs 背景值与风蚀速率测定[J].中国沙漠,2003,23(4):391– 397.

[7] 濮励杰,包浩生,彭补拙,等.¹³⁷Cs 应用于我国西部风蚀地区土地退化的初步研究:以新疆库尔勒地区为例[J].土壤学报,1998,35(4):441– 449.

[8] 文安邦,刘淑珍,范建容,等.雅鲁藏布江中游地区土壤侵蚀的¹³⁷Cs 示踪法研究[J].水土保持学报,2000,14(4):47– 50.

[9] Yan Ping, Dong Zhibao, Dong Guangrong, et al. Preliminary results of using ¹³⁷Cs to study wind erosion in the Qinghai Tibet Plateau[J]. Journal of Arid Environments, 2001, 47(4): 443– 452.

[10] 阎百兴,汤洁.东北黑土中¹³⁷Cs 背景值研究[J].水土保持学报,2004,18(4):33– 36.

[11] 濮励杰,包浩生, Higgitt D L. 土地退化方法应用初步研究:以闽西沙县东溪流域为例[J].自然资源学报,1999,14(1):55– 61.

[12] 朱永懿,杨俊诚,陈景坚.中国对¹³⁷Cs 在农业环境中行为的研究进展[J].中国核科技报告,1997(00):1– 7.

[13] 齐孟文,王琳.土壤侵蚀¹³⁷Cs 测定的示踪法原理及常用模型[J].中国水土保持,2004(7):16– 17.

[14] 严平,高尚玉,董光荣.土壤颗粒组成影响¹³⁷Cs 含量的初步实验结果[J].中国沙漠,2002,22(2):150– 153.

岩地区地表含氮量,增加土壤有机质起到了重要的作用。

致谢:水利部水土保持植物管理中心科技处的胡建忠处长和杜文嫣处长在试验过程中给予了很多的建议、指导和帮助,特表感谢!同时还要感谢水利部水土保持植物管理中心科技处的郭海和内蒙古农业大学的郭建英,北京林业大学的刘颖、殷丽强、何晶亮、夏博及上海理工大学的郭丹同学!

参考文献:

[1] 王俊峰,薛顺康,等.裸露砒砂岩地区沙棘治理成效、经验及发展战略问题[J].沙棘,2002,15(1):1– 4.

[2] 余海龙.内蒙古准格尔旗雨水利用的环境效应分析[J].人民黄河,2004,26(5):28– 29.

[3] 刘朝霞,张俊义,张二生.内蒙古准格尔旗丘陵沟壑区退耕还林(草)模式[J].中国沙漠,2002,22(5):506– 509.

[4] 胡建忠.沙棘的生态经济价值及综合开发利用技术[M].郑州:黄河水利出版社,2000:58– 61.

[5] 陈江南,辛瑛,等.砒砂岩区沙棘根系的调查与分析[J].沙棘,1998,11(2):10– 12.

[6] 王岚,张小名,等.论沙棘根系与功能 iv: 根系分化与分工[J].沙棘,2005,18(4):13– 19.