

黄土丘陵小流域植被恢复驱动下的土壤养分特征

栗妍, 魏玮, 邱扬, 刘栩如, 张琳
(北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘要:为定量揭示植被恢复对土壤养分的影响,本文借助土壤养分指数(SNI)评价方法,对典型黄土丘陵区小流域不同恢复方式下典型植物群落的土壤养分进行定量化分析和综合评价。结果表明:不同恢复方式的土壤 SNI 值大小依次为:退耕还林(0.814)>退耕还灌(0.659)>弃耕或退耕还草(0.364)>对照农地(0.220);不同植物群落土壤 SNI 值大小依次为:柠条群落(0.777)>小叶杨群落(0.658)>刺槐群落(0.545)>杏群落(0.510)>落草群落(0.425)>茵陈蒿群落(0.310)>沙棘群落(0.271)>白羊草群落(0.257)>硬质早熟禾群落(0.249)>大豆群落(0.227)>铁杆蒿群落(0.224)>达乌里胡枝子群落(0.103)。研究表明,生态退耕后不同恢复方式对土壤养分均有明显的改善作用。退耕还灌的三种植物群落土壤养分指数差异显著,退耕还林、弃耕或退耕还草内部各群落间土壤养分指数差异不显著,除铁杆蒿和达乌里胡枝子群落外,其他植物群落的土壤养分指数均高于农田作物大豆群落。

关键词:黄土丘陵区; 植被恢复; 恢复方式; 植物群落; 土壤养分

中图分类号:S158.3 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2014)06-0115-07

Effects of Different Vegetation Restoration Types on Soil Nutrient Properties in the Hill and Gully Region of Loess Plateau

LI Yan, WEI Wei, QIU Yang, LIU Xu-ru, ZHANG Lin
(School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Soil nutrient properties in the Loess Plateau are largely influenced by re-vegetation. By calculating the soil nutrient index (SNI), this study evaluated the quantitative influence of typical plant communities of different re-vegetation types on soil nutrient properties in the hill and gully region of loess. Results of this study showed that the order of SNI among different vegetation types was trees(0.814)> brush(0.659)> grassland(0.364)> crop(0.220). Calculated SNI of different plant communities was in order of *Caragana korshinski*(0.777)> *Populus simonii*(0.658)> *Robinia pseudoacacia*(0.545)> *Armeniaca*(0.510)> *Koeleria cristata* (0.425)> *Artemisia capillaris*(0.310)> *Hippophae rhamnoides* (0.271)> *Bothriochloa ischaemum*(0.257)> *Poa sphondylodes*(0.249)> *Glycine max* (0.227)> *Artemisia sacrorum* (0.224)> *Lespedeza daurica* (0.103). The results indicated that different vegetation restoration measures can significantly improve soil nutrient properties. Significant difference in SNI was found among different brush communities. SNI of plant community was found to be obviously higher than that in *Glycine max* crop community except for *Artemisia sacrorum* and *Lespedeza daurica*.

Key words: hill and gully region of loess; vegetation restoration; vegetation restoration measures; plant community; soil nutrient

植被和土壤是陆地景观中最活跃的两个因子,彼此之间相互联系、互相影响,组成一个密不可分的系统^[1-2]。植被对土壤的影响体现在植物根系对土壤具有挤压、穿插和分割作用,死亡根系和枯枝落叶产生的有机质及根际分泌物影响土壤性质,另一方面,植物对营养元素选择吸收以及吸收能力的不同引起土壤养分差异等^[3]。同时,土壤反过来又对植被的生长产生影响,土壤为植被的正常生长提供必要的养分和

水分。土壤和植被的相互作用关系,是一直以来的研究热点领域。

黄土丘陵沟壑区是我国土壤侵蚀最为严重的地区之一^[4],土壤侵蚀不仅造成大量的水土流失,在径流和泥沙迁移的过程中,也带走了大量的土壤养分,造成该区土壤质量的下降^[5]。20世纪90年代后期开始,该地区开展了大规模植被恢复工作,植被恢复有效地控制了土壤侵蚀,减少了表层土壤养分的流失,促进了土壤养分循环^[6]。黄土高原地区的植被恢复存在着多种方式,植物群落也存在着较大的差异^[7-8]。不同植被恢复类型对土壤养分的影响已有较多的研究,很多研究表明植被是造成土壤养分差异的主要因子,但大多是按照植被生活型或土地利用类型来划分植被,定性的解释植被与土壤的关系^[1-3,6,7-10]。将植被细分到植物群落,研究不同植物群落对土壤养分的作用,尤其是定量的评估和比较,则相对较为缺乏。探讨植被恢复驱动下典型植物群落对土壤养分的影响及其程度,是评价黄土高原地区生态退耕对区域生态系统综合影响的一个重要科学问题。本文以位于该区域的典型小流域安塞县大南沟小流域为例,研究不同恢复方式下典型植物群落表层土壤养分特征,并引入土壤养分指数(Soil nutrient index, SNI)对土壤养分进行量化分析和综合评价,旨在定量揭示不同恢复方式和不同植物群落对土壤养分的影响,以期为黄土高原地区植被恢复和重建提供科学依据。

1 研究地区

1.1 研究区概况

大南沟小流域(109°16′—109°18′E, 36°54′—36°56′N)位于陕西省延安市安塞县,是延河的一级支流,属典型黄土丘陵沟壑区。流域面积3.57 km²,海拔1 075~1 370 m,相对高差295 m。研究区气候为暖温带大陆性半干旱季风气候,年平均气温8.8℃,7月平均22.8℃,1月平均-7.2℃,年较差30℃。多年平均降雨量531 mm,降雨量年内和年际间变化较大,63%的降雨集中在7—9月3个月。研究区土壤类型为黄土母质上发育而成的黄绵土,约占总面积的81%。流域内沟壑纵横,土质疏松,抗蚀抗冲性差,水土流失严重。

1.2 主要植被类型

该区地带性植被为暖温带落叶阔叶林向温带草原的过渡类型——森林草原。流域内自然植被已破坏殆尽,经过近20 a的自然和人工恢复,目前研究区

草本植物主要包括茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、硬质早熟禾(*Poa sphondylodes*)等;灌木以人工恢复的柠条(*Caragana korshinskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)及自然恢复的小灌木达乌里胡枝子(*Lespedeza daurica*)为主;乔木以人工刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、小叶杨(*Populus simonii*)、杏(*Armeniaca vulgaris*)为主。

2 研究方法

2.1 植物群落调查

于2012年8月在研究区内对不同恢复方式下的典型植物群落进行野外调查和样品采集。植被调查样地分布于整个流域,根据罗盘测定的坡向值分成阳坡、半阳坡、半阴坡、阴坡4坡向,海拔高度为1 117~1 367 m,坡度15°~30°。植物群落数据采用经典植被调查方法获取,灌木和草本群落采用2 m×2 m的样方,乔木群落采用10 m×10 m的样方,在四角和中央各取1个2 m×2 m的小样方。调查内容包括物种名、盖度、高度、多度等,群落的年限通过农户调查得到。研究区植被恢复方式包括弃耕或退耕还草、退耕还灌和退耕还林。在调查的106个植物群落样方中,属于弃耕或退耕还草的草本植物群落样方有51个,包括铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)为优势种的群落、茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)为优势种的群落、硬质早熟禾(*Poa sphondylodes*)为优势种的群落、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)为优势种的群落、落草(*Koeleria glauca*)为优势种的群落等;退耕还灌群落样方有23个,主要是柠条(*Caragana korshinskii*)群落、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)群落及达乌里胡枝子(*Lespedeza daurica*)为优势种的群落;退耕还林群落样方有26个,包括刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、杏(*Armeniaca vulgaris*)和小叶杨(*Populus simonii*)群落。另外选择6个农田作物大豆(*Glycine max*)群落(现流域内农作物主要为大豆)作为对照。植物群落的基本特征见表1。

2.2 土样采集及测定

在植被调查的同时,对表层0—10 cm的土壤样品进行采集,紧邻样地四角,按“S”形采样取表层土壤,混合作为该样地的土样,共采集106个土样带回实验室进行土样养分分析。土壤有机质的测定采用重铬酸钾容量法;全氮采用半微量开氏法;全磷采用HClO₄—H₂SO₄消煮——钼锑抗比色法;速效氮采用碱解扩散法;速效磷采用NaHCO₃浸提——钼锑抗比色法;速效钾采用原子吸收光谱法^[11]。

表 1 不同恢复方式的植物群落基本特征

恢复方式	群落	主要伴生种	样方数	平均年龄	盖度%	海拔/m	坡度/(°)	坡向	
退耕 还林	刺槐群落	赖草(<i>Leymus secalinus</i>)	19	16	40~80	1117~1353	15~30	阳坡、半阳坡	
		阿尔泰狗娃花(<i>Heteropappus altaicus</i>)							
		铁杆蒿							
	小叶杨群落	大花蚬果芥(<i>Torularia humilis</i>)	2	27	90	1207~1208	15~20	阳坡、半阳坡	
		艾蒿(<i>Artemisia argyi</i>)							
		南牡蒿(<i>Artemisia eriopoda</i>)							
杏群落	披针叶黄华(<i>Thermopsis lanceolata</i>)	5	7	20~80	1171~1289	15~26	半阴坡、半阳坡		
	苜蓿(<i>Medicago sativa</i>)								
	莢蒾菜(<i>Sonchus arvensis</i>)								
退耕 还灌	柠条群落	茵陈蒿	9	25	95	1291~1344	21~29	阴坡、半阴坡	
		甘菊(<i>Dendranthema lavenduli folium</i>)							
		牛尾蒿(<i>Aremisis roxbughiana</i>)							
	沙棘群落	赖草	9	14	70~95	1197~1310	18~30	阳坡、半阳坡	
		长芒草(<i>Stipa bungeana</i>)							
		达乌里胡枝子							
	达乌里胡枝子 等为主的群落	阿尔泰狗娃花	5	15	50~60	1209~1323	21~25	半阳坡	
		大花蚬果芥							
		铁杆蒿							
	弃耕 或 退耕 还草	铁杆蒿等 为主的群落	茺蒿(<i>Artemisia giralaii</i>)	17	21	35~70	1170~1367	15~30	阴坡、半阴坡
			白羊草						
			草木樨状黄耆(<i>Astragalus melilotoides</i>)						
茵陈蒿等为主的群落		芦苇(<i>Phragmites australis</i>)	22	1	45~85	1215~1281	1	阴坡、半阴坡	
		铁杆蒿							
		硬质早熟禾							
硬质早熟禾 等为主的群落		茺蒿	6	19	50~70	1182~1316	19~30	阴坡	
		草木樨状黄耆							
		铁杆蒿							
白羊草等 为主的群落		达乌里胡枝子	3	20	40~60	1119~1348	21~30	阳坡	
		中华隐子草							
		长芒草							
落草等为主 的群落	硬质早熟禾	3	21	50~70	1279~1343	11~22	阴坡		
	铁杆蒿								
	大针茅(<i>Stipa grandis</i>)								
对照农地	大豆群落		6	0	40~50	1217~1276	1	阴坡	

2.3 数据处理与分析

2.3.1 统计分析 运用 Excel 2007,SPSS 19.0 软件进行数据处理与统计分析。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组之间的差异。

2.3.2 土壤养分因子隶属度的计算 对评价指标采用连续性质的隶属度函数^[12],计算各养分因子的隶属度值,计算时的数据处理均采用升型分布函数^[13]:

$$N(X_i)=\frac{(X_i-X_{imin})}{(X_{imax}-X_{imin})}$$

(1)

式中: $N(X_i)$ ——第 i 项养分因子的隶属度值;

X_i ——某种恢复方式或某种植物群落第 i 项养分因子的平均值; X_{imax} 和 X_{imin} ——各恢复方式或各植物群落中第 i 项养分因子的最小值和最大值。

2.3.3 土壤养分因子权重的计算 因子权重的确定采用主成分方法,即通过主成分分析统计各养分因子的主成分贡献率,计算因子负荷量,也就是各养分因子在土壤养分综合水平中作用的大小,从而确定其权重。

2.3.4 土壤养分指数(SNI)的计算 根据加乘法则,对土壤各个养分指标值采用乘法进行合成,计算各群落土壤养分指数(SNI),计算公式如下:

$$SNI = \sum W_i \times N(X_i) \quad (2)$$

式中： W_i ——第 i 项养分因子的权重向量； $N(X_i)$ ——第 i 项养分因子的隶属度值。

3 结果与分析

3.1 不同恢复方式的土壤养分效应

将研究区各种恢复方式下的土壤养分含量与对照农地作对比,结果如图 1 所示:除全磷和速效磷含量对照农地最高外(这可能是由农地施肥造成的),三种恢复方式下的其他各养分含量均显著高于对照农地。说明植被恢复有效促进了养分积累。

对于不同恢复方式,其土壤有机质含量从大到小依次为:退耕还林(1.15%)>退耕还灌(0.98%)>弃耕或退耕还草(0.77%)(图 1)。退耕还林和退耕还灌的有机质含量明显高于弃耕或退耕还草,这是由于乔木和灌木覆盖下枯枝落叶等凋落物含量高,且随着根系分泌物的分解,释放养分归还土壤,因此有机质含量高^[14]。

不同恢复方式对于土壤氮素的改善作用表现为,全氮含量:退耕还灌(0.61 g/kg)>退耕还林(0.54 g/kg)>弃耕或退耕还草(0.48 g/kg);碱解氮含量:退耕还灌(51.32 mg/kg)>退耕还林(45.93 mg/kg)>弃耕或退耕还草(42.92 mg/kg)。可以看出,退耕还灌的全氮和碱解氮含量均明显高于另外两种恢复方式,说明对氮素的积累,灌木要好于乔木和草本(图 1)。全氮和碱解氮含量变化的一致性说明植被对不

同形态的氮富集作用相似。

不同恢复方式下全磷含量从大到小依次为:退耕还林(0.62 g/kg)>退耕还灌(0.60 g/kg)=弃耕或退耕还草(0.60 g/kg),三种恢复方式全磷的含量非常接近,说明不同恢复方式对全磷的改善作用差异不显著;速效磷含量大小依次为:弃耕或退耕还草(2.35 mg/kg)>退耕还林(1.80 mg/kg)>退耕还灌(1.62 mg/kg),草本最高,灌木最低,且差异显著(图 1)。植被的全磷与速效磷效应显著不同,说明植被对不同形态的磷富集作用不同。

不同恢复方式速效钾含量大小依次为:退耕还林(179.04 mg/kg)>退耕还灌(152.80 mg/kg)>弃耕或退耕还草(116.57 mg/kg),按乔灌草顺序降低,草地的速效钾含量显著低于乔木和灌木地,与有机质的变化规律一致。这是因为在黄土高原植被生长过程中,林木及林下微生物的活动可以促进土壤中难溶的无效矿物钾转化;另外,土壤中的微生物在分解凋落物时会形成有机酸、酚和无机碳酸,可以促进土壤中长石类含钾矿物的分解风化,把无效态钾转化为有效态钾,从而增加土壤中有效钾的储量。但是土壤中的钾离子易淋失,如果土壤中有机质含量高的话,则可吸附大量的钾离子,进而提高速效钾含量^[15]。

比较三种恢复方式的各养分含量,有机质、全磷、速效钾含量最高的是退耕还林,全氮和碱解氮含量最高的是退耕还灌,弃耕或退耕还草除速效磷含量最高外,其他各养分均在三者中最低(图 1)。

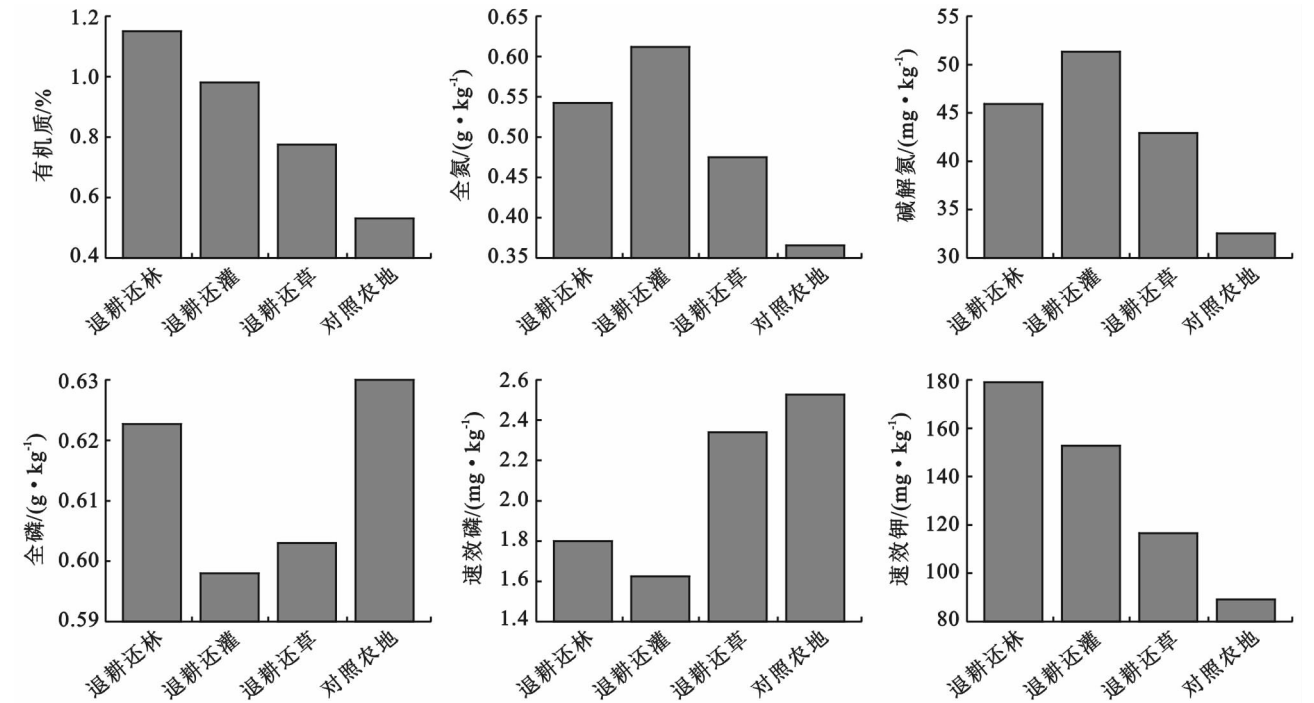


图 1 不同恢复方式土壤养分含量变化

3.2 不同植物群落的土壤养分效应

3.2.1 不同植物群落的有机质效应 根据彭祥林^[16]等测定,黄绵土表层有机质含量为 0.45%~0.80%,在研究区的 11 个典型植物群落中,除达乌里胡枝子群落(0.56%)和茵陈蒿群落(0.62%)外,其他群落土壤表层有机质含量平均值均大于 0.80%,反映了植被恢复对有机质明显的积累作用。并且,所有植物群落的有机质含量均高于对照农地(表 2),表明该流域实行退耕以来,有机质含量得到了明显地提高。

比较不同群落间有机质含量的差异,退耕还林方式下的三种群落有机质含量无差异,普遍高于其他各植物群落,进一步说明乔木覆盖可提高土壤有机质含量。退耕还灌的三种群落有机质含量差异显著。弃耕或退耕还草的各群落有机质含量差异不显著,且普遍较低。

3.2.2 不同植物群落的氮素效应 比较表 2 中各植物群落全氮与碱解氮的含量,可以发现,在各个植物群落间两种氮素的含量变化比较一致,进一步说明植物群落对氮素的富集作用相似。所有群落中,柠条群落的全氮和碱解氮含量均显著高于其他群落。因为柠条是豆科植物,固氮作用促进了氮素的积累^[17]。说明在土壤氮素的改善方面,柠条的作用是突出的。

3.2.3 不同植物群落的磷素效应 各植物群落全磷的含量差别不大,这是因为土壤全磷含量的高低,主要受土壤母质、成土作用和耕作施肥的影响^[11],该流域土壤均发育于黄土性母质的石灰性土壤,成土作用

基本相同,并且全磷的迁移率很低,所以全磷含量在整个流域的空间分布比较均匀,受植被影响很小。而速效磷含量表现出草本植物群落显著高于灌木植物群落,这是因为,土壤的速效磷含量一方面决定于全磷含量,一方面受到植物固磷作用的强烈影响^[18]。柠条灌木群落吸收同化作用显著,导致土壤中的速效磷含量较低^[19];而草地群落对磷素的吸收同化作用相对较弱,所以土壤速效磷含量较高。小叶杨和茵陈蒿的速效磷含量较之其他群落高,是因为小叶杨林龄长,林下微生物多,有助于无效态养分向有效态转化^[15],而茵陈蒿的退耕年限仅为 1 a,速效磷含量高与之前耕作施肥有关。

3.2.4 不同植物群落的速效钾效应 由表 2 可知,各植物群落彼此间的速效钾含量差异极其显著,说明植被类型在很大程度上影响着土壤速效钾含量。退耕还林方式下,小叶杨的速效钾含量显著高于刺槐和杏。这是因为小叶杨在三种林木中,平均年龄最长,盖度最大,林下有机物积累最多^[14],而速效钾和有机质有着很好的相关性^[15],故速效钾含量最高。退耕还灌的三种群落速效钾的含量差异仍然很大。弃耕或退耕还草各群落的速效钾含量无差异。

以上结果表明,同种恢复方式下的不同植物群落,其养分含量表现出差异性,差异最大的是退耕还灌的三种群落,三者每种养分的差异均非常显著;其次是退耕还林的三种群落;较之前两种恢复方式,弃耕或退耕还草的各植物群落养分含量差异不明显(表 2)。

表 2 不同植物群落间土壤养分多重比较及描述性统计

群落类型	有机质/ %	全氮/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
刺槐	1.17a	0.53b	45.37b	0.63ab	1.62b	168.40bc
杏	1.00a	0.52b	46.41b	0.63ab	1.91ab	176.52b
小叶杨	1.33a	0.68ab	50.04b	0.58ab	3.23a	286.43a
柠条	1.38a	0.82a	76.74a	0.61ab	1.51b	197.80ab
沙棘	0.81ab	0.49b	35.45b	0.60ab	1.56b	129.84bc
达乌里胡枝子	0.56b	0.45bc	34.15b	0.58ab	1.94ab	113.14bc
铁杆蒿	0.86ab	0.50b	41.96b	0.57b	1.91ab	118.28bc
茵陈蒿	0.62ab	0.42bc	44.98b	0.63a	3.01a	109.62bc
硬质早熟禾	0.87ab	0.52b	43.15b	0.58b	1.98ab	119.13bc
白羊草	0.99a	0.49b	27.90b	0.59ab	1.23b	130.61bc
落草	1.02a	0.61b	47.69b	0.60ab	1.75b	138.61bc
大豆	0.53b	0.37bc	32.54b	0.64a	2.53ab	89.22c
最大值	1.38	0.82	76.74	0.64	3.23	286.43
最小值	0.53	0.37	27.90	0.58	1.23	89.22
平均值	0.93	0.53	43.87	0.60	2.01	148.13
标准差	0.28	0.12	12.42	0.02	0.61	53.47

注:表中同一列不同字母表示差异显著(P>95%)。

3.3 植被土壤养分效应综合评价

以上分析表明,不同植物对单一土壤养分元素的吸收和利用存在较大差异,为了综合评价研究区不同恢复方式以及典型植物群落的土壤养分水平,本研究借助土壤养分指数评价方法^[20],以传统农地作为参照,对研究区 3 种恢复方式下 12 种群落的土壤养分效应进行了综合评价。

3.3.1 养分因子隶属度及权重的确定 根据公式(1)分别计算不同恢复方式及不同植物群落土壤养分的隶属度值,结果见表 3.4。通过主成分分析,统计各养分因子的主成分贡献率,计算因子负荷量,即各养分因子在土壤养分综合水平中作用的大小,确定其权重。各养分权重值如下:有机质 0.217,全氮 0.209,碱解氮 0.143,全磷 0.200,速效磷 0.020,速效钾

0.211。可以看出土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效钾均对土壤养分有较大影响,土壤速效磷对土壤养分影响很小。

3.3.2 不同恢复方式土壤养分指数 根据公式(2)计算各种恢复方式的土壤养分指数,结果见表 3。不同恢复方式土壤 SNI 值大小顺序为:退耕还林(0.814)>退耕还灌(0.659)>弃耕或退耕还草(0.364)>对照农地(0.220)。各恢复方式 SNI 值均明显高于对照农地,表明植被恢复对黄土丘陵区土壤养分的改善起到了显著作用,三种恢复方式相对于对照农地土壤养分的增幅分别为:退耕还林(3.70 倍)、退耕还灌(2.99 倍)、弃耕或退耕还草(1.65 倍),表明各种恢复措施中,退耕还林对土壤养分的改善效应最好,其次是退耕还灌,弃耕或退耕还草效果最不明显。

表 3 不同恢复方式土壤养分隶属度及 SNI 值

恢复方式	OM 隶属度	TN 隶属度	EN 隶属度	TP 隶属度	EP 隶属度	EK 隶属度	SNI
退耕还林	1.00	0.72	0.71	0.65	0.20	1.00	0.814
退耕还灌	0.73	1.00	1.00	0.00	0.00	0.71	0.659
弃耕或退耕还草	0.39	0.44	0.55	0.13	0.79	0.30	0.364
对照农地	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.220

3.3.3 不同植物群落土壤养分指数 对不同植物群落的土壤养分进行统计分析,结果如表 2 所示,有机质含量最大的是柠条群落,最小的是大豆群落;全氮含量最大的是柠条群落,最小的是大豆群落;碱解氮含量最大的是柠条群落,最小的是白羊草群落;全磷含量最大的是大豆群落,最小的是铁杆蒿群落;速效磷含量最大的是小叶杨群落,最小的是白羊草群落;速效钾含量最大的是小叶杨群落,最小的是大豆群落,且各养分含量在群落间的离散程度也不相同。可见植物对各土壤养分的吸收和利用存在较大差异。

因此,为综合评价黄土丘陵区典型植物群落的土壤养分效应,根据公式(2)计算各植物群落的土壤养分指数,结果见表 4。不同植物群落土壤 SNI 值大小顺序为:柠条群落(0.777)>小叶杨群落(0.658)>刺槐群落(0.545)>杏群落(0.510)>落草群落(0.425)>茵陈蒿群落(0.310)>沙棘群落(0.271)>白羊草群落(0.257)>硬质早熟禾群落(0.249)>农地群落(0.227)>铁杆蒿群落(0.224)>达乌里胡枝子群落(0.103)。SNI 值最高的是柠条群落,最低的是达乌里胡枝子群落。除达乌里胡枝子和铁杆蒿群落,各群落 SNI 值均高于农田作物大豆群落。它们相对于大豆群落土壤养分的增幅分别为:柠条群落(3.43 倍)、小叶杨群落(2.90 倍)、刺槐群落(2.40 倍)、杏群落(2.25 倍)、落草群落(1.88 倍)、茵陈蒿群落(1.37 倍)、沙棘群落(1.20 倍)、白羊草群落(1.13 倍)、硬质

早熟禾群落(1.10 倍)、铁杆蒿群落(0.99 倍)、达乌里胡枝子群落(0.45 倍)。可以看出,退耕还林恢复方式下的各群落土壤养分普遍偏高,弃耕或退耕还草方式的各群落土壤养分普遍较低,而退耕还灌方式的三种植物群落对于土壤养分的改善效应差异显著。柠条对养分的增幅是沙棘的将近 3 倍,是达乌里胡枝子的 7 倍多。这种差异与灌木树种的生长特点和生物学特性有密切关系。柠条具有较强的拓殖能力,其枝条的萌蘖力和再生能力极强,可形成稠密的灌丛并且与柠条伴生的草本植物生活力强,生物量大,有利于保护土壤和改善土壤养分^[21];沙棘群落的拓殖能力不如柠条,灌丛密度小,且其下生长的草本植物密度、高度、盖度均较低,生物量小;而达乌里胡枝子属小灌木,植株的高度、多度、盖度均不及柠条和沙棘,生物量小。除此之外,柠条群落分布于阴坡、半阴坡,而沙棘和达乌里胡枝子群落分布于阳坡、半阳坡(表 1),阴阳坡温度及浅层水分含量的差异显著^[22],从而影响养分的积累和分解速度^[23],进一步加剧了三者土壤养分的差异。

4 结论

(1)生态退耕后,较之对照农地,三种恢复方式下的土壤养分都得到了明显的改善,改善程度最大的是退耕还林方式,其次是退耕还灌方式,弃耕或退耕还草方式对养分改善作用最小。

表 4 不同植物群落土壤养分隶属度及 SNI 值

植物群落	OM 隶属度	TN 隶属度	EN 隶属度	TP 隶属度	EP 隶属度	EK 隶属度	SNI
刺槐	0.75	0.37	0.36	0.82	0.20	0.40	0.545
杏	0.55	0.34	0.38	0.82	0.34	0.44	0.510
小叶杨	0.94	0.69	0.45	0.07	1.00	1.00	0.658
柠条	1.00	1.00	1.00	0.45	0.14	0.55	0.777
沙棘	0.33	0.28	0.15	0.36	0.17	0.21	0.271
达乌里胡枝子	0.04	0.18	0.13	0.04	0.36	0.12	0.103
铁杆蒿	0.38	0.30	0.29	0.00	0.34	0.15	0.224
茵陈蒿	0.11	0.12	0.35	0.86	0.89	0.10	0.310
硬质早熟禾	0.40	0.34	0.31	0.03	0.37	0.15	0.249
白羊草	0.54	0.28	0.00	0.18	0.00	0.21	0.257
落草	0.58	0.54	0.41	0.36	0.26	0.25	0.425
大豆	0.00	0.00	0.10	1.00	0.65	0.00	0.227

(2) 除达乌里胡枝子和铁杆蒿,各植物群落的土壤养分较之农田作物大豆群落均有所提高,其中提高最明显的是柠条群落。

(3) 植物群落对土壤中不同的养分作用不同。主要表现在:有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾含量在不同群落间差异较显著,全磷含量差异不显著。

(4) 同一恢复方式下的植物群落有各自不同的土壤养分效应,突出体现在:退耕还灌的三种植物群落,土壤养分效应差异极显著;柠条群落的综合养分指数最高并在土壤氮素的积累方面具有突出作用;退耕还林、弃耕或退耕还草内部各群落间土壤养分效应差异不明显。

参考文献:

[1] 焦峰,温仲明,卜耀军,等. 黄土丘陵区退耕地景观植被与土壤特征时空变异及其相关分析[J]. 中国农学通报, 2005,21(7):363-366.

[2] 胡婵娟,刘国华,陈利顶,等. 黄土丘陵区坡面尺度上不同植被格局下植物群落和土壤性质研究[J]. 干旱区地理, 2012,35(5):787-794.

[3] Tsegaye T, Hill R L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurements[J]. Soil Science,1998,163(2):155-165.

[4] Liu L, Liu X H. Sensitivity analysis of soil erosion in the northern Loess Plateau[J]. Procedia Environmental Sciences, 2010(2):134-148.

[5] 刘旦旦,王健,尹武君. 天然降雨对黄土坡地土壤侵蚀和养分流失的影响[J]. 节水灌溉, 2011(8):17-20.

[6] 胡婵娟,郭雷. 植被恢复的生态效应研究进展[J]. 生态环境学报, 2012,21(9):1640-1646.

[7] 陈利云,王弋博. 麦积山草地植物群落物种多样性及结构相似性特征[J]. 干旱区资源与环境, 2014,28(1):148-152.

[8] 邢肖毅,黄懿梅,安韶山,等. 黄土高原沟壑区森林带不同植物群落土壤氮素含量及其转化[J]. 生态学报, 2013,33(22):7181-7189.

[9] 邱莉萍,张兴昌. 黄土高原沟壑区小流域不同植被覆被对土壤性质的影响[J]. 水土保持研究, 2010,17(3):64-68.

[10] 易亮,李凯荣,张冠华,等. 渭北黄土高原经济林地土壤养分特征研究[J]. 水土保持研究, 2009,16(2):186-190.

[11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社, 2000.

[12] 张先婉. 土壤肥力研究进展[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1991:221-234.

[13] West D C, Shugart H H, Botkin D B. Forest succession. Concepts and application[M]. Springer-Verlag New York Inc. , 1981.

[14] 邵明安. 黄土高原小流域土壤 pH,阳离子交换量和有机质分布特征[J]. 应用生态学报, 2009,20(11):2710-2715.

[15] 张红,吕家珑,赵世伟,等. 不同植被覆盖下子午岭土壤养分状况研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006,24(2):66-69.

[16] 彭祥林,贾恒义. 黄土高原草地土壤生态[M]. 北京:世界图书出版社, 1997.

[17] 牛西午,张强,杨治平,等. 柠条人工林对晋西北土壤理化性质变化的影响研究[J]. 西北植物学报, 2004,23(4):628-632.

[18] Bolinder M A, Angers D A, Gregorich E G, et al. The response of soil quality indicators to conservation management[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1999,79(1):37-45.

[19] 张杨,梁爱华,王平平,等. 黄土丘陵区不同植被恢复模式土壤养分效应[J]. 西北农业学报, 2010,19(9):114-118.

[20] 戴全厚,刘国彬,张健,等. 黄土丘陵区植被次生演替灌木种群的土壤养分效应[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2008,36(8):125-131.

能由于幼龄期的针阔混交林Ⅲ乔木层物种的恢复达不到原有水平,同时桉树短轮伐期经营必然导致乔木层物种多样性的下降。随着林龄的增加,针阔混交林和桉树林灌木层和草本层 H' 和 D 指数均有不同程度降低。同林龄桉树林灌木层和草本层 D 指数均高于针阔混交林,表明桉树林灌木层和草本层群落内物种数量分布不均匀,优势种突出。针阔混交林Ⅰ乔木层和灌木层 H' 指数、 D 指数及 E 指数显著高于草本层 ($P < 0.05$),桉树林Ⅱ乔木层、灌木层和草本层间 H' 指数、 D 指数及 E 指数均存在显著差异 ($P < 0.05$)。针阔混交林乔木层均匀度指数 (E) 均大于桉树林,说明针阔混交林乔木层群落个体分配较为均匀,群落对于环境变化及来自内部的波动就会有较大的调节作用,稳定性好于桉树林。而 5~7 a 林龄的试验林灌木层群落稳定性高于 9~11 a 林龄的试验林。与 5~7 a 生针阔混交林相比,10~11 a 针阔混交林乔木层物种 S 、 H' 、 D 及 E 指数呈上升趋势,而灌木层和草本层呈下降趋势。与 1 代桉树林Ⅳ相比,2 代桉树林Ⅱ灌木层和草本层 S 、 H' 和 D 指数呈下降趋势,这可能由于在连续经营中,对林地的人为干扰变得十分频繁,这些干扰对林下植被群落的保护基本上是不利的,物种多样性会随之下降^[19]。

参考文献:

- [1] 杨尚东,吴俊,谭宏伟,等.红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价[J].生态学报,2013,33(24):7788-7797.
- [2] 时伟伟,彭晚霞,宋同清,等.不同林龄尾巨桉人工林土壤养分与微生物的耦合关系[J].西北植物学报,2013,33(7):1452-1458.
- [3] 刘平,秦晶,刘建昌,等.桉树人工林地土壤养分和重金属现状分析与评价[J].环境工程学报,2011,5(3):649-656.
- [4] 李燕燕,樊后保,刘文飞,等.不同林龄尾巨桉人工林生态系统生物量的研究[J].北京林业大学学报,2011,33(4):28-32.
- [5] 刘文飞,吴建平,樊后保,等.连续年龄序列枝树人工林碳库[J].生态环境学报,2013(1):12-17.
- [6] 时忠杰,徐大平,张宁南,等.桉树人工林水文影响研究进展[J].林业科学,2009,45(11):135-140.
- [7] 向仰州,徐大平,杨曾奖,等.海南省两种人工林林下物种多样性与土壤水分物理性质的关系[J].水土保持研究,2012,19(1):37-41.
- [8] 张丹桔,张健,杨万勤,等.一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性[J].生态学报,2013,33(13):3947-3962.
- [9] 平亮,谢宗强.引种桉树对本地生物多样性的影响[J].应用生态学报,2009,20(7):1765-1774.
- [10] 叶绍明,温远光,杨梅,等.连栽桉树人工林生产力和植物多样性及其相关性分析[J].西北植物学报,2010(7):1458-1467.
- [11] 朱宏光,温远光,梁宏温,等.广西桉树林取代马尾松林对植物多样性的影响[J].北京林业大学学报,2009(6):149-153.
- [12] 刘振学,任广鑫,康冰,等.辛家山不同坡向次生林群落物种多样性研究[J].水土保持研究,2011,18(4):197-202.
- [13] 薛立,傅静丹,郑卫国,等.3种人工幼林的土壤微生物和酶活性研究[J].中南林业科技大学学报:自然科学版,2008,28(4):98-100.
- [14] 何友均,梁星云,覃林,等.南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响[J].生态学报,2013,33(8):2484-2495.
- [15] 王芸,欧阳志云,郑华,等.南方红壤区3种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响[J].生态学报,2013,33(4):1204-1211.
- [16] 短轮伐期巨桉人工林生态系统[M].成都:四川科学技术出版社,2008.
- [17] 刘平,秦晶,刘建昌,等.桉树人工林物种多样性变化特征[J].生态学报,2011,31(8):2227-2235.
- [18] Calvino-Cancela M, Rubido-Bará M, van Etten E J B. Do eucalypt plantations provide habitat for native forest biodiversity[J]. Forest Ecology and Management, 2012,270:153-162.
- [19] Carneiro M, Fabião A, Martins M C, et al. Effects of harrowing and fertilisation on understory vegetation and timber production of a *Eucalyptus globulus* Labill. plantation in Central Portugal[J]. Forest Ecology and Management, 2008,255(3):591-597.
- [21] 牛西午.柠条生物学特性研究[J].内蒙古畜牧科学,1998,19(4):16-22.
- [22] Yang L, Wei W, Chen L, et al. Response of temporal variation of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China[J]. Catena, 2014,115:123-133.
- [23] 许明祥,刘国彬,赵允格.黄土丘陵区土地利用及环境因子对土壤质量指标变异性的影响[J].应用生态学报,2011,22(2):409-417.

(上接第121页)