

基于物元模型分析人工造林对土壤养分的影响

郭洋洋¹, 姚云峰¹, 秦富仓¹, 黎英华¹, 刘军华²

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古赤峰市敖汉旗水利局, 内蒙古 赤峰 024300)

摘 要: [目的] 分析人工造林对于土壤养分的影响, 为合理造林提供一定的理论依据。[方法] 以内蒙古自治区敖汉旗 1983 与 2013 年的土壤养分数据作为基础, 运用层次分析法与物元模型对 1983 和 2013 年内的土壤数据进行养分分级, 并进一步描述了各土壤养分变化特征。[结果] 5 种类型土壤的有机质与全氮在造林 30 a 后呈上升趋势; 磷与钾呈逐渐减少趋势。造林后, 土壤养分等级普遍呈增加趋势。[结论] 造林使土壤有机质增加, 合理的人工林结构有助于维持土壤肥力。

关键词: 物元模型; 土壤养分; 土壤评价等级

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0321-08

中图分类号: S158

文献参数: 郭洋洋, 姚云峰, 秦富仓, 等. 基于物元模型分析人工造林对土壤养分的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 321-328. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.055

A Study on Effects of Artificial Afforestation on Soil Nutrients Based on Matter Element Model

GUO Yangyang¹, YAO Yunfeng¹, QIN Fucang¹, LI Yinghua¹, LIU Junhua²

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

2. Water Conservancy Bureau of Aohan Banner, Chifeng City, Inner Mongolia Region, Chifeng, Inner Mongolia 024300, China)

Abstract: [Objective] To provide theoretical basis for artificial afforestation by analyzing the effects of artificial afforestation on soil fertility. [Methods] Soil nutrient data of Aohan Banner, Inner Mongolia Autonomous Region in 1983 and 2013 was collected, and the analytic hierarchy process and element matter model was used to assess the classification of soil fertility variation in 1983 and 2013. [Results] After 30-year afforestation, the content of organic matter and nitrogen in five different types of soil were increasing, while the content of phosphorus and potassium were decreasing. Soil nutrient level showed an increasing trend as well. [Conclusion] Afforestation can increase the content of soil organic matter, and the reasonable artificial forest structure is helpful to maintain soil fertility.

Keywords: matter element model; soil nutrient; soil evaluation grade

面对中国森林资源短缺和发展不平衡的问题, 人工造林技术被提上了日程, 随着中国经济的大力发展, 环境破坏日益严重, 生态环境建设也被列入了发展战略中。而人工造林是提高生态效益, 保护生态环境的重要方式之一, 所以, 研究人工造林给整个生态系统以及生态环境的某一部分带来的影响变得尤为重要。土壤养分是反映土壤肥力的客观指标, 由于土壤受到自然和非自然的因素的影响, 不同的土壤养分

含量也具有不同的时空分布格局^[1]。近些年来, 很多方法被用来研究土壤的养分, 比如主成分分析法^[2]、灰色关联度分析方法^[3]、模糊综合法^[4-6]和人工神经网络法^[7]等, 物元模型是通过单指标的关联函数和模型的集成得到土壤养分的综合水平数据, 使土壤养分的结果更加客观准确。

本研究拟基于物元模型研究人工造林对生态系统中土壤的影响来进行分析。通过对 2013 年的采集

收稿日期: 2015-03-07

修回日期: 2015-06-16

资助项目: 内蒙古应用研究与开发计划项目“农林牧耦合生态系统固碳关键技术”(2010732); 中国科学院战略性先导科技专项“京津风沙源治理工程(内蒙古)固碳速率和潜力研究”(XDA05060602)

第一作者: 郭洋洋(1991—), 女(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: yangyang1845@163.com。

通讯作者: 姚云峰(1959—), 男(蒙古族), 内蒙古自治区阿拉善左旗人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持与荒漠化防治领域的工作。E-mail: yaoyunfeng@yahoo.com.cn。

数据和 1983 年采集的数据所得出的土壤养分综合水平进行比较,得出土壤养分 30 a 的变化,同时分析人工造林对土壤养分的影响,以期为合理造林提供一定的理论依据。

1 研究区概况

试验地点设在赤峰市敖汉旗,海拔高度范围在 350~800 m,全旗年降水量从南到北递减,平均为 310~460 mm,年蒸发量平均为 2 200~2 600 mm,为年降雨量的 6~8 倍。敖汉旗属温带气候,年平均气温 4.9~7.5 ℃,年积温 2 700~3 200 ℃,冬季平均气温-9.8~-7.3 ℃,夏季平均气温 20~22 ℃。土壤类型主要有棕壤、褐土、栗钙土、草甸土、风沙土和沼泽土。1983 年第 2 次土壤普查时,全旗总面积 8 300 km²,其中土壤面积 8 213.7 km²,耕地面积为 2 234 km²,占全旗总面积 27.02%,荒山荒地面积 3 342 km²,约占全旗总面积 40.1%,林地面积 150 km²,约占全旗总面积的 1.8%。截至 2009 年,敖汉旗有林面积达 3 526.7 km²,占总土地面积的 42.5%,是建国初有林面积的 33 倍,是 1978 年前的 4 倍。成为“中国人工造林第一县”。据统计,2013 年时,林地面积 3 945 km²,约占全旗总面积的 47.57%。

2 材料与方法

2.1 土样采集与测定方法

土样采集于 2013 年按不同土壤类型进行的,样地的位置与 1983 年土壤普查时一致。本次研究在土石山区和黄土丘陵区根据不同坡向(东、西、南、北)和不同坡位(坡上、坡中、坡麓)划分小样地,并在各小样地上进行“S”型采样。共采集混合土样 195 个。样品采集地在 1983 年时均为荒山荒地,现均为人工造林地区。主要的测定项目包括有机质、全氮、全钾、全磷。土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法;全氮测定采用凯氏法;全磷测定采用氢氧化钠碱熔—钼锑抗比色法;全钾测定采用氢氧化钠熔融法。

2.2 土壤养分因子权重的确定

参照全国第二次土壤普查的土壤养分调查指标及分级标准(表 1)以及 1983 年调查所具有的土壤养分的基本数据,选取有机质、全氮、全磷、全钾作为本次研究的评价因子,采用层次分析法(AHP)赋权值。本文应用层次分析法软件(yaahp)来进行层次分析,确定了土壤养分评价因子权重。有机质的权重是 0.434 4;全氮的权重是 0.244 3;全磷的权重是 0.176 8;全钾的权重是 0.144 5。

表 1 土壤养分分级标准					%
养分指标	I 丰富	II 较丰富	III 适量	IV 贫乏	V 极贫乏
有机质	3~4	2~3	1~2	1~0.60	<0.60
全氮	0.15~0.20	0.10~0.15	0.075~0.10	0.04~0.075	<0.04
全磷	0.15~0.20	0.10	0.07~0.10	0.05~0.07	<0.05
全钾	2~3	1.5~2.0	1~1.5	0.5~1.0	<0.50

2.3 综合评判的物元模型

(1)“物元”定义。给定事物的名称 M ,它关于特征 c 的量值为 v ,以有序三元 $R=(M,c,v)$ 组作为描述事物的基本元,简称物元。其中 M,c,v 为物元的 3 大要素,若事物 M 以 n 个特征 c_1,c_2,\cdots,c_n 和相应的量值 v_1,v_2,\cdots,v_n 来描述,则可表示为:

$$R=(M,c,v)=\begin{pmatrix} M & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

(2) 经典域的确定。

$$R_{0j}=(N_{0j},c_i,x_{0ji})=\begin{pmatrix} N_{0j} & c_1 & x_{0j1} \\ & c_2 & x_{0j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_{0jn} \end{pmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix} N_{0j} & c_1 & \langle a_{0j1},b_{0j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{0j2},b_{0j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{0jn},b_{0jn} \rangle \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: N_{0j} ——所划分的第 j 个评价等级($j=1,2,\cdots,m$); c_i ——表示第 i 个评价指标; x_{0ji} —— c_i 对应评价等级 j 的取值范围,即经典域; $\langle a_{0ji},b_{0ji} \rangle$ —— x_{0ji} 的取值范围($i=1,2,\cdots,n$)。

(3) 节域的确定。

$$R_p=(P,c,x_{pi})=\begin{pmatrix} P & c_1 & x_{p1} \\ & c_2 & x_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_{pn} \end{pmatrix}$$
$$=\begin{pmatrix} P & c_1 & \langle a_{p1},b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2},b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{pn},b_{pn} \rangle \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: P ——表示评价等级的全体; X_{pi} —— P 关于 c_i 的取值范围,即 P 的节域; $\langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ ——为 X_{pi} 的取值范围($i=1,2,\cdots,n$), $X_{0ji} \in X_{pi}$ 。

(4) 待评事物各指标关于各等级的关联度的确定。

$$K_j(v_i)=\begin{cases} \frac{\rho(v_i,x_{0ji})}{|x_{0ij}|}, & (v_i \in x_{0ji}) \\ \frac{\rho(v_i,x_{0ji})}{\rho(v_i,x_{pi})-\rho(v_i,x_{0ji})}, & (v_i \notin x_{0ji}) \end{cases} \quad (4)$$

式中: $\rho(v_i,x_{0ji})=|v_i-\frac{1}{2}(a_{0ji}+b_{0ji})|-\frac{1}{2}(a_{0ji}-b_{0ji})$;
 $\rho(v_i,x_{pi})=|v_i-\frac{1}{2}(a_{pi}+b_{pi})|-\frac{1}{2}(a_{pi}-b_{pi})$;
 $|x_{0ji}|=|b_{0ji}-a_{0ji}|$, ($i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,m$)

$\rho(v_i,x_{0ji})$ 与 $\rho(v_i,x_{pi})$ 分别表示点 v_i 与经典域区间 X_{0ji} 和节域区间 X_{pi} 的距;

关联度 $K_j(v_i)$ 实际上刻划的是待评事物各指标关于各评价等级 j 的归属程度,若 $K_j(v_i)=\max K_j(v_i)$, $j \in (1,2,\cdots,m)$,则评定指标 v_i 属于等级 j 。

(5) 事物 P_0 关于等级 j 的关联度的计算。

$$K_j(p_0)=\sum_{i=1}^n a_i k_j(v_i) \quad (5)$$

式中: a_i ——对应指标 c_i 的权重,且 $\sum_{i=1}^n a_i=1$ 。
 $k_i p_0$ ——待评事物各指标关于各等级的关联度在考虑指标重要性程度情况下的组合值,表示待评事物 P_0 属于等级 j 的程度。

若 $K_j(P_0)=\max K_j(P_0)$, $j \in (1,2,\cdots,m)$,则评定 P_0 属于等级 j 。为揭示更多的分异信息,现将物元模型的逻辑值由闭合区间 $[0,1]$ 拓展为 $[\text{+}\infty, \text{--}\infty]$ ^[8]。

若 $K_j(P_0)>0$,则待评事物符合某级标准,且其值越大,符合程度越高;若 $-1<K_j(P_0)<0$ 时,则待评事物不符合某级评价标准,但其具备转化为该级标准的条件,并且其值越大,越易转化;若 $K_j(P_0)<-1$ 时,则待评事物不符合某级评价标准的要求,也不具备转化为该级标准的条件,其值越小,表明与某级评价标准的差距越大^[-2]。

3 结果与分析

3.1 土壤养分等级划分

$$\mathbf{R}_1=(N_{0j},c_i,x_{0ji})= \begin{vmatrix} N_{0j} & om_1 & 3 & 4 \\ & tn_1 & 0.15 & 0.2 \\ & tp_1 & 0.15 & 0.2 \\ & tk_1 & 2 & 3 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{R}_2=(N_{0j},c_i,x_{0ji})= \begin{vmatrix} N_{0j} & om_2 & 2 & 3 \\ & tn_2 & 0.1 & 0.15 \\ & tp_2 & 0.1 & 0.15 \\ & tk_2 & 1.5 & 2 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{R}_3=(N_{0j},c_i,x_{0ji})= \begin{vmatrix} N_{0j} & om_3 & 1 & 2 \\ & tn_3 & 0.075 & 0.1 \\ & tp_3 & 0.07 & 0.1 \\ & tk_3 & 1 & 1.5 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{R}_4=(N_{0j},c_i,x_{0ji})= \begin{vmatrix} N_{0j} & om_4 & 0.6 & 1 \\ & tn_4 & 0.04 & 0.075 \\ & tp_4 & 0.05 & 0.07 \\ & tk_4 & 0.5 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{R}_5=(N_{0j},c_i,x_{0ji})= \begin{vmatrix} N_{0j} & om_5 & 0 & 0.6 \\ & tn_5 & 0 & 0.04 \\ & tp_5 & 0 & 0.05 \\ & tk_5 & 0 & 0.5 \end{vmatrix}$$

式中: om_1 ——有机质; tn ——全氮; tp ——全磷;
 tk ——全钾。下角标数字 1 到 5 表示 5 种土壤类型。

结合 1983 和 2013 年土壤养分化验数据(表 2),运用物元模型公式(3)分别得到 1983 年土壤养分节域(R_p)和 2013 年土壤养分节域(R_q)。

表 2 1983 年土壤养分参数					%
测试项目	年份	平均值	最大值	最小值	标准差
有机质	1983	0.772	2.483	0.012	0.561
	2013	1.446	3.439	0.089	0.917
全 氮	1983	0.049	0.167	0.012	0.027
	2013	0.081	0.192	0.005	0.045
全 磷	1983	0.045	0.069	0.001	0.014
	2013	0.026	0.050	0.007	0.009
全 钾	1983	2.466	2.897	1.610	0.308
	2013	2.339	2.640	1.830	0.190

$$\mathbf{R}_p=(P,c,X_{pi})= \begin{vmatrix} P_{1983} & om & \langle 0.012,2.483 \rangle \\ & tn & \langle 0.012,0.167 \rangle \\ & tp & \langle 0.001,0.069 \rangle \\ & tk & \langle 1.610,2.897 \rangle \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{R}_q=(P,c,X_{pi})= \begin{vmatrix} P_{2013} & om & \langle 0.089,3.439 \rangle \\ & tn & \langle 0.005,0.192 \rangle \\ & tp & \langle 0.007,0.050 \rangle \\ & tk & \langle 1.830,2.640 \rangle \end{vmatrix}$$

将 1983 和 2013 年测得的 41 个样点土壤养分数
据分别代入到公式(4)和(5)中进行综合关联度的分

析,并根据综合关联度判断土壤养分级别,具体结果见表 3—4。

3.2 土壤养分指标变化特征

3.2.1 风沙土土壤养分指标变化特征 从评价等级上来看,风沙土属于极贫乏等级,但是从养分的单一指标来看,1983 年的有机质为 0.033%,2013 年我们实测的土壤有机质为 0.114%,明显高于 1983 年测

得的土壤有机质;全氮、全磷、全钾含量则均较 1983 年低,分别是 1983 年的 76.2%,59.0%和 87.4%。风沙土上植被种类多为柠条锦鸡儿等豆科植物,豆科植物在植被演替早期具有明显增加土壤有机质的作用。贾举杰等^[9]在研究中也认为在弃耕地演替早期添加豆科植物,能够增加土壤有机碳,提高土壤肥力。

表 3 敖汉旗 1983 年土壤养分等级评价结果

土壤类型	立地条件	N ₀₁	N ₀₂	N ₀₃	N ₀₄	N ₀₅	max	评 级
风沙土	—	—0.838 8	—0.927 98	—0.914 68	—0.856 23	—0.271 36	—0.271 36	V 极贫乏
	—	—0.796 68	—0.751 37	—0.733 33	—0.624 74	—0.253 74	—0.253 74	V 极贫乏
	—	—0.842 34	—0.900 78	—0.880 42	—0.812 49	—0.303 40	—0.303 40	V 极贫乏
草甸土	—	—0.808 57	—0.811 60	—0.742 57	—0.616 72	—0.400 43	—0.400 43	V 极贫乏
褐土	坡上 e	—0.635 15	—0.523 53	—0.342 85	—0.303 85	—0.216 94	—0.216 94	V 极贫乏
	坡中 e	—0.669 43	—0.560 69	—0.326 56	—0.165 78	—0.145 93	—0.145 93	V 极贫乏
	坡麓 e	—0.793 29	—0.728 95	—0.674 51	—0.633 73	—0.288 08	—0.288 08	V 极贫乏
	坡上 w	—0.644 16	—0.556 55	—0.316 11	—0.432 57	—0.266 35	—0.266 35	V 极贫乏
	坡中 w	—0.559 89	—0.399 07	—0.255 96	—0.265 13	—0.319 01	—0.255 96	Ⅲ 适量
	坡麓 w	—0.769 46	—0.795 08	—0.731 07	—0.569 87	—0.235 52	—0.235 52	V 极贫乏
	坡上 s	—0.665 93	—0.592 82	—0.368 12	—0.373 05	—0.248 29	—0.248 29	V 极贫乏
	坡中 s	—0.612 15	—0.468 79	—0.221 96	—0.326 93	—0.275 27	—0.221 96	Ⅲ 适量
	坡麓 s	—0.674 55	—0.569 63	—0.397 10	—0.226 87	—0.190 82	—0.190 82	V 极贫乏
	坡上 n	—0.631 21	—0.537 13	—0.279 92	—0.372 37	—0.286 95	—0.279 92	Ⅲ 适量
	坡中 n	—0.628 96	—0.483 18	—0.256 56	—0.292 66	—0.348 00	—0.256 56	Ⅲ 适量
	坡麓 n	—0.595 14	—0.566 11	—0.457 46	—0.284 07	—0.363 24	—0.284 07	Ⅳ 贫乏
栗钙土	坡上 e	—0.740 55	—0.737 26	—0.655 01	—0.605 39	—0.224 96	—0.224 96	V 极贫乏
	坡中 e	—0.644 46	—0.600 36	—0.374 70	—0.346 3	—0.237 25	—0.237 25	V 极贫乏
	坡麓 e	—0.591 22	—0.484 36	—0.211 68	—0.322 33	—0.332 66	—0.211 68	Ⅲ 适量
	坡上 w	—0.673 33	—0.650 88	—0.463 88	—0.250 06	—0.196 94	—0.196 94	V 极贫乏
	坡中 w	—0.726 54	—0.734 31	—0.599 04	—0.460 01	—0.420 36	—0.420 36	V 极贫乏
	坡麓 w	—0.601 24	—0.437 98	—0.240 50	—0.226 62	—0.333 94	—0.226 62	Ⅳ 贫乏
	坡上 s	—0.647 12	—0.650 09	—0.439 93	—0.259 54	—0.218 61	—0.218 61	V 极贫乏
	坡中 s	—0.650 69	—0.588 02	—0.367 87	—0.349 87	—0.236 28	—0.236 28	V 极贫乏
	坡麓 s	—0.726 32	—0.630 67	—0.475 41	—0.181 63	—0.189 86	—0.181 63	Ⅳ 贫乏
	坡上 n	—0.683 47	—0.676 92	—0.504 04	—0.326 21	—0.276 26	—0.276 26	V 极贫乏
	坡中 n	—0.706 07	—0.604 62	—0.474 84	—0.402 18	—0.350 48	—0.350 48	V 极贫乏
	坡麓 n	—0.772 41	—0.698 35	—0.581 65	—0.468 17	—0.411 22	—0.411 22	V 极贫乏
棕壤	坡中 e	—0.585 77	—0.442 96	—0.204 02	—0.333 98	—0.267 25	—0.204 02	Ⅲ 适量
	坡麓 e	—0.747 87	—0.680 33	—0.633 09	—0.560 35	—0.187 79	—0.187 79	V 极贫乏
	坡上 w	—0.650 76	—0.536 84	—0.361 46	—0.278 61	—0.219 16	—0.219 16	V 极贫乏
	坡中 w	—0.652 37	—0.535 64	—0.321 67	—0.270 21	—0.268 92	—0.268 92	V 极贫乏
	坡麓 w	—0.396 93	—0.333 07	—0.242 19	—0.379 72	—0.455 33	—0.242 19	Ⅲ 适量
	坡上 s	—0.445 84	—0.222 22	—0.337 04	—0.257 68	—0.369 16	—0.222 22	Ⅱ 较丰富
	坡中 s	—0.323 71	—0.406 19	—0.375 38	—0.482 13	—0.537 49	—0.323 71	I 丰富
	坡麓 s	—0.522 24	—0.417 03	—0.398 22	—0.293 95	—0.411 36	—0.293 95	Ⅳ 贫乏
	坡上 n	—0.470 46	—0.261 32	—0.421 03	—0.238 96	—0.360 24	—0.238 96	Ⅳ 贫乏
	坡中 n	—0.621 03	—0.485 02	—0.246 64	—0.300 98	—0.269 06	—0.246 64	Ⅲ 适量
	坡麓 n	—0.584 65	—0.443 45	—0.197 55	—0.147 28	—0.252 56	—0.147 28	Ⅳ 贫乏

注:N₀₁,N₀₂,N₀₃,N₀₄,N₀₅为实测土壤养分与全国第二次土壤普查的土壤养分调查指标及分级标准各等级的关联度;MAX 为最大关联度;字母 e, w, s, n 分别代表东坡、西坡、南坡和北坡。下同。1983 和 2013 年均无棕壤的坡上 e 数据。

表 4 敖汉旗 2013 年土壤养分等级评价结果

土壤类型	立地条件	N ₀₁	N ₀₂	N ₀₃	N ₀₄	N ₀₅	max	评 级
风沙土	—	−0.864 32	−0.849 95	−0.857 3	−0.828 53	−0.219 74	−0.219 74	V 极贫乏
	—	−0.851 49	−0.828 67	−0.825 23	−0.766 16	−0.285 74	−0.285 74	V 极贫乏
	—	−0.816 48	−0.773 28	−0.738 31	−0.607 57	−0.300 51	−0.300 51	V 极贫乏
草甸土	—	−0.55 32	−0.369 69	−0.356 37	−0.241 53	−0.385 26	−0.241 53	Ⅳ 贫乏
褐土	坡上 e	−0.551 42	−0.379 87	−0.357 84	−0.245 92	−0.402 74	−0.245 92	Ⅳ 贫乏
	坡中 e	−0.722 97	−0.633 88	−0.480 12	−0.275 44	−0.230 25	−0.230 25	V 极贫乏
	坡麓 e	−0.682 25	−0.564 42	−0.346 15	−0.440 32	−0.337 60	−0.337 60	V 极贫乏
	坡上 w	−0.418 29	−0.312 14	−0.265 66	−0.431 69	−0.507 74	−0.265 66	Ⅲ 适量
	坡中 w	−0.624 13	−0.515 67	−0.588 45	−0.384 01	−0.365 22	−0.365 22	V 极贫乏
	坡麓 w	−0.645 55	−0.539 13	−0.281 17	−0.323 26	−0.379 10	−0.281 17	Ⅲ 适量
	坡上 s	−0.432 35	−0.294 50	−0.255 30	−0.423 41	−0.501 88	−0.255 30	Ⅲ 适量
	坡中 s	−0.767 63	−0.691 62	−0.576 34	−0.337 84	−0.345 88	−0.337 84	Ⅳ 贫乏
	坡麓 s	−0.585 47	−0.424 44	−0.352 00	−0.338 13	−0.401 04	−0.338 13	Ⅳ 贫乏
	坡上 n	−0.324 13	−0.503 01	−0.665 68	−0.684 57	−0.705 85	−0.324 13	I 丰富
	坡中 n	−0.365 55	−0.450 71	−0.324 51	−0.469 19	−0.540 31	−0.324 51	Ⅲ 适量
	坡麓 n	−0.427 91	−0.203 42	−0.310 04	−0.314 90	−0.416 07	−0.203 42	Ⅱ 较丰富
栗钙土	坡上 e	−0.476 41	−0.286 47	−0.358 12	−0.360 50	−0.455 97	−0.286 47	Ⅱ 较丰富
	坡中 e	−0.674 80	−0.556 12	−0.460 56	−0.252 41	−0.302 40	−0.252 41	Ⅳ 贫乏
	坡麓 e	−0.779 14	−0.708 02	−0.594 94	−0.363 78	−0.336 28	−0.336 28	V 极贫乏
	坡上 w	−0.489 87	−0.273 33	−0.385 62	−0.353 34	−0.452 71	−0.273 33	Ⅱ 较丰富
	坡中 w	−0.621 96	−0.481 11	−0.323 58	−0.376 36	−0.368 10	−0.323 58	Ⅲ 适量
	坡麓 w	−0.598 73	−0.437 40	−0.324 64	−0.295 41	−0.419 05	−0.295 41	Ⅳ 贫乏
	坡上 s	−0.663 60	−0.534 41	−0.374 45	−0.418 39	−0.326 33	−0.326 33	V 极贫乏
	坡中 s	−0.664 96	−0.542 24	−0.325 50	−0.479 05	−0.342 02	−0.325 50	Ⅲ 适量
	坡麓 s	−0.807 47	−0.755 14	−0.670 03	−0.508 02	−0.404 68	−0.404 68	V 极贫乏
	坡上 n	−0.356 29	−0.277 17	−0.345 50	−0.481 73	−0.540 96	−0.277 17	Ⅱ 较丰富
	坡中 n	−0.616 31	−0.465 40	−0.323 24	−0.288 09	−0.397 73	−0.288 09	Ⅳ 贫乏
	坡麓 n	−0.686 59	−0.578 72	−0.365 13	−0.311 93	−0.353 40	−0.311 93	Ⅳ 贫乏
棕壤	坡中 e	−0.410 33	−0.218 19	−0.241 96	−0.374 94	−0.464 22	−0.218 19	Ⅱ 较丰富
	坡麓 e	−0.485 73	−0.290 73	−0.389 30	−0.290 43	−0.421 43	−0.290 43	Ⅳ 贫乏
	坡上 w	−0.295 71	−0.327 77	−0.345 46	−0.475 90	−0.548 78	−0.295 71	I 丰富
	坡中 w	−0.381 70	−0.200 48	−0.172 99	−0.343 43	−0.433 98	−0.172 99	Ⅲ 适量
	坡麓 w	−0.286 55	−0.355 31	−0.295 50	−0.409 65	−0.483 14	−0.286 55	I 丰富
	坡上 s	−0.393 09	−0.363 62	−0.577 57	−0.609 59	−0.645 53	−0.363 62	Ⅱ 较丰富
	坡中 s	−0.257 62	−0.304 45	−0.489 12	−0.572 93	−0.625 26	−0.257 62	I 丰富
	坡麓 s	−0.546 72	−0.362 35	−0.392 24	−0.275 39	−0.415 70	−0.275 39	Ⅳ 贫乏
	坡上 n	−0.472 31	−0.487 82	−0.662 35	−0.688 67	−0.716 74	−0.472 31	I 丰富
	坡中 n	−0.607 40	−0.479 01	−0.304 08	−0.276 35	−0.325 37	−0.276 35	Ⅳ 贫乏
	坡麓 n	−0.578 80	−0.425 51	−0.328 36	−0.338 28	−0.388 87	−0.328 36	Ⅲ 适量

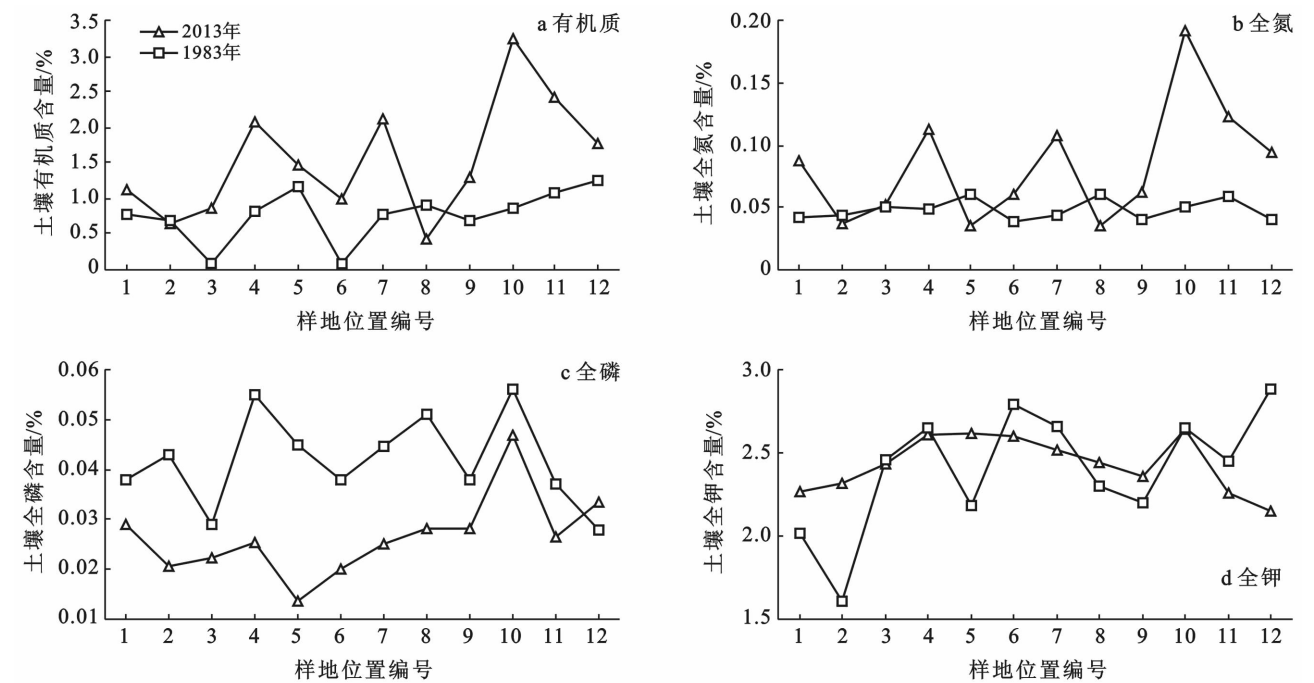
3.2.2 草甸土土壤养分指标变化特征 草甸土在经过 30 a 的植树造林改造后土壤养分有很大的提高,土壤等级也从过去的极贫乏变为贫乏。草甸土为隐域性土壤,成土时间较短,大多为农区,受开垦等一系列人为活动的干扰较大,表层多数为沙土或沙壤。草甸土上多为小叶杨防护林,但农田面积较大,所以林地面积小和人为干扰大是土壤改造缓慢的主要原因。草甸土的有机质、全氮和全磷均较 1983 年高,只有全

钾较 1983 年低。这是由于草甸土农区种植的作物主要为绿豆、黑豆、大豆等豆科作物,能够明显增加土壤有机质,提高土壤的肥力,这与王大勇等^[10]的研究结果一致。

3.2.3 褐土土壤养分指标变化特征 褐土土壤养分变化较大,有机质、全氮含量在南坡坡中、东坡坡中较 30 a 前低,其余样地均较 1983 年高。针对土壤养分评级的对比中也显示出南坡坡中由原来的适量变为

贫乏,而东坡坡中还维持原来的贫乏状态,这可能与造林树种的选择不合理、人为活动的干扰有关。全磷的变化则是除北坡坡麓外均较 1983 年低,而全钾的变化未呈现一定的规律性。从对养分评级的评价结

果来看,东坡的坡中和坡麓以及北坡的坡中维持原来的土壤养分状态,养分等级未发生改变,南坡和西坡的坡中地带土壤等级下降,其余样地土壤养分等级均上升(图 1)。



注:1 东坡坡上; 2 东坡坡中; 3 东坡坡麓; 4 西坡坡上; 5 西坡坡中; 6 西坡坡麓; 7 南坡坡上; 8 南坡坡中; 9 南坡坡麓; 10 北坡坡上; 11 北坡坡中; 12 北坡坡麓。下同。

图 1 褐土土壤养分指标变化

4 讨论与结论

4.1 讨论

针对敖汉旗林下土壤养分与 30 a 前未造林时养分进行比较分析,并利用物元模型对养分等级进行划分,更好、更直接的描述了土壤养分在这 30 a 的变化,同时也将属于和不属于这种定性的描述转变为定量描述^[11]。敖汉旗的 6 种土壤类型上广泛分布着人工林,本文针对 5 种类型土壤的养分指标分别进行了测定。

3.2.4 栗钙土土壤养分指标变化特征 如图 2 所示,栗钙土土壤养分等级总体表现为上升趋势。但其中东坡和南坡的坡麓样地土壤等级下降,由原来的适量和贫乏转变为极贫乏等级,南坡坡上和西坡坡麓维持原来的等级未变,其他样地土壤等级均上升。从土壤各个养分指标来看,东坡和南坡的坡麓地带有机质含量和全氮含量均较 1983 年低,其他位置均普遍高于 1983 年;而土壤的全磷含量则是均较 1983 年低;除北坡坡中的全钾高于 1983 年,其余均较 1983 年低。林木对土壤中磷和钾的吸收大于草本或灌木,所以磷和钾均表现为下降趋势。但是林木的死亡根系

和枯落物对土壤有机质的补充远大于草本或灌木,这是导致有机质上升的原因。

3.2.5 棕壤土壤养分指标变化特征 如图 3 所示,棕壤是森林分布面积最大的土壤类型,主要树种为油松和山杏。在经过 30 a 的造林改造后,棕壤土壤养分等级均较高。但南坡的坡上、坡中和坡麓的改良效果不明显,土壤养分等级未发生变化,北坡坡中地带土壤养分更是下降,土壤等级下降。其他样地的土壤等级均上升,整体土壤养分等级也高于其他土壤类型。从各个养分因子来看,棕壤有机质含量整体较 1983 年高,在林分结构和功能较好的地区,由于枯落物增厚对土壤表层有机质的补充,一些样地的有机质含量有大幅度的上升,比如东坡坡麓样地的土壤有机质由 1983 年的 0.9% 上升为 2013 年的 2.09%,西坡坡上样地的土壤有机质由 1983 年的 0.66% 上升为 2013 年的 2.72%。南坡和北坡的坡中全氮含量较 1983 年低,其他样地均高于 1983 年。2013 年西坡坡麓和坡上的全磷含量较 1983 年高,其他样地均低于 1983 年。土壤中全钾的含量也只有南坡和东坡的坡中、北坡坡麓和坡上高于 30 a 前,其余样地均较 1983 年低。

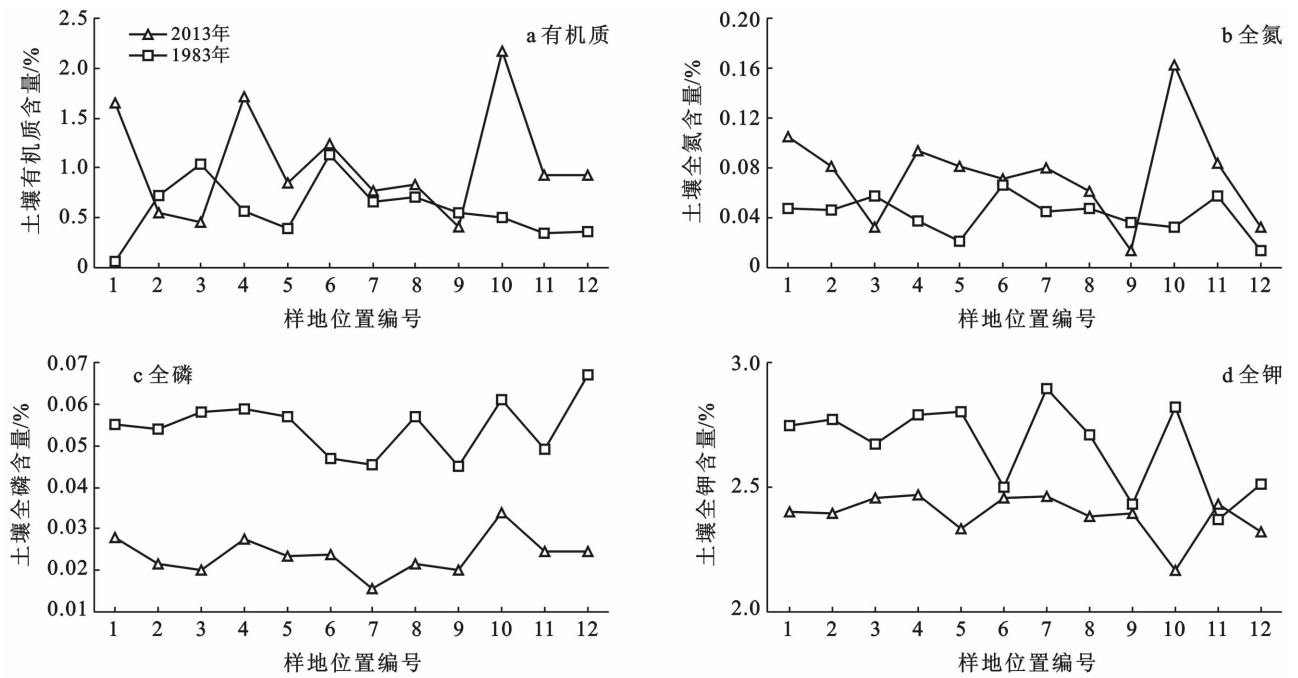


图 2 栗钙土土壤养分指标变化

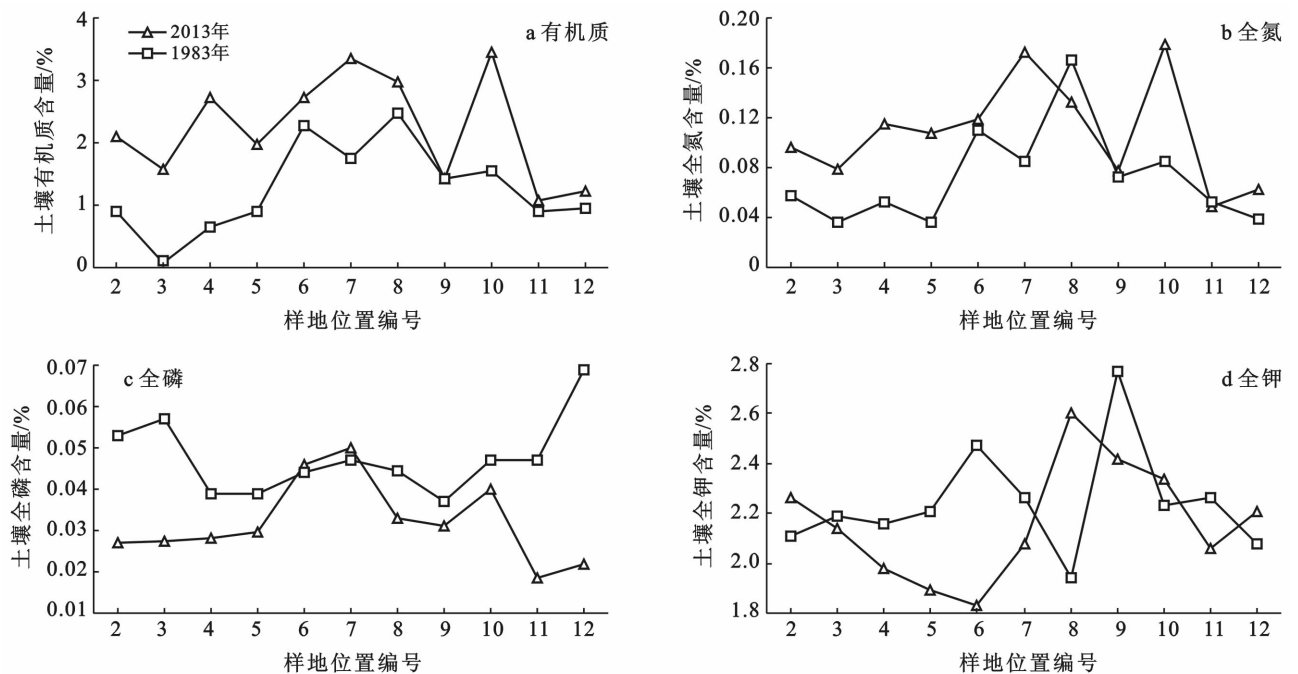


图 3 棕壤土壤养分指标变化

研究区有机质在造林 30 a 后普遍呈上升趋势,这主要是由于林分结构合理,随着林龄的增加,枯落物累积量也增大,枯落物对地表土壤有机质的补充增多,所以有机质逐渐增加。Coleman 等^[12-13]的研究也认为,凋落物的累积造成更多较难分解的土壤有机质碎片,该成分被认为是土壤长期碳贮量的重要组成部分。

氮在植物的生长过程中是必不可少的元素,应随

着植物的生长逐渐减少,但是本研究中氮的变化却是相反的,这也就从一定程度表明造林树种的林分结构合理,能够更好的维持土壤肥力,丁扬等^[14]在针对苏北杨树人工林的生物量和碳储量的研究中得出的结果相近。

磷是植物体内多种重要化合物的组成成分,且磷对植物的光合作用具有促进作用,这可能是磷减少的原因。

钾在植物体内是以游离状态存在的,同时也能促进光合作用,所以这可能是钾减少的原因,但是磷和钾的消耗具体机理还需要进一步研究。

4.2 结 论

利用层次分析法和物元模型将 1983 和 2013 年内的土壤数据进行养分分级,更直接的描述了造林对土壤改良的作用。从 5 种类型土壤的养分变化可知,人工造林使土壤有机质增加,合理的人工林结构有助于维持土壤肥力。针对于人工林对土壤中磷和钾的影响机理应进行进一步的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 何文寿. 宁夏农田土壤耕层养分含量的时空变化特征[J]. 土壤通报, 2004, 35(6): 170-174.
- [2] 何婕平, 康师安. 主成份分析在研究草原土壤养分评价中的应用[J]. 内蒙古林学院学报, 1994, 16(4): 52-57.
- [3] 王兆林, 杨庆媛, 湛果, 等. 灰色关联度法在稻田土壤质量评价中的应用: 以四川省键为县为例[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2007, 32(1): 52-56.
- [4] 武伟, 唐明华, 刘洪斌. 土壤养分的模糊综合评价[J]. 西南农业大学学报, 2000, 22(3): 270-272.
- [5] 吕苏丹, 汪光宇, 邬亚浪, 等. 东阳万亩园区土壤养分综合评价研究[J]. 浙江大学学报, 2002, 28(3): 272-276.
- [6] 安云娜, 黄义雄, 官紫玲. 福建东山岛土壤养分综合评价[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(3): 3926-3927.
- [7] 杨国栋, 王肖娟. 基于人工神经网络的土壤养分肥力等级评价方法[J]. 土壤通报, 2005, 36(5): 30-33.
- [8] 汤洁, 王晨野, 李昭阳, 等. 基于物元模型的区域土壤养分评价[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 101-103.
- [9] 贾举杰, 李金花, 王刚, 等. 添加豆科植物对弃耕地土壤养分和微生物量的影响[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2007, 43(5): 33-37.
- [10] 王大勇, 刘涛, 郭慕萍, 等. 豆科植物对不同深度土壤水分及养分含量的影响[J]. 土壤通报, 2013, 44(3): 551-555.
- [11] 王雅君, 冯文兰, 秦鱼生, 等. 物元可拓模型在雁江区土壤养分综合评价中的应用[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(22): 13469-13472.
- [12] Grigal D F, Berguson W E. Soil carbon changes associated with short-rotation systems[J]. Biomass Bioenergy, 1998, 14(4): 371-377.
- [13] 廖利平, 高洪, 汪思龙, 等. 外加氮源对杉木叶凋落物分解及土壤养分淋失的影响[J]. 植物生态学报, 2000, 24(1): 34-39.
- [14] 丁扬. 苏北杨树人工林生物量与碳贮量的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [5] 杨晓娟, 王海燕, 刘玲, 等. 吉林省东部低山丘陵区 4 种林分类型林地的土壤肥力分析[J]. 水土保持通报, 2013, 33(4): 142-148.
- [6] 郭雄飞, 陈璇, 黎华寿, 等. 不同林分改造模式对土壤酶活性及微生物数量的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(9): 30-34.
- [7] 储双双, 张兵, 莫罗坚, 等. 林分改造对马占相思林水土和养分保持效能的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(3): 72-77.
- [8] 郭淑红, 薛立, 张柔, 等. 华南地区 4 种林分改造树种的叶片养分季节动态[J]. 华南农业大学学报, 2011, 32(3): 77-81.
- [9] 郝云庆, 王金锡, 王启和, 等. 柳杉人工林近自然改造过程中林分空间的结构变化[J]. 四川农业大学学报, 2008, 26(1): 48-52.
- [10] 方兴东, 潘可武, 李志敏, 等. 中国互联网 20 年: 三次浪潮和三大创新[J]. 当代中国史研究, 2014(5): 121-121.
- [11] 尹立. “互联网+”时代的思维与制度[J]. 社会观察, 2015(7): 9-12.
- [12] 临泽县志编纂委员会. 临泽县志[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 2001.
- [13] 周洪华, 李卫红, 冷超, 等. 绿洲—荒漠过渡带典型防护林体系环境效益及其生态功能[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 82-90.
- [14] 代力民, 王宪礼, 王金锡. 三北防护林生态效益评价要素分析[J]. 世界林业研究, 2000, 13(2): 47-51.
- [15] 康树珍, 贾黎明, 彭祚登, 等. 燃料能源林树种选育及培育技术研究进展[J]. 世界林业研究, 2007, 20(3): 27-33.
- [16] 许飞, 邱尔发, 王成. 国外乡村人居林发展与启示[J]. 世界林业研究, 2009, 22(5): 66-70.
- [17] 杨朝应, 刘兆刚. 大兴安岭森林健康经营效果评价研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2014(7): 27-31.
- [18] 王晓涛. “互联网+”让更多行业站上腾飞的风口[J]. 中国战略新兴产业, 2015(9): 78-79.
- [19] 邬贺铨. 互联网应用领域的拓展[J]. 互联网天地, 2015(1): 1-12.
- [20] 白秀萍. 俄罗斯林业管理体制变革经验与启示[J]. 世界林业研究, 2006, 19(3): 57-60.
- [21] 余丽. 互联网国家安全威胁透析[J]. 郑州大学学报: 哲学社会科学版, 2015(2): 5-8.
- [22] 王雪, 卫发兴, 崔志新. 3S 技术在林业中的应用[J]. 世界林业研究, 2005, 18(2): 44-47.
- [23] 张雁, 谭伟, 冯仲科. 广义 3S 技术在林业上的应用现状与发展趋势[J]. 北京林业大学学报, 2005(S2): 213-217.

(上接第 320 页)