

黄土丘陵沟壑区退耕地土壤速效 N 的分布特征及其与物种多样性的关系

马祥华<sup>1,2,3</sup>, 焦菊英<sup>1</sup>, 温仲明<sup>1</sup>, 白文娟<sup>1,2,3</sup>, 焦 峰<sup>1</sup>  
( 1. 中国科学院水利部水土保持研究所; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 以黄土丘陵沟壑区的典型代表——安塞县为例, 调查了退耕地植被恢复过程中的植被群落特征, 分析了土壤速效 N 的分布特征、物种多样性的变化以及两者之间的相互作用关系, 结果表明: 土壤速效 N 的分布在剖面上具有明显的层次性, 即从上到下依次降低; 在不同植被群落中, 土壤速效 N 含量在 A、B 层间的变化幅度大于 B、C 层次间, 并且在植被恢复演替的前期, A、B 两土层土壤速效 N 含量的变化相对较小, 后期变化相对较大, 而 B、C 两土层土壤速效 N 含量的变化则恰恰相反。0~60 cm 土层土壤速效 N 的平均含量在植被恢复的草本和乔木阶段, 随植被的恢复演替而不断增加, 在植被恢复的灌木阶段其含量变化则相反。相关分析表明, Menhinick 指数和 shannon-wiener 指数与土壤速效 N 含量呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), simpson 指数和 Pielou 指数与土壤速效 N 含量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ )。因此, 在对退耕地进行植被恢复时, 应该保持和提高土壤速效 N 的含量, 以保证植被恢复的进程。

关键词: 退耕地; 土壤速效 N; 物种多样性; 分布特征; 相关性; 黄土丘陵沟壑区

中图分类号: S 158.3; X 176 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)01-0013-04

Distribution Characteristics of Soil Available Nitrogen and Its  
Correlation with Plant Species Diversity in Abandoned Lands in Hilly  
and Gully Regions on the Loess Plateau

MA Xiang-hua<sup>1,2,3</sup>, JIAO Ju-ying<sup>1</sup>, WEN Zhong-ming<sup>1</sup>, BAI Wen-juan<sup>1,2,3</sup>, JIAO Feng<sup>1</sup>  
(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR; 2. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Based on the typical hilly-gully regions on the Loess Plateau- Ansai county, the characteristics of plant communities during vegetation restoration were surveyed and the distribution characteristics of soil available N, the species diversity and their relationship were analysed. The results showed that soil available N gradually decreases from upper layers to under layers; the change ranges of the content of soil available N of different communities between layer A and layer B is bigger than that between layer B and layer C, and the changes of the content of soil available N in layer A and B is relatively smaller at the early stage of vegetation succession and is relatively bigger at the late stage of vegetation succession, the changes in layer B and C is just the contrary. The average content of soil available N of layer 0~60 cm gradually increases at the stages of herbage and arbour with vegetation restoration, and the change at the stage of shrub is just the contrary. There is most significant and positive correlations between soil available N and diversity index of shannon-wiener and richness index of Menhinick, and there is very significant and positive correlations between soil available N and diversity index of simpson and evenness index of Pielou. So in order to ensure actualization of vegetation restoration successfully, the content of soil available N in abandoned lands during vegetation restoration should be maintained and improved.

**Key words:** abandoned lands; soil available N; species diversity; distribution characteristics; correlation; loess hilly and gully regions

在水土流失严重的黄土高原, 由于自然和人为因素的影响, 使得原有植被遭到破坏, 土壤侵蚀进一步加剧, 土壤养分流失严重, 土壤质量和土地生产力大大降低。土壤作为植物生长繁殖的基地, 也作为一种重要的生态因子, 总是与植物(被)协同发展的<sup>[1]</sup>。土壤状况直接影响着植物的生长发育, 同时, 植物在整个生长发育过程中也通过根系分泌物和枯落物等改善土壤的水、热、气、肥等理化性质<sup>[2]</sup>, 植被与土壤的这种相互影响、相互促进的关系, 是植被恢复演替的动力。N 是植物生长发育的必要元素, 在植被的恢复和重建过程中起着举足轻重的作用。土壤速效 N 在植物群落中的空间格局常受群落中物种组成或物种大小的影响<sup>[3]</sup>, 同时, 物种的组成及其多样性也受到土壤速效 N 的制约, 因而, 研究土壤速效 N 的分布特征及其与植被系统的相互关系具有重要意义。目前, 有关土壤速效 N 分布特征的研究很多<sup>[4~8]</sup>, 有关土壤速效 N 与物种多样性关系的研究也有所报道<sup>[9~12]</sup>。然而, 这些研究以林地居多, 对黄土高原, 特别是退耕地的相关研究不够深入、系统。因此, 就黄土丘陵沟壑区退耕地土壤速效 N 的分布特征及其与物种多样性的关系进行分析, 旨在为黄土高原退耕地的植被恢复和重建提供科学依据, 这对指导当前退耕还林(草)具有重要的理论意义和实践意义。

1 研究区概况

研究区设在地处陕北黄土高原丘陵沟壑区的安塞县, 该区域位于 105°51'44"~109°26'18"E, 36°22'40"~36°32'16"N。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 km<sup>2</sup>, 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, 年日照时数 2 352~2 573 h, 10℃积温 2 866℃, 年均气温 8.9℃。土壤以黄绵土为主, 约占总面积的 95% 左右<sup>[13]</sup>。

2 研究方法

本研究采取野外调查观测采样与室内分析相结合的方法, 对黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中土壤速效 N 的分布特征及其与物种多样性的关系进行分析。为使该研究具有代表性, 在安塞县境内的纸坊沟、县南沟、西沟、郭阳湾等不同流域选择典型样地, 对不同的退耕年限、不同的植被类型等条件下的退耕地进行取土采样和植被样方调查, 并以相应的坡耕地作为对照。样地基本情况如表 1 所示。

2.1 样地调查

植被样方调查以草本、灌木和乔木分别进行, 调查的样方面积分别为 2 m×2 m、5 m×5 m 和 10 m×10 m。草本群落调查的内容包括植被的种类、高度、盖度、数量或多度、生活型、季相、群集度等特征。乔灌木植物群落调查的内容包括乔灌木的树高、枝下高、胸径、地径冠幅、盖度等, 并且详细记录取样的立地条件。土壤养分分别以 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 三个土壤层次进行取样, 取样方法采取 S 形取样法, 设置 6 个重复, 将 6 个重复的样品充分混合后带回实

验室, 土样风干后, 进行土壤有机质、全 N、速效 N 的测定, 测定的具体方法为: 有机质用重铬酸钾容量法—外加热法测定; 全 N 用半微量开氏法测定; 速效 N 用碱解扩散法(康惠法)测定<sup>[14]</sup>。土壤水分用土钻法进行取样, 用烘干法测定土壤含水量。

表 1 样地基本情况

样地号	退耕年限/a	坡度/°	坡向	坡位	群落
S1	4	15	阳坡	中部	猪毛蒿
S2	14~15	28	阳坡	中部	长芒草+ 达乌里胡枝子
S3	22	35	阳坡	中下部	白羊草+ 达乌里胡枝子
S4	30	30	阳坡	中上坡	白羊草
S5	40	37	半阴	中部	大针茅+ 铁杆蒿
S6	30	23	阴坡	中上部	柠条+ 铁杆蒿+ 长芒草
S7	41~42	20	半阴坡	中部	柠条+ 长芒草+ 达乌里胡枝子
S8	40	23	阳坡	中上部	刺槐+ 铁杆蒿+ 达乌里胡枝子
S9	45	25	阳坡	中部	刺槐+ 臭草+ 长芒草
S10	坡耕地	25	半阳坡	中部	黑豆+ 高粱+ 山桃等

注: 野外实验共进行样方调查 46 个, 本文选择有典型代表的 10 个样方。

2.2 物种多样性的测定

物种多样性是生物多样性在物种水平上的表现形式, 它通常可归纳为三种涵义: 种的丰富度、种的均匀度或平衡度以及种的综合多样性<sup>[15,16]</sup>。有关物种多样性指数较多, 各个指数的适用范围也不尽相同, 并且, 有时候单一的多样性指数不能对物种多样性进行准确而全面的评价。因此, 根据多个物种多样性指数的比较分析<sup>[16]</sup>, 该文选取 Margalef 指数、Menhinick 指数、Gleason 指数作为物种丰富度指数, 选取 shannon-wiener 指数、simpson 指数作为多样性指数, 选取 Pielou 指数( $J_{sw}$ )作为物种均匀度指数。各指数的计算公式<sup>[17]</sup>如下:

(1) 物种丰富度指数

Margalef 指数 
$$d_{Ma} = (S - 1) / \ln N$$

Menhinick 指数 
$$d_{Mc} = S / N^{1/2}$$

Gleason 指数 
$$d_{Gl} = S / \ln A$$

(2) 多样性指数

shannon-wiener 指数

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad i = 1, \dots, s$$

simpson 指数 
$$D = 1 / \sum_{i=1}^s P_i^2$$

(3) 物种均匀度指数

Pielou 指数 
$$J_{sw} = (\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i) / \ln S$$

以上各公式中字母的含义如下:

式中: S——物种数目; N——所有物种个体数之和; A——样方面积;  $P_i$ ——种  $i$  的相对重要值;

3 结果和分析

3.1 土壤速效 N 含量的分布

研究表明(表 2), 与对照的坡耕地相比, 植被恢复有效的提高了土壤速效 N 的含量。在植被的不同演替阶段, 土壤速效 N 含量在土壤剖面上呈规律性的分布, 即在所取的三个土层中, 土壤速效 N 含量随土层的不断加深而逐渐减小。表 2 可以看出, 土层 0~20 cm(以下以 A 代替) 和 20~40 cm

(以下以 B 代替) 的土壤速效 N 含量变化幅度较大, 其变化范围为 5.51 ~ 29.48 mg/kg, 而土层 20 ~ 40 cm 和 40 ~ 60 cm (以下以 C 代替) 的土壤速效 N 含量的变化幅度相对较小, 其变化范围为 1.04 ~ 10.65 mg/kg。表 2 也显示, A、B 两土层土壤速效 N 含量的变化, 在植被恢复演替的前期相对较小, 后期相对较大, B、C 两土层土壤速效 N 含量的变化则恰恰相反。这是由于在植被演替的初期, 大多为一年生草本植被首先进入, 随着植被恢复的不断进行, 一年生草本逐渐被多年生草本所替代, 而后在演替中后期灌木不断增多, 并成为建群种、优势种。灌木与草本植被相比, 其较深的根系消耗了大量的深层土壤的速效 N, 并且随着群落演替的进行, 植被群落郁闭度不断增大, 并产生大量的枯枝落叶, 使得归还土壤的有机质不断增加, 从而出现了上述现象。

3.2 土壤速效 N 在不同植被群落中的变化

表 2 看出, 在植被恢复的早期阶段(草本阶段), 0 ~ 60 cm 土层土壤速效 N 的平均含量随植被的恢复演替, 呈不断增加的趋势, 样地 1 与样地 2、3 相比, 其速效 N 含量较大, 这是因为样地 1 恢复年限较小, 受退耕前土壤耕作施肥的影响所致。植被恢复的灌木阶段, 与草本阶段不同, 随着恢复年限的增加, 0 ~ 60 cm 土层土壤速效 N 的平均含量不断降低, 这是因为在退耕地的植被恢复中, 灌木随着年限的增长, 其根系不断增长, 冠幅不断增大, 其消耗土壤速效 N 的能力大于草本, 故其含量有所降低; 乔木地 0 ~ 60 cm 土壤速效 N 的平均含量与草地是一致的, 这是因为它与灌木地相比, 虽然也消耗大量的土壤速效 N, 但其郁闭度大, 覆盖土壤表层的枯枝落叶层较厚, 群落归还土壤有机质也相对较多。对于不同土层, A、B 两土层土壤速效 N 含量与植被演替规律之间的变化关系与 0 ~ 60 cm 土层土壤速效 N 平均含量的变化规律是一致的, C 层土壤速效 N 含量与植被演替规律之间没有必然的联系。这是因为植被在消耗养分的同时, 又由于 C 层土壤相对较深, 使得 C 层土壤不能够接受大量的枯枝落叶物所形成的有机质, 所以其变化规律下不太明显。可以看出(表 2), 恢复年限较长的草地和乔木地对土壤速效 N 含量的提高有显著作用, 而灌木对其作用则不太明显。

相关分析表明(表 3), 土壤速效 N 含量与土层呈极显著负相关( $P < 0.01$ ), 与土壤全 N 和有机质均呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 虽与土壤含水量呈正相关, 但不显著。从上述的相关关系中可以得出, 土壤有机质含量越高, 土壤的速效 N 含量也越大。随着退耕年限的不断增长, 群落的覆盖度以及地上生物量也不断增加, 这就改善了土壤的水分, 再加上植被枯枝落叶层的增厚, 增加了土壤有机质含量, 使得土壤的理化性质得到很大的改善, 进而提高了土壤速效 N 含量。

3.3 物种多样性特征及其与土壤速效 N 含量的相关性

表 4 表明, 对于自然恢复的草本群落, 随着恢复年限的不断增长, Gleason 指数、Margalef 指数以及群 Pielou 指数的变化趋势是一致的, 都表现为先减小后增大。退耕刚开始为群落演替的初期, 大都为一年生的草本植被, 各个物种竞相生长, 物种繁多, 故使得物种丰富度及其均匀度相对较大。随着植被恢复演替的进行, 一年生的物种逐渐被多年生的草

本所代替, 该演替阶段的建群种和优势种竞相生长力增强, 杂草的竞相生长力相应的减弱, 从而使物种的丰富度、多样性以及均匀度都出现不同程度的下降。到了第三个阶段, 即到了草本群落演替的顶级阶段, 地带性的植被逐渐出现, 由于物种种类有所下降, 虽然物种丰富度有一定的增加, 但是与初期相比还是有所下降, 而 simpson 指数和群落的均匀度指数  $J_{we}$  有一定的增大, 并且达到与初期相当的水平。对于灌木林下植被群落的物种多样性来说, 随着人工植被种植年龄的不断增大, 林下植被的物种丰富度、多样性以及均匀度均有不同程度的增加, 这表明, 对退耕地进行自然恢复的同时, 进行一定的人工种植灌木, 不但可以加速植被恢复的进程, 还能提高物种多样性, 但是这一人为作用一定要以遵守自然客观条件为前提, 否则, 就难以达到预期的目的。

表 2 土壤理化性质

样地	土层	有机质/ / cm	全 N/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	有效 N/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	土壤含水量 / %
		( $g \cdot kg^{-1}$ )	( $g \cdot kg^{-1}$ )	( $mg \cdot kg^{-1}$ )	
S1	0 ~ 20	5.63	0.33	27.93	5.50
	20 ~ 40	4.34	0.26	14.31	6.08
	40 ~ 60	3.23	0.20	10.34	6.62
	0 ~ 60	4.40	0.26	17.53	6.07
S2	0 ~ 20	5.54	0.30	20.69	5.48
	20 ~ 40	4.30	0.23	12.41	6.59
	40 ~ 60	3.60	0.17	8.62	7.27
	0 ~ 60	4.48	0.23	13.91	6.45
S3	0 ~ 20	6.39	0.32	21.72	6.38
	20 ~ 40	5.41	0.27	16.21	6.93
	40 ~ 60	4.15	0.22	11.72	7.21
	0 ~ 60	5.32	0.27	16.55	6.84
S4	0 ~ 20	10.91	0.50	40.43	7.34
	20 ~ 40	6.55	0.31	19.48	7.64
	40 ~ 60	3.70	0.20	8.85	6.84
	0 ~ 60	7.05	0.34	22.92	7.27
S5	0 ~ 20	12.50	0.76	53.96	9.46
	20 ~ 40	9.12	0.55	36.55	11.31
	40 ~ 60	7.93	0.46	26.55	12.55
	0 ~ 60	9.85	0.59	39.02	11.10
S6	0 ~ 20	6.22	0.44	29.48	6.85
	20 ~ 40	3.04	0.23	16.90	4.92
	40 ~ 60	2.75	0.25	15.86	4.83
	0 ~ 60	4.00	0.31	20.75	5.53
S7	0 ~ 20	4.03	0.26	23.96	11.65
	20 ~ 40	2.13	0.13	9.31	9.27
	40 ~ 60	1.71	0.13	7.93	3.28
	0 ~ 60	2.62	0.17	13.73	8.06
S8	0 ~ 20	9.15	0.56	41.21	9.10
	20 ~ 40	4.10	0.26	14.83	4.59
	40 ~ 60	3.72	0.24	10.52	4.94
	0 ~ 60	5.66	0.35	22.19	6.21
S9	0 ~ 20	12.78	0.78	59.65	12.30
	20 ~ 40	8.56	0.51	30.17	4.80
	40 ~ 60	6.30	0.38	25.17	5.46
	0 ~ 60	9.21	0.56	38.33	7.52
S10	0 ~ 20	5.27	0.29	21.03	11.05
	20 ~ 40	4.14	0.22	15.34	11.80
	40 ~ 60	3.41	0.17	12.07	10.63
	0 ~ 60	4.27	0.23	16.15	11.16

注: 表中 0 ~ 60 cm 的数值均为 0 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm 三个土层的加权平均值。

表 3 土壤速效 N 与其它理化性质的相关系数				
	土层	有机质/ / cm	全 N /( g · kg <sup>-1</sup> )	含水量 / %
速效 N	- 0. 635* *	0. 946* *	0. 971* *	0. 58

\* \* P< 0. 01 极显著水平。

表 4 不同群落的多样性指数特征						
样地	物种丰 富度指数			多样性指数		均匀度指数
	Gleason	Margalef	Menhinick	simpson	shannon- wiener	Pielou
	指数	指数	指数	指数	指数	指数
S1	6. 49	1. 58	0. 72	0. 63	1. 38	0. 25
S2	5. 77	1. 46	0. 73	0. 72	1. 48	0. 25
S3	2. 16	0. 43	0. 29	0. 60	0. 99	0. 18
S4	3. 61	0. 80	0. 41	0. 69	1. 30	0. 22
S5	4. 33	1. 09	0. 61	0. 65	1. 25	0. 26
S6	4. 33	0. 91	0. 38	0. 69	1. 41	0. 23
S7	6. 49	1. 52	0. 65	0. 77	1. 80	0. 31
s8	6. 49	1. 24	0. 36	0. 61	1. 17	0. 17
s9	7. 21	1. 80	0. 82	0. 83	1. 92	0. 38

相关分析(表 5)表明,对于所选取的 4 个土壤理化性质指标与物种丰富度、物种多样性以及群落的均匀度都有一定的相关关系,但它们相关的显著程度不同。有机质与 Menhinick 指数、shannon- wiener 指数和 Pielou 指数呈显著正相关( $P < 0. 05$ ),与 simpson 指数呈极显著正相关( $P < 0. 01$ );全 N 与 Menhinick 指数和 shannon- wiener 指数呈显著正相关( $P < 0. 05$ );虽然土壤含水量与各个指数的相关性没有达到极显著水平,但是从表 5 中可以看出,其与物种多样性指数(simpson 指数)的相关系数也较高,达到了 0. 83。

与上述的三个理化指标相比,土壤速效 N 含量与物种多样性的相关性最为显著。表 5 可以看出,土壤速效 N 与 Menhinick 指数和 shannon - wiener 指数的相关系数为 0. 991和 0. 995,分别达到了极显著水平( $P < 0. 01$ ),与 simpson 指数和 Pielou 指数的相关系数为 0. 953 和 0. 957,也分别达到了显著水平( $P < 0. 05$ ),同时,土壤速效 N 与 Gleason 指数和 Margalef 指数虽然没有达到极显著水平,但它们的相关系数也较大,分别为 0. 78 和 0. 92。

表 5 物种多样性指数与土壤理化性质指标的相关系数						
	Gleason 指数	Margalef 指数	Menhinick 指数	simpson 指数	shannon- wiener 指数	Pielou 指数
有机质	0. 59	0. 78	0. 967*	0. 998* *	0. 980*	0. 973*
全 N	0. 82	0. 95	0. 983*	0. 93	0. 983*	0. 94
速效 N	0. 78	0. 92	0. 991* *	0. 953*	0. 995* *	0. 957*
土壤含水量	0. 01	0. 27	0. 69	0. 83	0. 69	0. 79

\* \*  $p < 0. 01$  极显著水平; \*  $p < 0. 05$  显著水平。

上述的相关分析表明,土壤速效 N 作为制约植被生长参考文献:

[ 1 ] 杨万勤,钟章成,陶建平,等. 缙云山森林土壤速效 K 的分布特征及其与物种多样性的关系[ J ]. 生态学杂志, 2001, 20 ( 6 ): 1- 3.

[ 2 ] 杨万勤,钟章成,陶建平. 缙云山森林土壤速效 P 的分布特征及其与物种多样性的关系研究[ J ]. 生态学杂志, 2001, 20 ( 4 ): 24- 27.

[ 3 ] 韩玉萍,杨万勤,李旭光,等. 缙云山森林土壤速效 N 的分布规律[ J ]. 西南师范大学学报, 1998, 23( 2 ): 212- 217.

的因子之一,它的缺乏不但影响植被的生长,而且也会影响物种的多样性,从而会影响植被恢复的进程,所以,在对退耕地进行植被恢复时,土壤的速效 N 必需满足植物生长的需要,以保证植被的快速健康生长。有机质中含有大量植物生长所必需的营养元素,它对于植物的正常生长也有一定的制约作用<sup>[18]</sup>,而土壤中的氮素有 99% 以上来源于有机质,以腐殖质的形式存在,土壤有机质含量的增加,也意味着间接的增加了土壤 N 素含量,所以提高土壤有机质以提高土壤速效 N 含量,为植被恢复和物种多样性保护提供应有基础保障。因此,在退耕地的植被恢复中,土壤速效 N 和有土壤机质含量的增加,不但改善了土壤的结构性能,增强了土壤的透水性、蓄水性以及通气性,而且也提高了物种多样性,促进了植被群落的演替,为植被恢复的顺利进行提供了良好的土壤环境条件。

## 4 结论与讨论

根据以上对黄土丘陵沟壑区退耕地土壤速效 N 的分布特征及其与物种多样性关系的分析,得出以下结论:

( 1 ) 土壤速效 N 含量在所取的 3 个土壤剖面层次上呈规律性的变化,即从上向下依次减小;在植被恢复演替的前期,A、B 两土层土壤速效 N 含量的变化幅度相对较小,后期变化幅度相对较大,B、C 两土层土壤速效 N 含量的变化则恰恰相反。

( 2 ) 不同植被群落中,植被恢复的草本和乔木阶段 0 ~ 60 cm 土层土壤速效 N 的平均含量,随植被的恢复演替而不断增加,植被恢复的灌木阶段,其含量随植被的恢复演替而不断减小。

( 3 ) 土壤速效 N 与其它土壤理化指标的相关分析表明,土壤速效 N 含量与土层呈极显著负相关( $P < 0. 01$ ),与土壤全 N 和有机质均呈极显著正相关( $P < 0. 01$ ),与土壤含水量呈正相关,但不显著。

( 4 ) 对于自然恢复的草本群落,随着恢复年限的不断增长,Gleason 指数、Margalef 指数以及群落的均匀度指数的变化呈先减小后增大的趋势;对于灌乔木林下植被群落的物种多样性来说,随着人工植被年龄的不断增长,林下植被的物种丰富度、多样性以及均匀度均有不同程度的增加。

( 5 ) 土壤速效 N 含量与 Menhinick 指数和 shannon - wiener 指数呈极显著正相关( $P < 0. 01$ ),与 simpson 指数和群落的均匀度呈显著正相关( $P < 0. 05$ )。因此,在对退耕地进行植被恢复时,应该采取有效的措施以保持和提高土壤速效 N 含量,改善土壤的理化性质和生物状况,保护物种多样性,促进植被恢复的进程,确保退耕还林(草)工程的顺利实施。

间、植被类型和恢复方式的不同,使得土壤含水量、土壤容重、土壤孔隙度以及土壤水稳性团聚体有一定的差异,具体表现如下:

(1) 在退耕地的植被恢复过程中,随着退耕年限的增长,上层土壤含水量不断增加,下层土壤含水量不断减小,并且随着土层的不断加深,土壤水分逐步趋于稳定;0~60 cm 土层,随恢复年限的延长,土壤平均容重不断减小,孔隙度不断增大,>0.25 mm 土壤水稳性团聚体平均含量不断增加。

(2) 对于不同的植被类型的土壤含水量,以草地相对较高,乔木地相对较低,灌木地介于两者之间;0~60 cm 土层,

参考文献:

[ 1 ] 卜崇峰,刘国彬,戴全厚. 纸坊沟流域狼牙刺对土壤物理性状的影响[ J ]. 水土保持研究,2003,10( 2 ):25– 27.

[ 2 ] 吴蔚东,黄春昌,王景明,等. 江西省山地几种森林类型下土壤物理性状的研究[ J ]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3( 1 ):50– 55.

[ 3 ] 曹世杰,王小青,徐会霞. 蒙山几个树种改良土壤物理性状的作用探讨[ J ]. 山东林业科技,2002,( 5 ):10– 11.

[ 4 ] 王明玖,卫智军,许志信,等. 不同处理措施对退化人工养草草地土壤物理性状的影响[ J ]. 内蒙古草原,1996,( 1 ):45– 48.

[ 5 ] 张海林,秦耀东,朱文珊. 耕作措施对土壤物理性状的影响[ J ]. 土壤,2003,( 2 ):140– 144.

[ 6 ] 庞学勇,刘庆,刘世全,等. 人为干扰对川西亚高山针叶林土壤物理性质的影响[ J ]. 应用与环境生物学报,2002,8( 6 ):583– 587.

[ 7 ] 张蕴微,韩建国,李志强. 放牧强度对土壤物理性质的影响[ J ]. 草地学报,2002,10( 1 ):74– 78.

[ 8 ] 曹河水. 不同治理模式侵蚀地土壤物理特性变化的研究[ J ]. 土壤,2001,( 5 ):260– 263.

[ 9 ] 刘苑秋,薛建辉,杜天真,等. 森林重建对退化红壤结构特性的影响[ J ]. 南京林业大学学报,2003,27( 1 ):16– 20.

[ 10 ] 王政权,王庆成. 森林土壤物理性质的异质性研究[ J ]. 生态学报,2000,20( 6 ):945– 950.

[ 11 ] 琚彤军,刘普灵,郑世清,等. 燕沟流域水土流失治理及其效益分析[ J ]. 西北农林科技大学学报,2003,31:65– 67.

[ 12 ] 朱显谟. 黄土高原与农业[ M ]. 北京: 农业出版社,1989.

( 上接第 16 页)

[ 4 ] 郑剑英,吴瑞俊,翟连宁. 黄土丘陵沟壑区小流域土壤养分的分布特征[ J ]. 水土保持通报,1996,16( 4 ):26– 30.

[ 5 ] 王国梁,刘国彬,许明祥. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应[ J ]. 水土保持通报,2002,22( 1 ):1– 5.

[ 6 ] 王洪杰,李宪文,史学正,等. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系[ J ]. 水土保持学报,2003,17( 2 ):44– 46.

[ 7 ] 王军,傅伯杰,邱扬,等. 黄土高原小流域养分的空间分布格局—Kriging 插值分析[ J ]. 地理学报,2003,22( 3 ):373– 379.

[ 8 ] 朱兆良. 中国土壤氮素[ M ]. 南京: 江苏科技出版社,1992. 48– 52.

[ 9 ] 杨小波,张桃林,吴庆书. 海南琼北地区不同植被类型物种多样性与土壤肥力的关系[ J ]. 生态学报,2002,22( 2 ):190– 196.

[ 10 ] 安树青,王峥峰,朱学雷,等. 土壤因子对次生森林群落物种多样性的影响[ J ]. 武汉植物学研究,1997,15( 2 ):143– 150.

[ 11 ] 张林静,岳明,顾峰雪,等. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带植物群落物种多样性与土壤环境因子的耦合关系[ J ]. 应用生态学报,2002,13( 6 ):658– 662.

[ 12 ] 黎云祥,刘钊,陈利,等. 南充市近郊退化灌丛草坡群落物种多样性与环境因子灰色关联度分析[ J ]. 四川师范学院学报,1998,19( 2 ):189– 192.

[ 13 ] 高旺盛,董孝斌. 黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价—以安塞县为例[ J ]. 自然资源学报,2003,18( 2 ):182– 188.

[ 14 ] 南京农业大学. 土壤农化分析[ M ]. 北京: 农业出版社,1986.

[ 15 ] 汪殿蓓,暨淑仪,陈飞鹏. 植物群落物种多样性研究综述[ J ]. 生态学杂志,2001,20( 4 ):55– 60.

[ 16 ] 陈廷贵,张金屯. 十五个物种多样性指数的比较研究[ J ]. 河南科学,1999,17:55– 57.

[ 17 ] 谢应忠. 植物生态学导论[ M ]. 银川: 宁夏人民出版社,2000.

[ 18 ] 王琳,张金屯,上官铁梁,等. 历山山地草甸的物种多样性及其与土壤理化性质的关系[ J ]. 应用与环境生物学报,2004,10( 1 ):18– 22.