

# 黄土高原森林边缘区退耕地植被自然恢复 及其对土壤养分变化的影响

温仲明<sup>1,2</sup>, 焦峰<sup>2</sup>, 赫晓慧<sup>2</sup>, 焦菊英<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学遥感与地理科学学院, 北京 100875; 2. 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 杨凌 712100)

**摘要:** 对黄土高原森林边缘区退耕地植被自然恢复及其对土壤养分变化影响的研究结果表明, 该区植被演替虽然总体上具有典型森林区植被演替的特征, 但多年生禾草阶段与多年生蒿类演替并没有表现出严格的先后顺序; 群落物种多样性、丰富度、均匀度及物种替代率随植被恢复表现出由低而高, 而后又降低的变化趋势。其变化的峰值阶段与多年生禾草阶段和多年生蒿类交错出现的阶段相吻合。土壤养分变化表明, 该阶段也是退耕地养分消耗与累积处于平衡的阶段, 具有明显的过渡性。不同养分对植被恢复的响应程度从高到低表现为: 有效氮 > 有机质 > 全氮 > 速效钾 > 速效磷 > 全磷, 而且在植被恢复过程中土壤养分累积具有明显的表聚性, 尤以有机质、全氮、有效氮和速效钾表现明显。各养分的相关性分析表明, 土壤有机质、全氮、有效氮与速效钾相互间显著相关, 而全磷和速效磷与其余各养分间的相关性较小, 而且磷素养分在植被恢复过程中的变化较小。对植被演替进行人工调控, 应充分认识养分变化的这种差异。

**关键词:** 植被自然恢复; 土壤养分; 人工调控

中图分类号: S156 文献标识码: A 文章编号: 100425759(2007)02001608

土壤对植被恢复具有重要作用, 尤其在植被恢复的早期阶段, 土壤因素对植被恢复具有制约作用, 不仅影响植物群落的发生、发育和演替的速度, 而且决定着植物群落演替的方向<sup>[1,2]</sup>。在不同的土壤条件下, 植物种的侵入、生长状况不同, 群落具体的演替方向和速率具有明显差异<sup>[3]</sup>。Holmes 和 Patricia<sup>[4]</sup>认为, 改良土壤条件可以改善植物的萌发生根条件, 并启动生态系统的演替过程。因此, 了解植被自然恢复过程中的土壤养分变化规律, 是认识和评判植被生态系统功能恢复的重要依据<sup>[5]</sup>, 对人工调控与促进植被演替以加快生态恢复具有重要作用。而对植被生态系统功能恢复状态的评判, 更依赖于对植被演替过程及其发育阶段的认识。只有对植被恢复及其土壤环境有较深入地了解和认识, 方可对植被恢复做出合理的判断, 同时也为人工调控植被自然恢复提供参考。Jess 等<sup>[6]</sup>的研究表明, 要克服植被恢复的障碍, 一些物种必须在演替的后期相应阶段引入。在适宜的阶段引入适宜的物种, 对于促进自然恢复具有重要的实践意义。例如, 邹厚远和程积民<sup>[7]</sup>在黄土高原草原区对植被自然恢复演替进行的人工调控试验表明, 适当的人工干预可以有效地缩短植被恢复演替的时间。在黄土高原森林北部边缘区虽有类似建议<sup>[8]</sup>, 但尚未见具体的研究报道。本试验试图通过对黄土高原森林区北部边缘区退耕地植被自然恢复及其对土壤养分变化影响的研究, 初步揭示该区植被生态系统恢复过程中物种及其土壤环境变化, 为认识植被生态恢复, 进而为该区人工调控植被自然恢复提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于延安市城南郊的燕儿沟流域, 属半湿润偏干旱黄土丘陵沟壑区, 年均温 9.3 e, 1月年均温 -6.7 e, 7月年均温 22.9 e, > 10 e 年积温 3 207.4 e, 年无霜期 186 d, 年均日照 2 445.2 h。多年平均降水量 549.9 mm, 其中春季(3-5月)降水占 16.7%, 夏季(6-8月)占 54.6%, 秋季(9-11月)占 26.4%, 冬季(12-2月)占 2.2%。流域面积 47 km<sup>2</sup>, 海拔 986~1 425 m。依据梁一民<sup>[9]</sup>对黄土高原植被地带性分布的研究结论, 该区位于森林区与森林草原区的过渡地带, 属森林分布的北部边缘。流域南部分布有天然次生林, 辽东栎林、山杨

收稿日期: 20051212

基金项目: 国家自然科学基金项目(40301029); 中国科学院/西部之光0 人才培养计划项目(B22012900); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2 SW2421); 中国科学院水土保持研究所领域前沿项目(SW04107)资助。

作者简介: 温仲明(1962), 男, 陕西定边人, 副研究员, 博士。E-mail: zmw@ms.iswc.ac.cn

林是最常见的乔木类型, 北部草原成分较多, 植被分布具有明显的过渡特征<sup>[10]</sup>。

## 2 研究方法

根据研究区植被自然恢复的群落类型及数量分布, 选取的恢复时间序列大体为 0, 3~ 6, 15~ 18, 20~ 21, 25, 40~ 45 和 > 50 年。样地植被恢复年限根据调查访问、查阅村、乡有关资料、生长锥(乔木)等方法确定, 实际调查时, 由当地村民做向导, 以取得满足需要的数据。在不同的时间序列范围内, 根据群落实际分布情况, 每个时间序列选择 2~ 9 个样点, 每个样点进行重复样方调查, 其中草本采用 1 m @ 1 m 样方, 共 10 个重复; 灌木采用 5 m @ 5 m 样方, 乔木采用 10 m @ 10 m 样方, 3 个重复; 乔灌林下草本调查同样采用 10 个重复。养分采取 S 形随机采样, 每个样点 6 个重复, 分 0~ 20, 20~ 40 和 40~ 60 cm 三个层次, 然后将 6 个重复的同层土样混合后进行分析。土壤有机质采用重铬酸钾容量法- 外加热法; 全氮采用半微量凯氏法(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>- CuSO<sub>4</sub>- Se 蒸馏法); 有效氮采用碱解扩散法; 全磷采用钼锑抗比色法(HClO<sub>4</sub>- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 法); 速效磷采用钼锑抗比色法- 0.5 mol NaHCO<sub>3</sub> 浸提法; 速效钾采用原子吸收光谱法(NH<sub>4</sub>OAC 浸提法)进行测定。物种多样性、物种丰富度分别采用 Shannon2wiener 指数、Gleason(1922) 指数, 物种均匀度指数为 Pielou 指数<sup>[11]</sup>。物种替代率以植被恢复最后阶段的植物群落为参照, 采用 Cody 指数(B) 计算<sup>[12]</sup>:

$$B = [g(H) + l(H)] / 2$$

式中, g(H) 和 l(H) 分别是退耕地恢复演替系列中样地相对于参照群落增加和失去的物种数。以各演替阶段所有样方群落增加与失去的物种数的平均值计算。养分数据同样采用各演替阶段所有样方群落的平均值, 以避免取样误差引起的变化, 以便从总体上探寻植被演替规律。

表 1 样地信息及其主要群落类型

Table 1 The information on samples and main communities

时间序列 Time(年 year)	样点数 Num. of points	重复数 Num. of samples	平均物种数 Num. of Aver. species	群落类型 Community types
0	2	10	-	
3~ 6	9	10	14	猪毛蒿、猪毛蒿+ 达乌里胡枝子或赖草
15~ 18	3	10	17	达乌里胡枝子+ 长芒草、铁杆蒿+ 长芒草、白羊草+ 铁杆蒿
20~ 21	2	10	21	糙隐子草+ 铁杆蒿、达乌里胡枝子+ 长芒草或白羊草+ 达乌里胡枝子
25	2	10	14	沙棘、达乌里胡枝子
40~ 45	2	灌 3, 草 10 Shrub 3, grass 10	15	酸枣林(长芒草、达乌里胡枝子)、大针茅+ 芨蒿+ 铁杆蒿
> 50	2	3	15	次生林(辽东栎、延安锦鸡儿、虎榛子、绣线菊、刺毛忍冬、丁香)

(1) 猪毛蒿- *Artemisia scoparia*; (2) 达乌里胡枝子- *Lespedeza daurica*; (3) 赖草- *Leymus secalinus*; (4) 长芒草- *Stipa bungeana*; (5) 铁杆蒿- *Artemisia sacrorum* var. *incana* mattf; (6) 糙隐子草- *Cleistogenes squarrosa*; (7) 白羊草- *Bothriochloa ischaemum*; (8) 沙棘- *Hippophae rhamnoides*; (9) 酸枣- *Ziziphus jujuba* var. *spinosa*; (10) 大针茅- *Stipa grandis*; (11) 芨蒿- *Artemisia giralii*; (12) 辽东栎- *Quercus wutaishanica*; (13) 延安锦鸡儿- *Caragana purdomi*; (14) 虎榛子- *Ostryopsis davidiana*; (15) 绣线菊- *Spiraea trilobata*; (16) 刺毛忍冬- *Lonicera hispida*; (17) 丁香- *Syringa pekinensis*

## 3 研究结果

### 3.1 植被自然恢复过程群落及其物种变化特征

农耕地在停止耕作后, 植被便开始自行演替。在没有外来人为干扰的情况下, 演替将趋向于该区的原有植物群落。根据表 1, 该地区农耕地退耕后, 经过 50 年左右的时间, 优势植物群落辽东栎(*Quercus wutaishanica*) 林逐渐形成。其演替经历的主要阶段有: 一二年生草本群落阶段) 多年生蒿类、多年生禾草与达乌里胡枝子(*Lespedeza daurica*) 混合形成多年生草本阶段) 灌丛阶段) 辽东栎林阶段。多年生禾草阶段与多年生蒿类演替并

没有表现出严格的先后顺序,而是形成由长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、达乌里胡枝子等物种组合而成的不同群落类型的过渡阶段。这与朱志诚<sup>[13]</sup>认为的该区森林植被演替的顺序略有差异(多年生蒿类在前,多年生禾草类在后),可能与本研究区所处的边缘位置有关,具有向森林草原区过渡的性质。

随植被演替的变化,不同阶段群落特征呈现出的变化规律为(表2):恢复初期,不仅物种较少,物种多样性较低,而且物种分布的均匀度也较低,随恢复时间的延长,物种数目增多,物种多样性增加,其分布的均匀程度提高,并且在恢复20年左右的时间达到其变化的峰值。之后随灌丛植物群落的形成,物种丰富度、多样性与均匀度都有所下降。各群落特征指数对时间的拟合函数均为四阶指数函数(物种多样性、丰富度与均匀度  $R^2$  分别为0.9801, 0.7620和0.9841)。其中各指数变化的峰值阶段与演替过程中长芒草、白羊草、铁杆蒿、达乌里胡枝子等物种组成的混合阶段相对应。根据物种转换速率,该阶段物种变化速率最高,主要物种在群落中的地位相对均衡,群落演替具有过渡性质。

### 3.2 植被自然恢复中土壤养分变化特征

土壤养分是植被生存与发展的重要物质基础。在植被恢复过程中,随物种不断更替,土壤养分发生相应变化,并且在不同的养分间存在较大的差异。0~60 cm 中的土壤养分含量变化表明(表3),除全磷外,其余养分在恢复前即刚退耕的农地含量较高,随着植被恢复过程的进行,养分含量逐渐降低。此后,大约在植被恢复20年左右,土壤养分含量经过一个低谷期后,又逐渐累积。其中农耕地施肥对土壤养分具有较大的影响,是前期养分含量较高的主要原因。而从表3可以看出,植被恢复过程中的养分变化,实际上是植被对养分的消耗与累积的动态过程。由于前期植被生物量较少,对养分的累积能力较低,养分消耗大于累积,土壤养分含量逐渐减少。随着植被演替的进行,植物群落的生物量与枯落物增加,养分富集作用增加,养分含量逐渐提高。就不同养分的变化程度看,对植被恢复的响应程度从高到低表现为:有效氮>有机质>全氮>速效钾>速效磷>全磷。有效氮与有机质对植被恢复表现出较强的敏感性,而全磷则几乎没有变化。全磷随植被恢复的变化非常小,而速效磷则在不同的植被恢复阶段表现出较大的差异。植被恢复可能促进了磷素营养的矿化过程。

### 3.3 植被恢复土壤养分剖面分布变化

0~60 cm 土层的土壤养分含量从总体上反映了土壤养分对植被恢复过程的响应,但养分在土壤剖面的分布却具有明显的层次性,随土壤剖面深度发生较大的变化(图1~6)。0~20 cm 土层有机质含量平均比20~40和40~60 cm 土层含量高94.6%和149.1%。就不同恢复阶段看,刚退耕地0~20 cm 土层有机质含量比20~40和40~60 cm 分别高30.6%和47.7%,在恢复到20年左右时,表层土壤有机质含量则分别高出70.6%和96.6%,而当演替进行到50年左右时,各层有机质含量差异极为显著,表层含量分别比其余2层高出199.1%和380.8%。土壤有机质表层富集过程随恢复时间变化显著。除磷素养分外,土壤全氮、有效氮和速效钾表现基本相同的变化规律。全磷在整个植被恢复过程中,各层变化不显著。0~20 cm 土层全氮含量平均比20~40和

表2 植被自然恢复不同阶段群落物种变化特征

Table 2 The characteristics of species diversity and changes in different stages of natural succession

时间序列 Time (年 year)	物种多样性 Species diversity	物种丰富度 Species abundance	物种均匀度 Species evenness	物种转换率 Turnover rate of species
0	-	-	-	-
3~6	1.427	1.411	0.317	13.33
15~18	2.005	1.633	0.446	16.67
20~21	1.976	1.733	0.437	18.00
25	1.711	1.400	0.380	16.50
40~45	1.640	1.400	0.364	15.75
50	1.553	1.400	0.345	-

表 3 0~ 60 cm 土壤养分随植被恢复的变化特征

Table 3 Soil nutrient changes in soil layer of 0- 60 cm with the succession of vegetation

退耕年限 Time (年 year)	有机质 OM (g/ kg)	全氮 TN (g/ kg)	全磷 TP (g/ kg)	有效氮 AN (mg/ kg)	速效磷 AP (mg/ k g)	速效钾 AK (mg/ kg)
0	7. 299	0. 428	0. 563	26. 833	0. 990	59. 890
3~ 6	5. 341	0. 390	0. 542	23. 152	0. 728	49. 394
15~ 18	4. 847	0. 388	0. 505	18. 478	0. 478	67. 262
20~ 21	5. 897	0. 473	0. 505	23. 698	0. 482	46. 452
25	6. 739	0. 447	0. 534	28. 005	0. 605	58. 625
40~ 45	9. 150	0. 559	0. 502	33. 180	0. 669	63. 975
50	14. 713	0. 901	0. 551	66. 688	0. 947	114. 930
变异系数 CV	0. 441	0. 353	0. 047	0. 515	0. 293	0. 348

OM- Organic matter; TM- Total nitrogen; TP- Total phosphorus; AN- Available nitrogen; AP- Available phosphorus; AK- Available potassium; CV- Coefficient of variability. 下同 The same below.

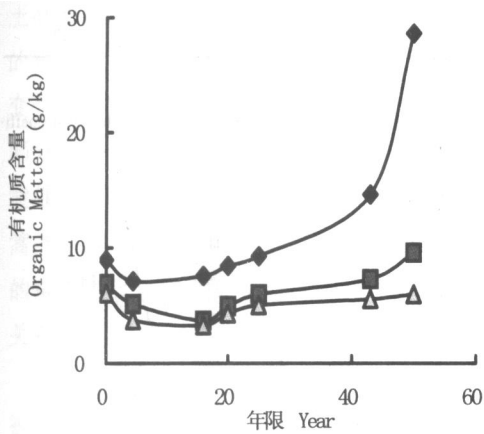


图 1 植被恢复土壤有机质剖面变化

Fig. 1 OM changes in soil profile

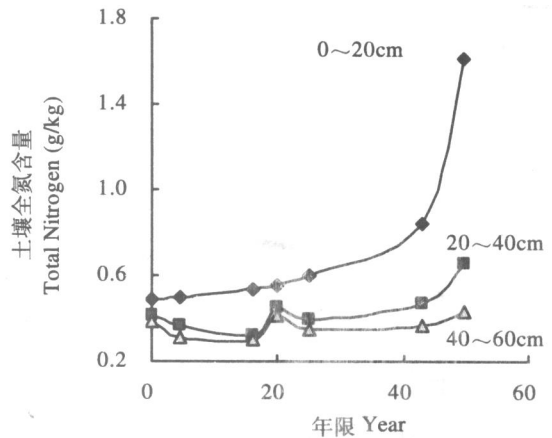


图 2 植被恢复土壤全氮剖面变化

Fig. 2 TN changes in soil profile

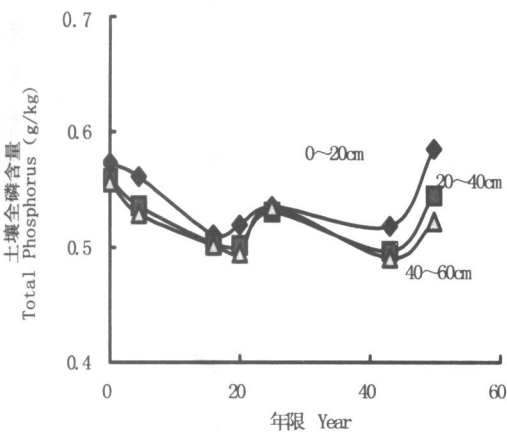


图 3 植被恢复土壤全磷剖面变化

Fig. 3 TP changes in soil profile

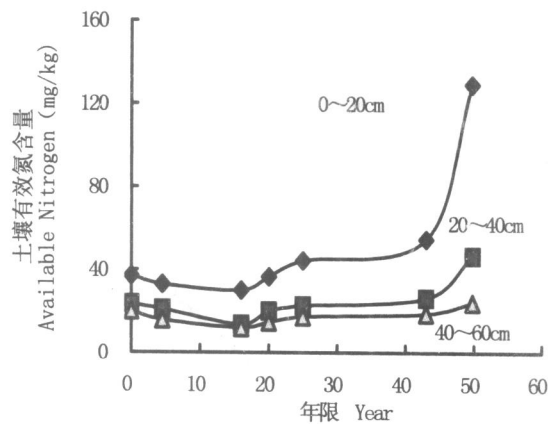


图 4 植被恢复土壤有效氮剖面变化

Fig. 4 AN changes in soil profile

40~ 60 cm 土层仅高 3. 6% 和 4. 8%。就恢复过程对全磷的影响看, 恢复前期和恢复后期 0~ 20 cm 土层全磷含量比 20~ 40 和 40~ 60 cm 土层含量也仅高 2. 5%, 3. 05% 和 7. 3%, 11. 9%。速效磷的变化则较全磷大, 不同层间含量差异在植被恢复过程中变化较大, 恢复前期 0~ 20 cm 土层速效磷含量比 20~ 40 和 40~ 60 cm 土层含量分别高 56. 0% 和 202. 3%; 恢复后期分别高 131. 4% 和 290. 8%。考虑整个恢复过程, 0~ 20 cm 土壤养分变化最为

剧烈。除去前期退耕地施肥的影响, 植被对养分的累积具有明显的表聚性, 其中有机质、全氮、有效氮和速效钾表现最为明显(图 1, 2, 4, 6)。

### 3.4 植被恢复过程中养分变化的相关性

根据养分剖面分布变化, 0~20 cm 土层养分变化最为剧烈。对该层土壤养分变化的相关性进行分析, 可以较好地体现各养分间的关系及其相互作用。对 0~20 cm 土层养分的相关性分析表明(表 4), 土壤有机质、全氮、

表 4 植被恢复过程中各养分变化的相关性

Table 4 Correlations of changes in nutrients during the succession of vegetation

项目 Item	有机质 OM	全氮 TN	全磷 TP	有效氮 AN	速效磷 AP	速效钾 AK
有机质 OM	1.000	0.999	- 1.000	0.997	1.000	- 0.999
全氮 TN	0.995	1.000	0.998	- 0.993	- 0.999	0.998
全磷 TP	0.511	0.470	1.000	0.998	1.000	- 0.999
有效氮 AN	0.991	0.991	0.563	1.000	- 0.998	0.997
速效磷 AP	0.670	0.614	0.936	0.684	1.000	0.999
速效钾 AK	0.954	0.953	0.501	0.952	0.673	1.000

下三角为相关系数; 上三角为偏相关系数; 相关系数临界值:  $\alpha = 0.05$  时,  $r = 0.7545$ ;  $\alpha = 0.01$  时,  $r = 0.8745$ 。

The left hand triangle shows coefficient of correlation; the right hand triangle shows partial coefficient of correlation; the threshold values for coefficient of correlation are: when  $\alpha = 0.05$ ,  $r = 0.7545$ ;  $\alpha = 0.01$ ,  $r = 0.8745$ .

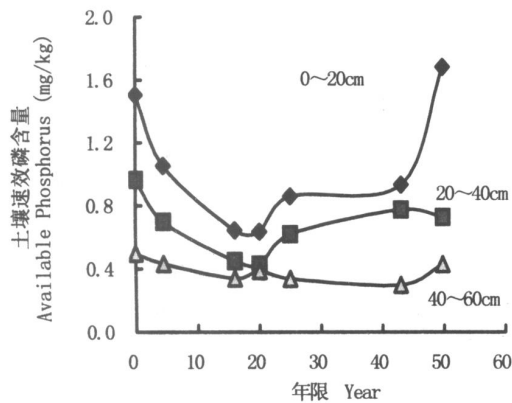


图 5 植被恢复土壤速效磷剖面变化

Fig. 5 AP changes in soil profile

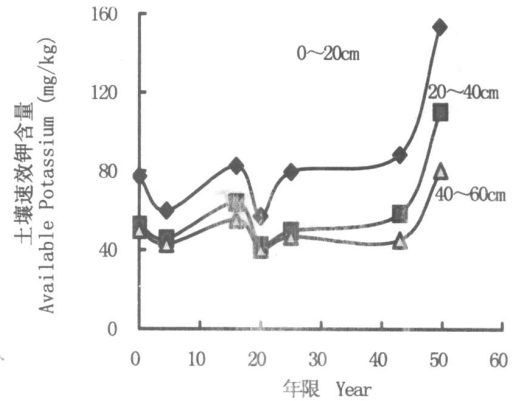


图 6 植被恢复土壤速效钾剖面变化

Fig. 6 AK changes in soil profile

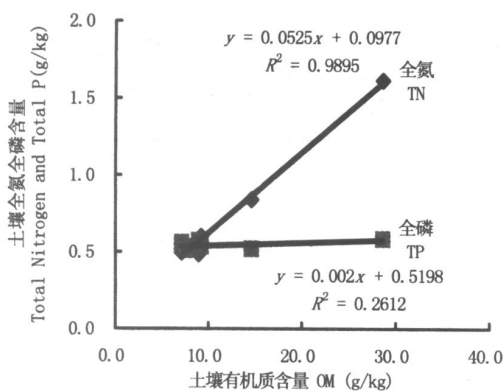


图 7 土壤有机质与全氮和全磷变化的相关性

Fig. 7 Correlations between OM and TN and TP

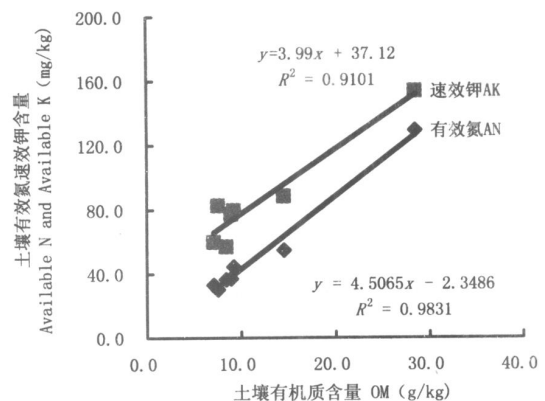


图 8 土壤有机质与有效氮和速效钾变化的相关性

Fig. 8 Correlations between OM and AN and AK

有效氮与速效钾相互间显著相关, 而全磷和速效磷与其余各养分间的相关性较小(未达到显著水平)。但全磷与速效磷二者相关性明显。

土壤有机质在土壤肥力形成过程中具有重要作用。土壤有机质与各养分的相关性分析表明(图 7~9), 在植被恢复过程中, 随土壤有机质变化, 土壤全氮、有效氮与速效钾也发生相应变化, 并与有机质变化呈显著线性相关( $R^2$  分别为 0.989 5, 0.983 1 和 0.910 1)。而全磷和速效磷变化与有机质变化的相关性较低, 没有明显规律性。

#### 4 结论与讨论

认识和了解植被恢复与土壤环境间的关系及其变化, 是恢复生态学研究中的重要组成部分, 是评价生态系统功能恢复的重要基础<sup>[5]</sup>。目前这方面开展的相关研究工作较多<sup>[4, 14~19]</sup>, 其中大多研究植被自然恢复及其与土壤环境的关系。这是因为近年来, 以植被自然恢复为基础的生态恢复途径, 因其低成本和较高的生态效益, 受到越来越多的重视<sup>[20~23]</sup>, 也是本试验对黄土高原森林边缘区退耕地植被自然恢复过程进行研究的重要原因。本研究结果表明, 植被恢复过程的物种变化, 总体上表现出趋向于该区优势植物群落类型, 但部分物种的演替顺序, 却因其立地环境在空间上的过渡性, 而与该区典型的演替序列不同。多年生禾草与蒿类在群落中交错出现的顺序, 似乎可以解释该阶段较高的群落物种多样性与较快的物种转换率。从生态恢复的角度考虑, 该阶段也可能是对演替过程进行人为调控的最佳时段, 但确切的认识, 仍需开展相当的调查及物种关系研究。

植被恢复对土壤养分的影响, 目前已开展了较多的研究工作, 大多数研究所得出的结论一致<sup>[24~28]</sup>, 即随着植被演替的进行, 土壤养分会逐渐累积而增加。但本研究得出的结论表明, 植被开始恢复时所处的生态条件也具有重要影响。以本研究为例, 弃耕的退耕地由于施肥的影响, 致使演替初期的养分含量较高。在植被恢复过程中, 土壤养分变化并不是一个持续的累积过程, 而是消耗与累积共存。养分的消耗与累积达到平衡状态时, 也是物种转换率最快的阶段。这似乎从另一方面表明该阶段的过渡性质。就具体的养分变化而言, 土壤有机质的变化与全氮、有效氮及速效钾呈现出良好的相关性, 并且具有明显的表聚性。就磷素养分变化而言, 全磷含量在整个恢复过程中变化非常小, 而速效磷则随植被恢复在逐步增加(平衡点后), 植被恢复似乎可以促进磷素养分的矿化过程, 但与其它养分的相关性却较小。因此, 通过土壤环境调控以促进植被演替时, 应该考虑植被恢复过程中不同养分变化的差异性, 应具有较强的针对性。

#### 参考文献:

- [1] De Deyn G B, Raaijmakers C E, Van Der Putten W H. Plant community development is affected by nutrients and soil biota [J]. *Journal of Ecology*, 2004, 92(5): 824-834.
- [2] 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.
- [3] 安树青, 王峥嵘. 土壤因子对次生森林群落演替的影响[J]. *生态学报*, 1997, 17(1): 42-50.
- [4] Holmes P M, Patricia M. Shrubland restoration following woody alien invasion and mining: Effects of topsoil depth, seed source, and fertilizer addition[J]. *Restoration Ecology*, 2000, 8(4): 394-403.
- [5] Nakamura A, Proctor H, Catterall C P. Using soil and litter arthropods to assess the state of rainforest restoration[J]. *Ecology Manage Restor*, 2003, 4(1): 20-28.
- [6] Jess Z K, Mitchell Aide J B P T. Barriers to forest regeneration in an abandoned pastures in puer to rico[J]. *Restoration Ecology*, 2000, 8(4): 350-359.

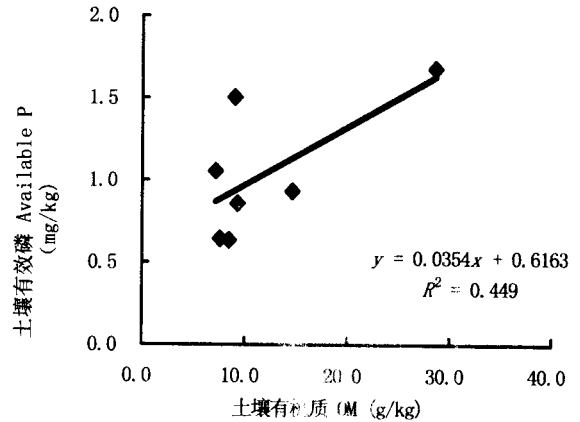


图 9 土壤有机质与速效磷变化的相关性

Fig. 9 Correlations between OM and AP

- [ 7 ] 邹厚远, 程积民. 黄土高原草原植被的自然恢复演替及调节[ J ]. 水土保持研究, 1998, 5(1): 126-138.
- [ 8 ] 薛智德, 侯庆春, 韩蕊莲, 等. 黄土丘陵沟壑区白刺花促进生态恢复的研究[ J ]. 西北林学院学报, 2002, 17(3): 262-29.
- [ 9 ] 梁一民. 黄土高原植被建设[ M ]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003.
- [ 10 ] 田均良, 梁一民, 刘普灵. 黄土高原丘陵区中尺度生态农业建设探索[ M ]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003.
- [ 11 ] 赵志模, 郭依泉. 群落生态学原理与方法[ M ]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1990.
- [ 12 ] 侯扶江, 肖金玉, 南志标. 黄土高原退耕地的生态恢复[ J ]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 923-929.
- [ 13 ] 朱志诚. 陕北黄土高原森林区植被恢复演替[ J ]. 西北林学院学报, 1993, 8(1): 87-94.
- [ 14 ] Liechty H O, Luckow K R, Guldin J M. Soil chemistry and nutrient regimes following 17- 21 years of shortleaf pine bluestem restoration in the ouachita mountains of arkansas[ J ]. Forest Ecology and Management, 2005, 204(223): 345-357.
- [ 15 ] Koptsik S V, Koptsik G N, Livantsova S Y, et al. Analysis of the relationship between soil and vegetation in forest biogeocenoses by the principal component method[ J ]. Russian Journal of Ecology, 2003, 34(1): 34-42.
- [ 16 ] Kennedy F, Pitman R. Factors affecting the nitrogen status of soils and ground flora in Beech woodlands[ J ]. Forest Ecology and Management, 2004, 198(123): 12-14.
- [ 17 ] Paniagua A, Kammerbauer J, Avedillo M, et al. Relationship of soil characteristics to vegetation successions on a sequence of degraded and rehabilitated soils in honduras[ J ]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1999, 72(3): 215-225.
- [ 18 ] Roem W J, Berendse F. Soil acidity and nutrient supply ratio as possible factors determining changes in plant species diversity in grassland and heathland communities[ J ]. Biological Conservation, 2000, 92(2): 151-161.
- [ 19 ] Ruth Balaganskaya E, Myllynen Malinen K. Soil nutrient status and revegetation practices of downhill skiing areas in finnish lapland)) a case study of Mt. Yllas[ J ]. Landscape and Urban Planning, 2000, 50(4): 259-268.
- [ 20 ] Prach K. Spontaneous succession in Central- European man-made habitats: What information can be used in restoration practice[ J ]. Applied Vegetation Science, 2003, 6(2): 125-129.
- [ 21 ] Prach K, Pysek P. Using spontaneous succession for restoration of human-disturbed habitats: Experience from central europe[ J ]. Ecological Engineering, 2001, 17(1): 55-62.
- [ 22 ] Prach K, Pysek P, Smilauer P. Prediction of vegetation succession in human-disturbed habitats using an expert system[ J ]. Restor Ecology, 1999, 7(1): 15-23.
- [ 23 ] Rebele F, Lehmann C. Restoration of a landfill site in Berlin, Germany by spontaneous and directed succession[ J ]. Restor Ecology, 2002, 10(2): 340-347.
- [ 24 ] 焦峰, 温仲明, 焦菊英, 等. 黄丘区退耕地植被与土壤水分养分的互动效应[ J ]. 草业学报, 2006, 15(2): 79-84.
- [ 25 ] 张俊华, 常庆瑞, 贾科利, 等. 黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究[ J ]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 38-41.
- [ 26 ] 谢宝平, 牛德奎. 华南严重侵蚀地植被恢复对土壤条件影响的研究[ J ]. 江西农业大学学报, 2000, 22(1): 13-19.
- [ 27 ] 刘更另, 黄新江. 红壤丘陵自然植被恢复及其对某些土壤条件的影响[ J ]. 中国农业科学, 1990, 23(3): 60-69.
- [ 28 ] 文海燕, 赵哈林, 傅华. 开垦和封育年限对退化沙质草地土壤性状的影响[ J ]. 草业学报, 2005, 14(1): 31-37.

Spontaneous succession and its impact on soil nutrient on abandoned farmland  
in the northern edge of the forest zone on the Loess Plateau

WEN Zhongming<sup>1,2</sup>, JIAO Feng<sup>2</sup>, HE Xiao2hui<sup>2</sup>, JIAO Ju2ying<sup>2</sup>

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. the Institute of  
Soil and Water Conservation, CAS and MWR, and Northwest Sc2Tech University of  
Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Soil is crucial to vegetation restoration. Understanding the process of community succession and its impact on soil nutrients will provide important implications for the acceleration of community succession by human intervention. On the Loess Plateau, vegetation restoration is the focus of environment improvement yet little work has been done on the restoration of natural vegetation and how to accelerate this process. In this study, the changes in vegetation community and their impact on soil nutrients in abandoned farmlands on the northern edge of the forest zone on the Loess Plateau were studied. In general, the community succession was of a community succession in the forest zone. However, the artemisia and gramineal grasses were different and did not follow the order of a typical succession. The species diversity, abundance and evenness increased from the early stage of succession and reached the highest values after about 20 years, then decreased to a relatively constant level. The rate of species replacement changed in the same way. Soil analysis of nutrient changes indicated that the period with high rate of species replacement coincided with the period when soil nutrient depletion was in equilibrium with soil nutrient accumulation, indicating transitional characteristics in this period. This may have implications for human intervention in accelerating community succession. The study also demonstrated that soil nutrients responded to the process of community succession in the following order: available nitrogen > soil organic matter > total nitrogen > available potassium > available phosphorus > total phosphorus. During the restoration, nutrients, especially the soil organic matter, total nitrogen and available nitrogen and potassium, concentrated in the surface layer. This may be explained by the high correlations among these four kinds of nutrients. Although total phosphorus and available phosphorus also showed a high correlation with each other, they showed low relativity with the other four kinds of nutrients, and changed little during the restoration process, especially the total phosphorus. These differences must be taken into account when attempting to accelerate natural succession by human intervention.

**Key words:** natural restoration of vegetation; soil nutrients; human intervention