

黄土丘陵区退耕地土壤养分变异特征

焦峰^{1,2}, 温仲明¹, 焦菊英¹, 李锐¹

(1 中国科学院水利部, 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨陵 712100; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 在延安、安塞和吴旗选择典型黄土丘陵不同植被类型区的不同年限退耕地为试点, 通过 S 型方法采集土样, 应用土壤养分系统研究法进行了养分分析, 并应用传统统计学对土壤养分变异进行了研究。结果表明, 不同植被类型区土壤养分性质均存在着空间变异。受传统农业影响的有机质、全 N、有效 N 和速效 K 的变异较大; 而全 P 和速效 P 的变异相对较小。不同退耕年限的土壤养分含量及其变异系数存在着明显差别。退耕初期, 受耕作和施肥影响, 土壤养分含量较高, 植被特征指数呈显著上升趋势且变异性较大; 随着耕作施肥活动的停止和植被恢复对土壤养分的消耗, 使土壤养分含量有一个降低的过程, 土壤养分的变异也较大; 而随着植被恢复和群落演替的继续, 植被枯落物逐步增多, 土壤也逐步发育, 植被指数与土壤养分均呈增长趋势, 并在退耕地 20 年左右时达到稳定状态, 但土壤的发育往往滞后于植被特征的变化。

关键词: 黄土丘陵区; 退耕地; 土壤养分; 变异特征; 变异系数

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2005)06-0724-07

Heterogeneity of soil nutrients of cropland returning to forest on the loess hilly region

JIAO Feng^{1,2}, WEN Zhong-ming¹, JIAO Ju-ying¹, LI Rui¹

(1 Inst. of Soil and Water Conservation, CAS and MOWR, Northwest Sci-Tech Univ. of Agric. and For., Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Graduate School of the CAS, Beijing 100039, China)

Abstract: Typical cropland returning to forest with different fixed number of years under different vegetation types in Yan'an, Ansai and Wuqi on the loess hilly region were selected as experimental sites to study the heterogeneity of soil nutrient. Soil samples were collected using S shape method and analyzed using soil nutrient systematic approach. Soil nutrient variability was studied with traditional statistics method. The results showed that soil nutrient content manifested remarkable variability under different vegetation types. Soil organic matter, total N, available N and available K had a relatively greater variability, which were mainly attributed to the former agricultural fertilization system. However, total P and available P had a smaller variability. Except total P and available P, the content and variability of soil nutrients with different fixed number of years returning cropland to forest showed remarkable discrepancy. In the beginning of cropland returning to forest, the content and variability of soil organic matter, total N, available N and available K were higher caused by tillage and fertilization. Vegetation index showed an ascending tendency with a great variability. Thereafter, soil nutrients took on a declining process in company with the quit of cultivation and fertilization and the consumption of soil nutrients by vegetation restoration. Soil nutrients had a great variability as well. Along with further progress of vegetation restoration and continue of community succession, litter fall of vegetation successively increased and soil progressive developed too. Both vegetation index and soil nutrients showed an increasing tendency and got stable state around 20 years of cropland returning to forest. However, soil development lagged behind change of vegetation characteristics.

Key words: the loess hilly region; cropland returning to forest; soil nutrient; variability; coefficient of variation

收稿日期: 2004-11-09

修改稿收到日期: 2005-04-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40301029, 40271074); 中科院“西部之光”人才培养计划项目(B22012900);

中国科学院水土保持研究所领域前沿项目(SW04101)资助。

作者简介: 焦峰(1967—), 男, 陕西省三原县人, 在职博士研究生, 副研究员, 主要从事水土保持环境效应评价方面的研究工作。

水土保持研究所博士生赫晓惠, 硕士生卜耀军、马祥华、史婉丽、白文娟等参加了本研究的野外调查工作, 在此表示诚挚的感谢!

土壤具有时空变异性,人类活动对土壤特性(物理、化学和生物性质)的空间变异具有深刻的影响^[1-2]。20世纪60年代法国 Matheron 基于区域变量理论创立了地统计学^[3],土壤空间变异性研究开始。70年代后期,国内外许多学者开始将该方法应用于土壤调查、制图及土壤空间变异性研究中^[4-6]。80年代,土壤空间变异性研究成为土壤学科的重要研究内容之一^[7]。在水土流失严重的黄土高原,退耕还林以改良土壤为基础,通过植被枯枝落叶层、根系和固氮作用,对地表生物种类、丰度和组成产生重大影响,改善了土壤物理性质,改变了地表的特征^[6],从而成为恢复植被、改善生态的重要措施之一。目前,对黄土高原退耕地土壤养分变化影响的研究多集中在坡面或小流域尺度上^[7,9-11],而在中大尺度上,关于黄土高原退耕地土壤养分变异特征的研究报道不多。本研究以典型黄土丘陵区的延安、安塞和吴旗为例,探讨了黄土丘陵区退耕还林(草)对区域土壤养分环境的影响,为区域植被恢复和生态建设的可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究方法

研究区在水土流失严重的黄土丘陵沟壑区:延安市宝塔区(属森林带北缘)、安塞县(属森林草原带)和吴旗县(属草原带),代表着不同植被类型区。该区属于旱半干旱气候区,降雨量在400~550mm之间。植被类型为森林草原植被—温性草原植被。主要土壤为黄绵土,粉沙质。天然植被已破坏殆尽,灌木呈零星分布,形成以中旱生草本占绝对优势的植被群落^[12-14]。

本研究首先通过访谈、历史资料查证等确定植被群落恢复的时间,用GPS和常规测量方法测定样地地理位置和样地环境(坡度、坡位、坡向、植被群落等),采用S型取样,每个样点在5m范围内分别分层(0—20cm、20—40cm和40—60cm)采集5钻土壤样品,将每层5钻样品充分混合后,用四分法取约1千克土样,经风干后过1mm筛,供作土壤养分分析。采样时间为2003年7—8月,共选取116个样点,其中延安32个,安塞46个,吴旗38个。

1.2 分析项目与方法

植被调查主要通过访谈、历史资料查证等确定植被群落恢复的时间,每个样点调查10个样方,记录样方内群落的名称、盖度、物种组成及其名称、数量、高度等。土壤养分状况采用系统分析法(ASI)分

析^[15-16],有机质采用重铬酸钾容量法—外加热法测定;全N采用半微量开氏法(K_2SO_4 - $CuSO_4$ -Se蒸馏法)测定;有效N采用碱解扩散法测定;全P采用钼锑抗比色法($HClO_4$ - H_2SO_4 法)测定;速效P采用钼锑抗比色法(0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提法)测定;速效K采用原子吸收光谱法(NH_4OAc 浸提法)测定。

1.3 数据处理

1.3.1 植被特征 植被特征指数依据下列有关公式计算^[17]:

(1)物种丰富度指数 SRI(Species richness index),即 Margalef 指数, $SRI = (S - 1) / \ln(n)$, 式中, S 为群落中的物种数, n 为个体总数;

(2)多样性指数 SDI(Species diversity index),即 Shannon-Wiener 指数, $SDI = - \sum (P_i \ln P_i)$, P_1, P_2, \dots, P_s 为有 S 种物种组成的群落的物种比例多度;

(3)物种均匀度指数 SEI(Species evenness index),即 Pielou 指数, $SEI = SDI / \ln(S)$, 式中参数含义同上。

1.3.2 土壤养分特征 土壤养分数据分析采用传统的统计学和 DPS 软件进行^[16]。基本参数涉及平均值指标、变异指标、两样本均值比较的 t 检验。

(1)平均值指标(\bar{x}) 表示一组性质相同观测值的平均水平。用算术平均数来表示,与其它资料比较,标志着样本或数据的数量和质量水平,用于描述具有对称分布资料的集中优势。计算公式为: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, 其中 n 为样本容量, x_i 为观测值;

(2)变异性指标(CV) 用以描述一组计量资料观测值之间参差不齐的程度。用变异系数来表示,即标准差(SD)与平均值之比的百分数,反映计量资料的变异程度,无量纲。计算公式为: $CV = SD / \bar{x}$, 式中 $SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$, 其中 n 为样本容量, x_i 为观测值;

(3) t 检验 t 检验是比较两样本平均数是否存在差异的分析方法。对两组数据平均数比较,其原假设是两组数据所随机抽取的总体的平均数的差数为0,即 $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$,其数学表达式为: $t = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / s_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}$, 式中 \bar{x}_1, \bar{x}_2 为两样本平均数, $s_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}$ 为两样本平均差数的标准误差。根据 t 检验可以计算其显著水平,要求数据来自正态总体,两总体方差相等,如条件不满足,需对数据做适当转换,使转换后的数据满足条件(表1),对变化后的数据

进行 t 检验。

单样本的 Kolmogorov-Smirnov (KS) 检验表明, 土壤全 N、全 P、有效 N 和速效 K 符合正态分布, 而有机质和速效 P 并不符合正态分布 (表 1)。利用非正

态分布数据将导致变异函数的误差增大, 所以应对该数据进行转换, 经对数转换后土壤有机质和速效 P 的数据趋于正态分布 (表 1), 计算有机质和速效 P 的实验变异函数值用转换后的数据。

表 1 土壤养分的描述性统计分析 & 正态分布检验结果
Table 1 Results of soil nutrients for descriptive statistics and K-S test

土壤养分 Soil nutrients	平均值 Mean	中数 Median	标准差 SD	极差 Range	变异系数 CV	最小值 Min	最大值 Max	K-S 值 K-S value
有机质 OM (g/kg)	5.865	5.323	2.358	14.61	0.402	2.056	16.67	0.001*
有机质 OM [#]	1.703	1.672	0.357	2.093	0.210	0.721	1.864	0.084
全 N Total N (g/kg)	0.368	0.342	0.142	5.852	0.385	0.152	0.913	0.110
全 P Total P (mg/kg)	0.531	0.528	0.039	0.232	0.074	0.428	0.660	0.981
有效 N Avail. N (mg/kg)	22.63	20.94	9.827	59.89	0.434	10.23	67.12	0.050
速效 P Avail. P (mg/kg)	0.648	0.587	0.263	1.534	0.406	0.272	1.806	0.009*
速效 P Avail. P [#]	-0.502	-0.534	0.357	1.894	-0.711	-1.303	0.591	0.405
速效 K Avail. K (mg/kg)	49.92	47.53	18.56	98.61	0.372	23.93	122.5	0.208

* 代表 $\alpha = 0.05$ 的水平, 非正态分布; # 对数转换后的结果; * is no-normal distribution at $\alpha = 0.05$ level; # represents the result of log conversion; SD = 标准差 Standard deviation; CV = 变异系数 Coefficient of variation, 下同 Same as follows.

2 结果与分析

2.1 土壤养分的空间差异特征

将不同土壤剖面的土壤养分测定值平均, 进行不同植被类型区数据配对分析, 三个植被类型区 t 检验的配对样本数分别为: 延安 32、安塞 46、吴旗 38。结果 (表 2) 表明, 延安与安塞在有机质、全 N、有效 N、速效 K 含量上存在显著性差别, 延安有机质、全 N、有效 N、速效 K 含量分别比安塞高出 25.15%、38.83%、53.62% 和 28.29% (表 3); 延安与吴旗在有机质、有效 N 和速效 K 含量上存在显著性差别, 延安有机质、有效 N 和速效 K 含量分别比吴旗高出 13.26%、43.31% 和 46.70%; 安塞与吴旗在有机质、全 N 和速效 K 含量上存在显著性差别, 其中安塞有机质和全 N 含量比吴旗低 10.50% 和 24.40%, 但速效 K 含量比吴旗高出 14.35%。

各植被类型区土壤养分含量的变异系数集中在 0.1~0.5 的中等变异程度。对比三个植被类型区土壤养分变异系数, 表明有机质和全 N 含量的变异行为基本一致, 为延安 > 安塞 > 吴旗; 全 N 和全 P 变异行为一致, 为安塞 > 延安 > 吴旗; 速效 P 的变异行为为延安 < 安塞 < 吴旗; 速效 K 的变异行为为延安 > 吴旗 > 安塞。

2.2 土壤养分的时序变异特征

根据野外调查数据, 我们选择了 81 个退耕后没有或很少受人工干扰的自然恢复草地, 按照退耕年限和植被群落特征将其分为 0~5 年、5~10 年、10~15 年、15~20 年和 20~25 年 5 个退耕时段, 不同退耕时段土壤样点的分布分别为: 26、13、11、14 和 17 个。

由表 4 可以看出, 退耕后土壤养分含量随时序的变异存在显著差别。受耕作和施肥影响, 在退耕 0~5 年里, 土壤残留的有机质、全 N、有效 N 和速效 K 等养分含量相对较高, 其均值分别为 5.193 g/kg、0.330g/kg、20.11mg/kg 和 40.27mg/kg; 随着耕作施肥活动的停止和植被恢复对土壤养分的消耗, 土壤有机质、全 N、有效 N 和速效 K 含量有一个降低的过程, 在退耕 5~10 年时达到最低值, 其均值分别为 4.286 g/kg、0.279g/kg、15.88 mg/kg 和 38.75 mg/kg。随着植被演替的进行, 植被枯落物逐步增多和土壤逐步发育, 土壤有机质、全 N、有效 N 和速效 K 含量逐步升高, 在退耕 15~20 年时, 其均值已超过退耕初期, 并在退耕 20~25 年时其均值分别达到 6.955 g/kg、0.750 g/kg、27.32mg/kg 和 60.64mg/kg, 与退耕 0~5 年相比, 其均值增长幅度分别为 33.93%、127.27%、35.85% 和 50.58%。

表 2 不同植被类型区土壤养分含量配对检验结果

Table 2 Paired sample test about soil nutrients content in different vegetation style area

土壤养分 Soil nutrients	配对地点 Paired sites	配对平均值 Paired mean	标准差 SD	标准误 MSE	95%置信区间 95% Confidences	T 值 T-Value	显著水平 SL
有机质 OM	延安 YA/安塞 AS	0.388	0.398	0.123	0.2029 ~ -0.5723 *	4.675	0.000 *
有机质 OM	延安 YA/吴旗 WQ)	0.226	0.337	0.102	0.0501 ~ -0.4020 *	2.852	0.006 *
有机质 OM	安塞 AS/吴旗 WQ	-0.162	0.308	0.090	-0.3112 ~ -0.0118 *	2.520	0.014 *
全氮 TN	延安 YA/安塞 AS	0.362	0.657	0.405	0.0274 ~ -0.6971 *	2.064	0.047 *
全氮 TN	延安 YA/吴旗 WQ	0.291	0.683	0.452	-0.0783 ~ -0.6611	1.659	0.107
全氮 TN	安塞 AS/吴旗 WQ	0.071	0.102	0.009	-0.1189 ~ -0.0229 *	3.355	0.001 *
全磷 TP	延安 YA/安塞 AS	0.005	0.044	0.002	-0.0191 ~ 0.0280	0.443	0.659
全磷 TP	延安 YA/吴旗 WQ	0.012	0.034	0.001	-0.0063 ~ 0.0304	0.957	0.342
全磷 TP	安塞 AS/吴旗 WQ	0.008	0.038	0.002	-0.0116 ~ 0.0268	1.447	0.154
有效氮 AN	延安 YA/安塞 AS	10.362	10.99	95.73	5.2127 ~ 15.5128 *	4.106	0.000 *
有效氮 AN	延安 YA/吴旗 WQ	8.974	11.06	103.4	3.3807 ~ 14.5673 *	3.489	0.001 *
有效氮 AN	安塞 AS/吴旗 WQ	-1.389	6.465	41.81	-4.6254 ~ 1.8480	0.977	0.332
速效磷 AP	延安 YA/安塞 AS	0.023	0.237	0.057	-0.1024 ~ 0.1482	0.439	0.662
速效磷 AP	延安 YA/吴旗 WQ	0.027	0.266	0.071	-0.1204 ~ 0.1734	0.429	0.670
速效磷 AP	安塞 AS/吴旗 WQ	0.004	0.284	0.081	-0.1392 ~ 0.1464	0.056	0.956
速效钾 AK	延安 YA/安塞 AS	13.63	19.64	344.9	3.8502 ~ 23.4010 *	2.936	0.005 *
速效钾 AK	延安 YA/吴旗 WQ	19.66	20.87	343.3	9.4710 ~ 29.8508 *	4.228	0.000 *
速效钾 AK	安塞 AS/吴旗 WQ	6.035	14.10	192.0	-0.9005 ~ 12.9711 *	2.003	0.049 *

* $P < 0.05$ (t 检验 t Test); MSE = Mean standard error, SL = Significance level, OM = Organic matter, TN = Total nitrogen, TP = Total phosphorus, AN = Available nitrogen, AP = Available phosphorus, AK = Available potassium, YA = Yan'an, AS = Ansai, WQ = Wuqi; 下同 Same as follows.

表 3 不同植被类型区土壤养分的理化性质统计

Table 3 Results of soil nutrients for descriptive statistics in different vegetation style area

样本地点 SS	样本特征 SC	OM(g/kg) *	TN(g/kg)	TP(mg/kg)	AN(mg/kg)	AP(mg/kg)	AK(mg/kg)
延安	样本数 SA	32	32	32	32	32	32
Yan'an	平均值 Mean	6.106	0.404	0.537	29.68	0.665	61.76
	最小值 Min	4.055	0.271	0.428	16.47	0.272	24.88
	最大值 Max	9.679	0.913	0.614	67.12	1.085	122.5
	变异系数 CV	0.514	0.284	0.077	0.446	0.301	0.378
安塞县	样本数 SA	46	46	46	46	46	46
Ansai	平均值 Mean	4.654	0.291	0.532	19.32	0.642	48.14
	最小值 Min	2.054	0.152	0.450	10.23	0.313	24.81
	最大值 Max	9.207	0.591	0.660	39.02	1.376	82.51
	变异系数 CV	0.460	0.322	0.088	0.331	0.406	0.299
吴旗县	样本数 SA	38	38	38	38	38	38
Wuqi	平均值 Mean	5.635	0.362	0.525	20.71	0.639	42.10
	最小值 Min	3.819	0.239	0.467	13.22	0.300	23.93
	最大值 Max	9.488	0.624	0.574	35.54	1.806	81.27
	变异系数 CV	0.480	0.272	0.047	0.317	0.489	0.313

注 (Note): SS = Sample sites, SC = Sample characteristic, SA = Sample amount, 下同 Same as follows.

表 4 不同退耕时段土壤养分的理化性质统计

Table 4 The statistics for soil physical and chemical in different period of cropland to forest (PCF)

退耕时段 PCF	统计特征 SC	OM(g/kg)	TN(g/kg)	TP(g/kg)	AN(mg/kg)	AP(mg/kg)	AK(mg/kg)
0~5yr (以猪毛蒿、 赖草群落为主)	样本数 SA	26	26	26	26	26	26
	均值 Mean	5.193	0.330	0.518	20.11	0.696	40.27
	最小值 Min	2.344	0.179	0.463	10.75	0.327	23.93
	最大值 Max	7.059	0.913	0.593	64.65	1.154	79.95
	变异系数 CV	0.510	0.448	0.060	0.504	0.372	0.480
5~10yr (以长芒草、 铁杆蒿群落为主)	样本数 SA	13	13	13	13	13	13
	均值 Mean	4.286	0.279	0.538	15.88	0.688	38.75
	最小值 Min	2.056	0.165	0.496	10.23	0.385	24.80
	最大值 Max	5.616	0.452	0.586	23.73	1.342	58.96
	变异系数 CV	0.218	0.280	0.052	0.264	0.459	0.255
10~15yr (以铁杆蒿、长芒草、 白羊草群落为主)	样本数 SA	11	11	11	11	11	11
	均值 Mean	4.559	0.277	0.532	17.315	0.542	47.46
	最小值 Min	2.834	0.170	0.482	12.76	0.437	33.46
	最大值 Max	5.845	0.358	0.564	23.16	0.775	66.79
	变异系数 CV	0.162	0.195	0.063	0.186	0.210	0.221
15~20yr (以长芒草、 白羊草群落为主)	样本数 SA	14	14	14	14	14	14
	均值 Mean	6.615	0.429	0.535	24.54	0.531	51.87
	最小值 Min	4.175	0.216	0.477	12.93	0.313	28.94
	最大值 Max	9.502	0.624	0.620	28.91	0.622	68.02
	变异系数 CV	0.252	0.275	0.076	0.256	0.218	0.261
20~25yr (以白羊草、 大针茅群落)	样本数 SA	17	17	17	17	17	17
	均值 Mean	6.955	0.750	0.531	27.32	0.672	60.64
	最小值 Min	4.116	0.240	0.428	14.08	0.347	34.35
	最大值 Max	9.850	0.614	0.660	39.02	1.177	70.93
	变异系数 CV	0.356	1.820	0.113	0.455	0.370	0.308

注(Note): 猪毛蒿 *Artemisia scoparia*, 赖草 *Leymus scalinus*, 长芒草 *Stipa bungeana*, 铁杆蒿 *Artemisia gmelinii*, 白羊草 *Bothriochloa ischaemun*, 大针茅 *Stipa grandis*.

从土壤养分总体变异程度来看(表 1), 变异系数集中在 0.1~0.5 的中等变异程度, 变异最大为有效 N, 变异系数达 0.434, 其次为速效 P、有机质、全 N 和速效 K, 变异系数分别为 0.406、0.402、0.385 和 0.372, 全 P 最小, 变异系数为 0.074。从退耕时序来看(表 4), 退耕 0~5 年里, 土壤有机质、全 N、有效 N 和有效 K 变异较大, 其变异系数分别为 0.510、0.448、0.504 和 0.480, 随着耕作施肥活动的停止和退耕时间延长, 土壤有机质、全 N、有效 N 和有效 K 的变异程度有一个降低的过程, 在退耕 10~15 年时达到最低值, 其变异系数分别为 0.162、0.195、0.186 和 0.221, 而全 P 和速效 P 的变异程度相对较小; 随着退耕和植被演替的继续进行, 各土壤养分变异系数基本呈上升趋势。

2.3 退耕地植被与土壤养分的互动效应

图 1 显示退耕地植被指数(A、B、C)和土壤养分(D、E、F)随退耕年限的变化趋势。不同植被特征指

数和土壤养分含量随退耕年限的变化虽有差异, 但变化趋势基本一致。退耕初期, 受耕作和施肥影响, 土壤有较高的养分含量, 为植被恢复和生长提供了有利条件, 物种丰富度指数(SRI, 图 1A)、物种多样性指数(SDI, 图 1B)和物种均匀度指数(SEI, 图 1C)都呈上升趋势; 在退耕 3 或 4 年时达到第一个峰值, 此时物种丰富度、多样性和均匀度指数值分别为 1.5(退耕 4 年时, 图 1A)、0.6(退耕 4 年时, 图 1B)和 0.4(退耕 4 年时, 图 1C); 而随着耕作施肥活动的停止和植被恢复对土壤养分的消耗, 使土壤养分含量(主要是有机质和全氮含量)有一个降低的过程, 植被恢复和群落演替对土壤养分的消耗量大于其富集量, 土壤养分含量在退耕 6 年时达到最低点, 此时土壤有机质、全氮和全磷含量分别为 3.11g/kg(退耕 6 年时, 图 1D)、0.21mg/kg(退耕 6 年时, 图 1E)和 0.50mg/kg(退耕 6 年时, 图 1F), 而此时植被指数随着退耕年限增加呈下降趋势, 在退耕 7 或 8 年时达

到低谷,此时物种丰富度、多样性和均匀度指数值分别为 1.1(退耕 8 年时,图 1A)、0.6(退耕 7 年时,图 1B)和 0.3(退耕 8 年时,图 1C);随着植被恢复和群落演替的进行,老的植被群体不断被新一代植被群体替代,植被枯落物和死亡根系逐步增多,土壤养分的富集量逐渐大于其消耗量,土壤逐步发育,植被指数和土壤养分含量均呈增长趋势,植被特征指数在退耕 15 年左右时达到最大,此时物种丰富度、多样性和均匀度指数值分别为 1.7(退耕 16 年时)、0.8(退耕 15 年时)和 0.5(退耕 15 年时),并在退耕 20 年后植被指数变化趋势变得平缓,并逐渐趋于稳定;而土壤养分含量有一个较长的连续上升区间,在退

耕 20 年左右时达到峰值,此时土壤有机质、全氮和全磷含量分别为 7.49g/kg(退耕 19 年时,图 1D)、0.49 g/kg(退耕 19 年时,图 1E)和 0.62 g/kg(退耕 18 年时,图 1F),但土壤的发育滞后于植被特征的变化。

退耕为植被恢复和生长,特别是草本植物,提供了有利的生长条件。土壤养分,特别是土壤有机质和氮素主要来源于植物枯落物和动植物残体,所以随着退耕年限的延长、植被恢复和植被群落演替的进行,为土壤养分富集提供了基础,土壤养分的富集同时也为植被的正常生长和植被群落的演替提供了支持。

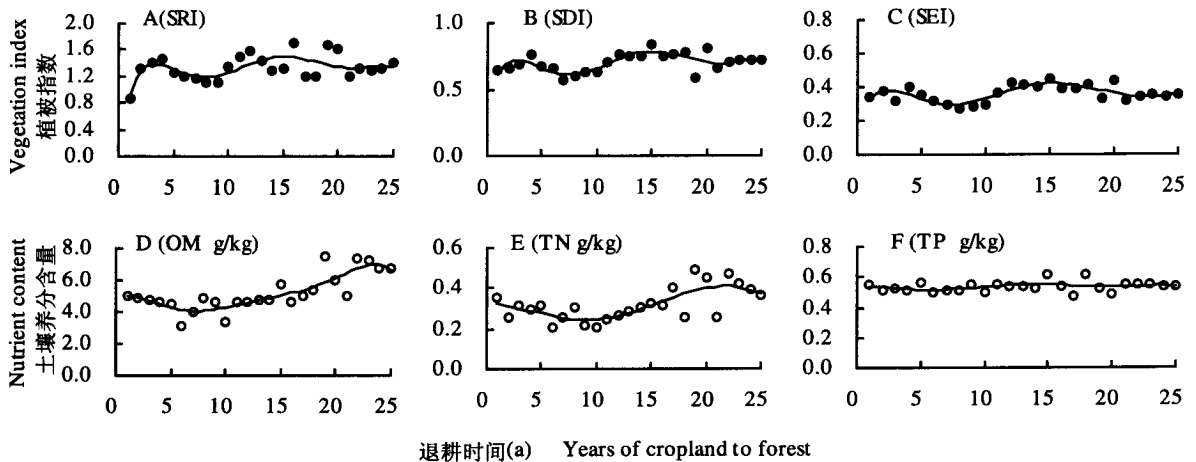


图 1 黄土丘陵区退耕地植被指数变化趋势图

Fig.1 Trend grams of vegetation index and soil nutrient in loess hilly region

(SRI: 物种丰度指数 Species richness index; SDI: 多样性指数 Species diversity index; SEI: 物种均匀度指数 Species evenness index; OM: 有机质 Organic matter; TN: 全氮 Total N; TP: 全磷 Total P)

3 结论

从不同植被类型区土壤养分含量配对分析比较结果看,土壤养分在受控于不同植被类型区土壤和降雨条件的同时,退耕还林的规模、耕地和荒坡转变的方向以及人工建造植被的类型等成为土壤养分发生变异的不可忽视的因素。森林带北缘的延安,土壤养分含量普遍高于安塞和吴旗,其有机质、全 N 和速效 K 含量比安塞和吴旗具有更高的空间变异性;安塞与吴旗在有机质、全 N 和速效 K 含量上存在显著性差别,其中安塞有机质和全 N 含量低于吴旗,而其速效 K 含量高于吴旗。彭文英^[18]研究了退耕还林还草土壤性质变化的区域差异时也表明,水热条件、土壤性质和植被恢复好坏是引起土壤养分积累和变异差别的主要原因。

从不同退耕年限土壤养分的变异看,退耕初期,受耕作和施肥影响,土壤养分含量较高,植被特征指数变异性较大;而随着耕作施肥活动的停止和植被恢复对土壤养分的消耗,使土壤养分含量有一个降低的过程,此时土壤养分的变异也较大。随着植被恢复和群落演替的进行,植被枯落物逐步增多,土壤也逐步发育,植被恢复与土壤养分均呈增长趋势,并在退耕 20 年左右时达到平衡状态,但土壤的发育往往滞后于植被特征的变化。

参考文献:

- [1] Li Y, Lindstrom M J, Zhang J. Spatial variability patterns of soil redistribution and soil quality on two contrasting hillslopes[J]. Acta Geologica Hispanica, 2000, 35: 261-270.
- [2] Li Y, Lindstrom M J. Evaluating soil quality—Soil redistribution rela-

- tionship on terraces and steep hillslope[J]. Soil Science Society of America Journal, 2001, 65:1500-1508.
- [3] 孙洪权. 地质统计学及其应用[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 1990.
- Sun H Q. The geologic statistic and its application[M]. Beijing: Chinese Mining University Press, 1990.
- [4] Burgess T M, Webster R. Optimal and isarithmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging[J]. J. of Soil Sci., 1980, 31:315-331.
- [5] Burgess T M, Webster R. Optimal and isarithmic mapping of soil properties. II. Block kriging[J]. J. of Soil Sci., 1980, 31: 333-341.
- [6] Franzen D W, Cihacek L J, Hofman V L. Variability of soil nitrate and phosphate under different landscapes[A]. Proceedings of the 3th in international conference on precision agriculture[C]. Minneapolis, Minnesota: ASA, CSSA, SSSA, 1996. 521-529.
- [7] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 等. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1174-1178.
- Wang J, Fu B J, Qiu Y. Spatial heterogeneity of soil nutrients in a small catchment of the loess plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(8): 1174-1178.
- [8] 李晓兵. 国际土地利用-土地覆盖变化的环境影响研究[J]. 地球科学进展, 1999, (4): 395-400.
- Li X B. International research on environmental consequence of land use/coverage change[J]. Advance in Earth Science, 1999(4): 395-400.
- [9] 傅伯杰, 郭旭东, 陈利顶, 等. 土地利用变化与土壤养分的变化[J]. 生态学报, 2001, 21(6): 927-931.
- Fu B J, Guo X D, Chen L D. Change of land use and soil nutrients[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(6): 927-931.
- [10] 傅伯杰, 马克明, 周华峰, 等. 黄土丘陵区土地利用结构对土壤养分分布的影响[J]. 科学通报, 1998, 43(22): 2444-2448.
- Fu B J, Ma K M, Zhou H F. The effect of land use structures on the distribution of soil nutrients in the hilly area of the Loess Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(22): 2444-2448
- [11] 孔祥斌, 张凤荣, 齐伟, 等. 集约化农区土地利用对土壤养分的影响[J]. 地理学报, 2003, 58(3): 333-342.
- Kong X B, Zhang F R, Qi W. Spatial-temporal changes of cropland in china for the past 10 years based on remote sensing[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(3): 333-342.
- [12] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 45-69.
- Yang W Z, Yu C Z. Region govern and evaluation in Loess Plateau [M]. Beijing: Science Press, 1992. 45-69.
- [13] 安塞县地方志编纂委员会. 安塞县志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1993.
- Compilatory Committee of Local Chronicles in Ansai County. Annals of Ansai county[M]. Xi'an: Shanxi People Press, 1993, 5.
- [14] 吴旗县地方志编纂委员会. 吴旗县志[M]. 西安: 三秦出版社, 1991.
- Compilatory Committee of Local Chronicles in Wuqi County. Annals of Wuqi county[M]. Xi'an: Sanqin press, 1991.
- [15] 王宏庭, 王斌, 卢朝东, 等. 应用地理信息系统研究土壤养分变异[J]. 山西农业科学, 2003, 31(4): 40-43.
- Wang H T, Wang B, Lu C D. Research on soil nutrient variability by GIS[J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 2003, 31(4): 40-43.
- [16] 金继运, 张宁, 梁鸣早, 等. 土壤养分状况研究法在土壤肥力研究及测土施肥中的应用[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(1): 8-14.
- Jin J Y, Zhang N, Liang M Z. Systematic approach for soil nutrients status evaluation and its use in fertilizer recommendation[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1996, 2(1): 8-14.
- [17] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- Tang Q Y, Feng M G. DPS data processing system for practical statistics[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [18] 彭文英. 黄土高原退耕还林还草及其对水土资源的影响[D]. 北京师范大学博士学位论文, 2003.
- Peng W Y. Research on returning farmland to forestland or grassland and its effects on soil and water resources[D]. PhD thesis, Beijing Normal University, 2003.