

# 甘肃环县沙化区不同植被类型对土壤养分的影响

刘青梅<sup>1,2</sup>, 黄海霞<sup>1</sup>, 姚志勇<sup>2</sup>, 杜娟<sup>2</sup>, 韩俊芳<sup>3</sup>

(1. 甘肃农业大学林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 环县自然资源局, 甘肃 环县 745700;

3. 甘肃白水江国家级自然保护区管理局, 甘肃 陇南 746400)

**摘要:**为探讨不同植被恢复类型对土壤养分的影响,选择甘肃省环县沙化区为研究区域,以立地条件一致、栽植5 a的河北杨(*Populus hopeiensis*)(PHF)、柠条(*Caragana korshinskii*)(CKF)、爬地柏(*Sabina procumbens*)(SVF)林地研究对象,设置样地,分别采集0~20、20~40、40~60 cm土层土样,测定植被土层的养分指标,并分析变化规律和差异性。结果表明:(1)3种植被类型的土壤铵态氮、硝态氮、速效磷含量“表聚效应”显著,CKF、SVF林地有机碳、全氮含量在不同土层差异显著。(2)在0~20 cm土层,CKF和SVF的有机碳、全氮、硝态氮、铵态氮、速效钾含量均显著高于PHF;在20~40 cm土层,CKF林地有机碳、全氮含量显著高于PHF,3种植被类型间硝态氮和铵态氮含量均存在显著差异,表现为CKF林地>SVF林地>PHF林地,SVF林地速效钾含量显著高于其他2种类型。(3)3种植被类型的C/N、N/P均低于我国土壤的平均水平,土壤碳、氮水平较低,在0~40 cm土层,CKF的C/P和N/P显著高于PHF。(4)主成分分析得出3种植被恢复类型的土壤养分状况表现为SVF>CKF>PHF。爬地柏可作为该区植被恢复的优选树种。

**关键词:**沙化区;植被类型;土壤养分;主成分分析

**中图分类号:**S157 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)01-0111-08

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyycp.2022.01.015



在生态系统中,土壤和植被是协调发展的统一体,两者互为条件,相互制约,相互影响。土壤是植被赖以生存的物质基础,为植物生长发育提供养分元素,植被群落又影响土壤结构的形成和肥力状况。甘肃省环县北部生态环境脆弱,土壤风蚀、沙化严重,天然植被覆盖度低,植被恢复是改善环县沙化区生态环境的根本措施<sup>[1]</sup>,但植被的自然恢复困难,采用人工途径植被恢复是该区荒漠化防治的有效选择。通过研究不同人工恢复植被类型林地土壤养分状况,阐明植被类型与土

壤之间的关系,对促进林地更新、植被恢复与重建以及沙化区生态环境建设具有现实意义<sup>[2]</sup>。

土壤碳(C)、氮(N)、磷(P)是植被生长发育的核心元素,能促进土壤养分的转化循环;生态化学计量学是研究C、N、P等化学元素在生态过程中的平衡关系,促进对土壤养分元素的循环以及平衡机理的认识<sup>[3]</sup>。近年来有关不同植被类型对土壤养分的研究不断涌现,研究表明<sup>[4-6]</sup>,土壤有机碳与氮的空间分布具有相似性,植被恢复对土壤的改善作用主要集中在上中层,不同植被对土壤养分的积累、贮存和转化存在显著差异。目前,关于环县沙化区的研究主要涉及草地肥力<sup>[7]</sup>、资源利用<sup>[8]</sup>、风沙治理<sup>[9]</sup>等方面,而植被类型对土壤养分的影响少有报道。河北杨(*Populus hopeiensis*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、爬地柏(*Sabina procumbens*)都具有耐干旱、耐瘠薄、耐盐碱等特性,是西北地区主要的防风固沙树种,也是环县沙化区人工植被恢复的

**收稿日期:**2021-01-29; **修回日期:**2021-04-15

**基金项目:**甘肃省科技计划项目(18CX3FM037)

**作者简介:**刘青梅(1994-),女,甘肃庆阳人,在读硕士,助理工程师,主要研究方向为森林土壤。

E-mail:491830190@qq.com

黄海霞为通信作者。

E-mail:1057821914@qq.com

常用乡土树种。因此,本研究以甘肃环县古城堡区河北杨、柠条、爬地柏 3 种人工植被类型为研究对象,分析不同土层、不同植被类型间的土壤养分含量差异和化学计量特征变化规律,探明植被类型对土壤养分状况的影响,以期对环县沙化区人工植被恢复选择适宜的树种提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

试验地为甘肃省环县甜水镇甜水街村古城堡区,位于毛乌素沙地西南缘、鄂尔多斯高原和黄土高原的交汇处(E 106°48′48″,N 37°06′21″),为半干旱和干旱地区的过渡带,属中温带季风气候,年均降水量 341.1 mm,主要集在中 7—9 月。年均气温 6.8 ℃,极端最高温度 37 ℃,极端最低温度 -25 ℃,无霜期 135 d。区内受风沙侵袭严重,以西北风为主,年均风速 2.4

m/s,林下沙地草本植物均匀分布,盖度 15%,主要有猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、蒙古虫实(*Corispermum mongolicum*)、狼毒(*Stellera chamaejasme*)、无茎委陵菜(*Potentilla cristatum*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)等<sup>[10]</sup>。

### 1.2 试验方法

1.2.1 土样采集 供试土样于 2019 年 8 月采自甘肃省环县甜水镇古城堡区。选择河北杨、柠条、爬地柏 3 种类型的林地,分别布设 1 个 20 m×50 m 的样地(表 1),按对角线法在每个样地选 5 个样点,采集 0~20、20~40 和 40~60 cm 土层的土样,然后仔细捡除石子、植物残根和土壤动物等杂物,将同一类型的同层土样混匀,采用四分法取 2 份样品(每份含 3 个重复),一份风干后过 0.15 mm 筛用于测定土壤 pH 值、有机碳、全氮、全磷、速效钾、速效磷含量,另一份过 2 mm 筛,存放在 4 ℃冰箱用于测定土壤硝态氮和铵态氮含量。

表 1 样地概况

Table 1 Basic condition of plots

植被类型	经度	纬度	海拔/m	坡向	坡度/°	地貌部位	土壤类型	林龄/a	平均树高/m	林分密度/(株·hm <sup>-2</sup> )
河北杨 PHF	E 106°48′59″	N 37°06′26″	1584	西北坡	23	梁坡	沙壤土	5	2.17	4 444
柠条 CKF	E 106°49′01″	N 37°06′24″	1589	西北坡	18	梁坡	沙壤土	5	1.42	10 000
爬地柏 SVF	E 106°49′03″	N 37°06′22″	1585	西北坡	20	梁坡	沙壤土	5	1.09	10 000

1.2.2 土壤化学性质的测定方法 pH 采用土水比 1:2.5(质量比)提取,电位电极法测定;土壤有机碳采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;全氮采用半微量凯氏定氮法测定;硝态氮采用 CaSO<sub>4</sub> 浸提-还原蒸馏法测定;铵态氮采用 KCl 浸提-蒸馏法测定;全磷采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub> 消煮-钼锑抗比色法测定;速效磷采用 NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼锑抗比色法测定;全钾采用 NaOH 碱熔-火焰光度法测定、速效钾采用 NH<sub>4</sub>OAc 浸提-火焰光度法<sup>[11]</sup>。根据测得的有机碳、全氮、全磷含量计算化学计量比 C/N、C/P、N/P。

1.2.3 数据统计分析 试验数据采用 Microsoft Excel 2017 进行整理、统计,完成制表和绘图,运用 SPSS 17.0 统计分析软件进行单因素方差分析,多重比较采用 Duncan 法,检验水平为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被类型对土壤养分含量的影响

2.1.1 土壤 pH 值、有机碳 3 种植被类型的土壤

pH 值在 8.62~8.69(图 1-A),各土层之间的土壤 pH 值无显著差异;在同土层内不同植被间土壤 pH 值差异不显著。

3 种植被的土壤有机碳含量均随着土层深度增加而下降(图 1-B)。CKF 和 SVF 0~20 cm 土层的有机碳含量显著高于 20~40、40~60 cm 土层,分别高出 50.0%、84.1%和 74.7%、104.8%。3 种植被 0~60 cm 土层有机碳含量大小排序为:CKF>SVF>PHF。在 0~20 cm 土层,SVF、CKF 土壤有机碳含量均显著高于 PHF,分别高出 65.1%、58.5%;20~40 cm 土层,CKF 土壤有机碳含量显著较 PHF 高出 22.7%。

2.1.2 土壤全氮、硝态氮、铵态氮 3 种植被的土壤全氮含量变化与有机碳含量变化一致(图 2-A)。CKF 和 SVF 林地 0~20、20~40 cm 土层的土壤全氮含量较 40~60 cm 土层分别显著高出 81.6%、21.1%和 108.1%、20.0%。3 种植被在 0~60 cm 土层全氮含量表现为:CKF>SVF>PHF。0~20 cm 土层 SVF、

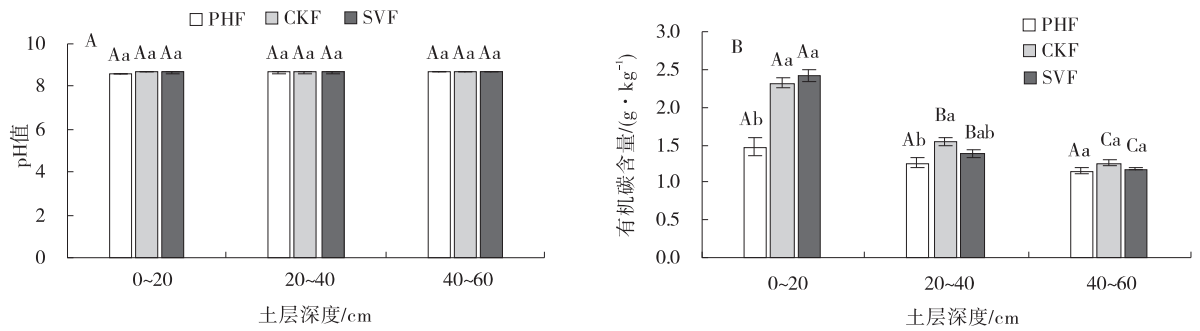


图 1 不同植被类型土壤的 pH 值、有机碳含量

Fig. 1 Changes of soil organic carbon content, pH value in different vegetation types

注:大写字母不同表示同一个植被类型不同土层之间指标差异显著( $P < 0.05$ );小写字母不同表示同一土层深度不同植被类型之间指标差异显著( $P < 0.05$ )。下同

CKF 土壤全氮含量较 PHF 分别显著高出 65.9%、56.8%;20~40 cm 土层,CKF 土壤的全氮含量较 PHF 显著高出 24.3%。

3 种植被类型土壤硝态氮含量均随土层加深呈递减趋势(图 2-B)。CKF 和 SVF 0~20 cm 土层硝态氮含量分别较 20~40、40~60 cm 显著高出 54.4%、

152.9%和 62.4%、155.7%。3 种植被在 0~60 cm 土层硝态氮含量表现为:CKF>SVF>PHF。在 0~20 cm 土层,CKF、SVF 硝态氮含量较 PHF 显著高出 29.5%、29.1%;在 20~40 cm 土层,CKF 比 PHF 的硝态氮含量显著高出 17.9%,SVF 硝态氮含量处于两者之间。

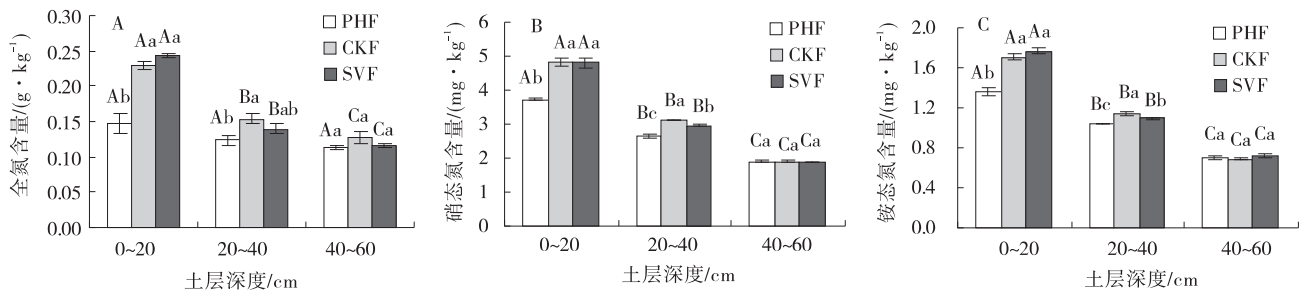


图 2 不同植被类型土壤的全氮、硝态氮、铵态氮含量

Fig. 2 Changes of soil total nitrogen, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen content in different vegetation types

3 种植被类型土壤铵态氮含量均随着土层深度增加而显著降低(图 2-C)。随着土层深度的增加,PHF、CKF 和 SVF 表层(0~20 cm 土层)的铵态氮含量较 20~40、40~60 cm 土层分别显著高出 30.8%、92.4%、49.7%、147.3%和 61.8%、143.7%;3 种植被 0~60 cm 土层铵态氮含量大小为:SVF>CKF>PHF。在 0~20 cm 层,SVF 铵态氮含量最高,较 CKF 显著高出 29.7%;CKF 20~40 cm 土层土壤铵态氮含量较 PHF、SVF 分别显著高出 9.6%、4.6%;40~60 cm 土层不同植被类型土壤铵态氮含量差异不显著。

2.1.3 土壤全磷、速效磷 在 0~60 cm 土壤剖面上,3 种植被类型的土壤全磷含量在每个土层的全磷含量均约为 0.39 g/kg,不同土层间无显著差异;不同植被类型间的土壤全磷含量在 0~20、20~40 和 40~60 cm 土层,均差异不显著(图 3-A)。

3 种植被类型 0~20 cm 土层的土壤速效磷含量最高(图 3-B),较 20~40 和 40~60 cm 土层分别显著高出 43.9%和 151.9%(PHF)、59.4%和 181.7%(CKF)、71.0%和 162.1%(SVF),“表聚”规律明显。3 种植被类型 0~60 cm 层的土壤速效磷含量大小为:SVF>CKF>PHF。0~20 cm 土层,SVF 速效磷含量较 PHF 显著高出 26.4%,在 20~40 和 40~60 cm 土层植被类型间的速效磷含量差异不显著。

2.1.4 土壤全钾、速效钾 3 种植被类型 0~60 cm 土层的全钾含量在 42.04~42.17 g/kg,在不同土层的全钾含量分布无显著差异;在 0~20、20~40 和 40~60 cm 土层,不同植被类型间的土壤全钾含量差异也不显著(图 4-A)。

CKF、SVF 土壤速效钾含量随土层加深显著下降(图 4-B),CKF 和 SVF 土壤 0~20 cm 土层的速效钾

含量较 20~40、40~60 cm 土层分别显著高出 31.4%、53.0% 和 15.4%、36.6%。3 种植被土壤 0~60 cm 的速效钾含量大小为:SVF>CKF>PHF。在 0~20 cm 土层,SVF 和 CKF 的土壤速效钾含量均极显著高于 PHF,分别高出 46.4% 和 38.8%;在 20~40 cm 土层,SVF 的速效钾较 CKF 和 PHF 分别显著高出 20.1% 和 28.2%。

## 2.2 土壤 C、N、P 化学计量学特征

3 种植被类型土壤的 C/N 在 9.88~10.23,相对

稳定,在不同土层、不同植被类型之间均差异不显著;C/P 在 3.01~6.01、N/P 变化在 0.29~0.60,均随土层加深而减小,其中 CKF 和 SVF 土壤的 C/P 和 N/P 在不同土层间差异显著;PHF 土壤 0~20 cm 土层的 C/P 显著高于 20~40 cm,但 N/P 在不同土层间无显著差异。在 0~20 cm 土层,CKF 和 SVF 的土壤 C/P 和 N/P 均显著高于 PHF;在土壤 20~40 cm 土层,CKF 土壤 C/P 和 N/P 显著高于 PHF;在 40~60 cm 土层 3 种植被的 C/P 和 N/P 差异不显著(表 2)。

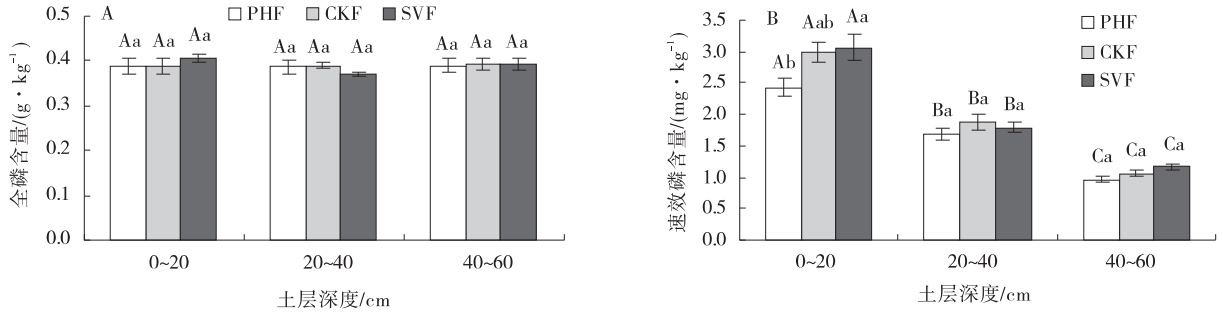


图 3 不同植被类型土壤全磷、速效磷含量的变化

Fig. 3 Changes of total phosphorus, available phosphorus content in soil of different vegetation types

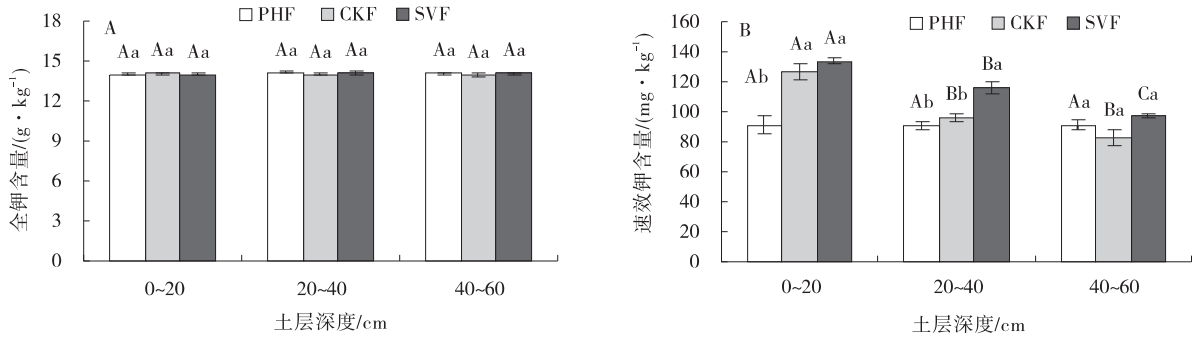


图 4 不同植被类型土壤全钾、速效钾含量

Fig. 4 Changes of total potassium, available potassium content in soil of different vegetation types

表 2 3 种植被类型的土壤化学计量特征

Table 2 The soil stoichiometric characteristics in three vegetation types

植被类型	土层深度/cm	化学计量指标		
		C:N	C:P	N:P
PHF	0~20	10.02±0.36 <sup>Aa</sup>	3.79±0.44 <sup>Ab</sup>	0.38±0.05 <sup>Ab</sup>
	20~40	10.23±0.47 <sup>Aa</sup>	3.26±0.27 <sup>ABb</sup>	0.32±0.04 <sup>Ab</sup>
	40~60	10.15±0.28 <sup>Aa</sup>	2.95±0.08 <sup>Ba</sup>	0.29±0.02 <sup>Aa</sup>
CKF	0~20	10.08±0.27 <sup>Aa</sup>	6.01±0.19 <sup>Aa</sup>	0.60±0.02 <sup>Aa</sup>
	20~40	10.10±0.18 <sup>Aa</sup>	3.97±0.17 <sup>Ba</sup>	0.39±0.02 <sup>Ba</sup>
	40~60	10.23±0.47 <sup>Aa</sup>	3.21±0.33 <sup>Ca</sup>	0.32±0.04 <sup>Ca</sup>
SVF	0~20	9.93±0.25 <sup>Aa</sup>	5.94±0.23 <sup>Aa</sup>	0.60±0.02 <sup>Aa</sup>
	20~40	9.88±0.23 <sup>Aa</sup>	3.74±0.29 <sup>Bab</sup>	0.38±0.02 <sup>Bab</sup>
	40~60	10.13±0.44 <sup>Aa</sup>	3.01±0.27 <sup>Ca</sup>	0.30±0.02 <sup>Ca</sup>

注: 同列不同大写字母表示同一植被类型不同土层之间指标差异显著( $P<0.05$ ); 同列不同小写字母表示同一土层深度不同植被类型之间指标差异显著( $P<0.05$ )

## 2.3 不同植被类型土壤养分主成分分析

2.3.1 土壤养分主成分分析的方差贡献率 主成分分析中,方差大小表示测定指标在主成分方向上的分散程度,方差越大,说明主成分在样本数据分析中的作用越大<sup>[12]</sup>。对 3 种植被土壤养分指标进行主成分分析,根据主成分个数选取原则(特征值>1),得到 3 个主成分(表 3),方差累计贡献率为 88.68%,能够反映出土壤养分 88.68%的变异信息。

表 3 土壤养分主成分分析的方差贡献率

Table 3 Variance contribution of principal component analysis of soil nutrients

主成分	特征值( $\lambda$ )	方差贡献率/%	累计贡献率/%
1	5.458	60.65	60.65
2	1.417	15.74	76.39
3	1.106	12.29	88.68

2.3.2 不同植被类型土壤养分的主成分得分 由表 4 的主成分载荷矩阵可以得出,主成分 1 与有机碳、全氮、硝态氮、铵态氮、速效磷、速效钾含量的相关系数均大于 0.8,能很好地代表这些指标的信息;主成分 2 与

表 4 不同植被类型土壤养分的主成分载荷及因子得分系数矩阵

Table 4 Principal component load and score coefficient matrix of soil nutrients for different vegetation types

土壤养分指标	主成分载荷矩阵			因子得分系数矩阵		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
有机碳	0.959	-0.043	0.182	0.173	0.01	0.114
全氮	0.958	-0.018	0.158	0.175	0.03	0.092
硝态氮	0.976	-0.075	-0.020	0.184	0.002	-0.059
铵态氮	0.976	-0.085	-0.030	0.183	-0.005	-0.067
全磷	0.117	-0.026	0.930	-0.024	-0.079	0.802
速效磷	0.947	-0.186	-0.021	0.172	-0.081	-0.05
全钾	0.036	0.888	-0.233	0.069	0.672	-0.267
速效钾	0.849	0.113	-0.015	0.170	0.132	-0.062
pH 值	-0.174	0.741	0.444	-0.012	0.503	0.341

表 5 不同植被类型土壤养分综合评价结果

Table 5 Results of soil nutrient comprehensive evaluation for different vegetation types

植被类型	主成分及综合得分			
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F$
PHF	17.505	25.674	-6.244	15.664
CKF	19.617	27.100	-6.909	17.269
SVF	21.939	28.937	-7.776	19.063

全钾含量的相关性强;主成分 3 与全磷含量的相关性强。根据各指标在前 3 个主成分的得分系数(表 5),得出土壤养分的前 3 个主成分的函数表达式为:

$$F_1 = 0.173X_1 + 0.175X_2 + 0.184X_3 + 0.183X_4 - 0.024X_5 + 0.172X_6 + 0.069X_7 + 0.17X_8 - 0.012X_9$$

$$F_2 = 0.01X_1 + 0.03X_2 + 0.002X_3 - 0.005X_4 - 0.079X_5 - 0.081X_6 + 0.672X_7 + 0.132X_8 + 0.503X_9$$

$$F_3 = 0.114X_1 + 0.092X_2 - 0.059X_3 - 0.067X_4 + 0.802X_5 - 0.05X_6 - 0.267X_7 - 0.062X_8 + 0.341X_9$$

$$F = 0.683 \times F_1 + 0.178 \times F_2 + 0.139 \times F_3$$

式中: $X$  表示土壤养分测定指标, $X_1 \sim X_9$  分别表示土壤有机碳、全氮、硝态氮、铵态氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾和 pH 值, $F_1 \sim F_3$  表示土壤养分主成分的得分值,以表 3 中土壤养分 3 个主成分的方差贡献率作为权重进行加权求和,建立植被类型土壤养分综合评价数学模型,即可得到综合得分  $F$ (表 5)。

结果表明,SVF 林地土壤养分的综合得分最高,其次为 CKF 林地,PHF 林地得分最低,说明以爬地柏作为植被恢复树种最有利于土壤养分状况的改善。

## 3 讨论

土壤 pH 值与土壤养分积累和微生物活动息息相关,过酸或过碱都会影响土壤的结构改善、水气状况协调和土壤养分积累并阻碍植物生长发育<sup>[13]</sup>。在本研究中,随土层深度增加,不同土层的 pH 值变异性很小,并在不同植被间也表现稳定,根据土壤 pH 值的分级标准<sup>[6]</sup>,研究区域壤属于强碱性(pH 值>8.5),原因一方面是由于试验区位于毛乌素沙地边缘,土壤本

身盐碱化程度高引起<sup>[14]</sup>,另一方面土壤 pH 值受气候条件、水热条件以及成土母质等的综合影响,是相对稳定的土壤指标,因而不同土层、不同植被间差异不显著,这在杨红等<sup>[15]</sup>的研究中也得到印证。

土壤有机碳主要来自土壤动植物残体以及枯落物的分解,对土壤的理化性质和生物特性都具有深刻影响,是衡量土壤肥力的重要参数<sup>[16-17]</sup>。研究表明,3种植被土壤有机碳随土层深度的增加而下降,有明显的“表聚效应”,这与闫丽娟等<sup>[2]</sup>和安静等<sup>[18]</sup>的研究结果相一致,可能是因为植物根系主要分布表层土壤,参与有机质分解活动的土壤动物、微生物也主要集中在表层,地表枯落物的分解物随水或其他介质向下淋溶首先进入表层土壤,这些因素共同作用使得表层含量相对较高<sup>[19]</sup>。本研究 CKF 林地有机碳含量最高,显著高于 PHF 林地,究其原因可能是柠条是豆科灌木,其根部的根瘤菌通过固定空气中的游离态氮作用促进了土壤有机碳增加<sup>[20]</sup>,也可能是不同植被类型的土壤有机质的输入和输出方式不一样,致使不同植被林地对有机碳的积累存在差异<sup>[21]</sup>。

全氮、全磷、全钾是土壤中各种形态氮、磷、钾的总和,速效氮、速效磷、速效钾是植被直接吸收利用的主要形式<sup>[22]</sup>。研究发现3种植被的土壤全氮以及速效养分含量均呈现上层高于下层的规律,存在这种现象的原因可能是表层植被根系密集,土壤透气性强,水热条件良好,有利于土壤微生物活动,促进了土壤营养元素积累<sup>[3]</sup>,其中 CKF 林地全氮和硝态氮含量最高,SVF 铵态氮较高,这是因为柠条根系的根瘤菌有很强固氮作用,不仅丰富了土壤氮素还有助于改良土壤,另外当铵态氮与硝态氮同时存在时,铵态氮会抑制微生物对硝态氮的吸收<sup>[23-24]</sup>。有研究表明<sup>[17,25]</sup>,土壤有机碳的增加会促进氮素的积累,植被恢复可显著优化土壤有机碳与全氮之间的线性相关性,本研究也发现,土壤全氮含量与有机碳含量呈极显著正相关(CKF、SVF、PHF 中两者之间相关系数分别为 0.994、0.997、0.983)。土壤全磷、全钾主要源于岩石风化,而风化是个漫长过程(植被恢复仅 5 年),另外研究区土壤母质和发育过程基本相同,从而导致全磷和全钾在不同土层和植被类型间差异不显著<sup>[26]</sup>。在 0~60 cm 土层,土壤速效磷、速效钾含量表现为 SVF>CKF>PHF,一可能是因为爬地柏的根系发达,萌蘖力强,对盐碱、干旱、风蚀生境适应能力强,从而促进了土壤速效养分

的积累;二可能是土壤速效磷含量与碱性磷酸酶活性强弱相关联,有可能 SVF 林地土壤的壤碱性磷酸酶活性较高,促进了有机磷的水解,全磷的矿化作用提升,因而速效磷增加,另外 SVF 对土壤速效钾同质作用较强,有积累优势<sup>[27-28]</sup>;三可能是不同植被类型的生理特性存在差异,对土壤养分的累积、消耗机制不同,也会引起不同,有待今后深入研究。

一般而言,C/N 反映土壤有机质分解能力强弱,比值低,分解能力强;C/P 用于衡量土壤有机质矿化释放磷或吸收固持磷的能力,C/P 较高时不利于养分有效磷的释放;N/P 是判断土壤 N 和 P 不足的指标,<14 时表示植被生长受 N 限制<sup>[29]</sup>。本研究的 3 种植被类型土壤的 C/N 在 9.87~10.23、C/P 在 2.95~6.00、N/P 在 0.29~0.60,均低于全国土壤 C/N、C/P、N/P 平均水平(12.01、25.77、2.15)<sup>[2]</sup>,依据国家第二次养分普查标准<sup>[30]</sup>,土壤磷元素相对碳、氮元素含量偏高,反映出该区土壤碳、氮含量缺乏,主要原因是该区长期受风沙危害严重,植被退化严重、腐殖质含量低,导致林地养分含量低<sup>[31]</sup>,凸显了植被恢复的重要性。研究区土壤 C/N 在不同土层、不同植被类型间差异不显著,土壤 C/P 和 N/P 随土层加深减小,0~40 cm 层 CKF 的 C/P 和 N/P 显著高于 PHF,这与朱秋莲等<sup>[32]</sup>的研究结果相似,这种差异可能由两方面原因造成:一是土壤碳与氮显著相关,受环境影响变化趋势基本同步<sup>[33]</sup>,二是不同植被类型养分元素含量存在差异,进而影响 C/P 和 N/P。

不同的土壤养分指标之间可能存在相关性,不同植被类型的土壤养分指标的变化趋势不尽相同,这不利于评价植被类型土壤养分状况的好坏。而主成分分析法可将原来多个相互关联的变量转化为少数几个不相关且包含不重复信息的综合指标,最大限度地保留了原始数据的信息<sup>[34]</sup>,因此被许多学者用于土壤质量评价<sup>[35]</sup>或土壤养分状况评价<sup>[12]</sup>。本研究通过主成分分析法得出爬地柏林地土壤养分的综合得分最高,其次为柠条林地,河北杨林地最低,说明同样的立地条件下,恢复相同年限时,爬地柏林地的土壤养分改善作用最明显,可作为该区植被恢复的优选树种。

## 4 结论

1)3种植被类型的土壤养分总体随土层深度增加呈下降趋势,植被类型对土壤养分的影响主要表现在

0~40 cm 土层。在 0~20 cm 土层柠条和爬地柏更利于土壤碳氮的累积,而爬地柏林地速效磷水平最高。在 20~40 cm 土层,柠条林地的铵态氮和硝态氮含量最高,最有利于土壤氮的矿化作用,而爬地柏林地土壤钾素供应能力最强。

2) 植被类型对 0~40 cm 土层的 C/P 和 N/P 影响显著,柠条和爬地柏林地的碳氮供应状况明显优于河北杨林地。

3) 爬地柏林地的土壤养分状况最好,可作为该区植被恢复的最适宜树种。

#### 参考文献:

[1] 戴全厚,刘国彬,姜峻,等. 黄土丘陵区不同植被恢复模式对土壤酶活性的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(9):429-434.

[2] 闫丽娟,王海燕,李广,等. 黄土丘陵区 4 种典型植被对土壤养分及酶活性的影响[J]. 水土保持学报,2019,33(5):190-196.

[3] 薛飞,龙翠玲,廖全兰,等. 喀斯特森林凋落物对土壤养分及土壤酶的影响[J]. 森林与环境学报,2020,40(5):449-458.

[4] 任启文,毕君,李联地,等. 冀北山地 3 种森林植被恢复类型对土壤质量的影响[J]. 生态环境学报,2018,27(10):1818-1824.

[5] 姜红梅,李明治,王亲,等. 祁连山东段不同植被下土壤养分状况研究[J]. 水土保持研究,2011,18(5):166-170.

[6] 肖灵香,方晰,项文化,等. 湘中丘陵区 4 种森林类型土壤理化性质[J]. 中南林业科技大学学报,2015,35(5):90-97.

[7] 姚志龙. 环县北部草场土壤基本肥力性状调查及改良利用研究[J]. 现代农业科技,2013,(21):224-225.

[8] 张榕,杨浩,查祥君,等. 甘肃草业现状监测评价[J]. 草原与草坪,2017,37(1):1-7.

[9] 王鑫. 陇东北部土壤沙化现状及防治对策[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(1):179-182.

[10] 姚志勇. 黄土高原农牧交错区 7 种落叶树种截干造林技术研究[J]. 甘肃林业科技,2016,41(4):14-16.

[11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[12] 高海宁,李彩霞,孙小妹,等. 黑河上游冰沟流域土壤养分与微生物空间异质性研究[J]. 草业学报,2018,27(6):23-33.

[13] 张丽芳,胡海林. 土壤酸碱性对植物生长影响的研究进

展[J]. 贵州农业科学,2020,48(8):40-43.

[14] 李洁,滑磊,任启文,等. 冀西北 3 种植被恢复类型土壤理化性质差异及肥力评价[J]. 生态环境学报,2020,29(8):1540-1546.

[15] 杨红,徐唱唱,赛曼,等. 不同土地利用方式对土壤含水量、pH 值及电导率的影响[J]. 浙江农业学报,2016,28(11):1922-1927.

[16] Pan K W, Xu Z H, Blumfield T, *et al.* In situ mineral  $^{15}\text{N}$  dynamics and fate of added  $^{15}\text{NH}_4^+$  in hoop pine plantation and adjacent native forest in subtropical Australia [J]. Journal of Soil and Sediments, 2008, 8(6):398-405.

[17] 张维理, Kolbe H, 张认连. 土壤有机碳作用及转化机制研究进展[J]. 中国农业科学,2020,53(2):317-331.

[18] 安静,邓波,韩建国,等. 土壤有机碳稳定性研究进展[J]. 草原与草坪,2009(2):82-87.

[19] 杨亚辉,赵文慧,木热提江·阿不拉,等. 不同植被对土壤理化性质影响——以王东沟小流域为例[J]. 水土保持通报,2016,36(1):249-252.

[20] 刘兴诏,周国逸,张德强,等. 南亚热带森林不同演替阶段植物与土壤中 N、P 的化学计量特征[J]. 植物生态学报,2010,34(1):64-71.

[21] 崔静,陈云明,黄佳健,等. 黄土丘陵半干旱区人工柠条林土壤固碳特征及其影响因素[J]. 中国生态农业学报,2012,20(9):1197-1203.

[22] 丁越岩,杨劼,宋炳煜,等. 不同植被类型对毛乌素沙地土壤有机碳的影响[J]. 草业学报,2012,(2):18-25.

[23] 刘凯,王磊,宋乃平,等. 毛乌素沙地南缘不同林龄人工柠条林土壤渗透性研究[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(5):89-94.

[24] 李荣,何兴东,张宁,等. 沙丘固定过程中土壤铵态氮和硝态氮的时空变化[J]. 土壤学报,2010,41(2):295-302.

[25] Sainju, Singh B P, Yaffa S. Soil organic matter and tomato yield following tillage, cover cropping, and nitrogen fertilization [J]. Agronomy Journal, 2002, 94(3):594-602.

[26] 魏强,凌雷,柴春山,等. 甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质[J]. 生态学报,2012,32(15):4700-4713.

[27] 林帅,闫伟,贾学文,等. 毛乌素沙地不同林型下土壤肥力综合评价[J]. 北方园艺,2019(15):91-98.

[28] 拓飞,董治宝,南维鸽,等. 沙地柏人工林和天然林风沙土特性研究[J]. 水土保持研究,2021,28(2):80-87.

[29] 程滨,赵永军,张文广,等. 生态化学计量学研究进展

- [J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1628—1637.
- [30] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [31] 刘帅楠, 李广, 吴江琪, 等. 黄土丘陵区不同土地类型下土壤养分特征—基于生态化学计量学[J]. 草业学报, 2021, 30(3): 200—207.
- [32] 朱秋莲, 邢肖毅, 张宏, 等. 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4674—4682.
- [33] Cleveland C C, Liptzin D C. C:P stoichiometry in soil: is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass[J]. Biogeochemistry, 2007, 85(3): 235—252.
- [34] 陈欢, 曹承富, 张存岭, 等. 基于主成分—聚类分析评价长期施肥对砂姜黑土肥力的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 609—617.
- [35] 刘江, 吕涛, 张立欣, 等. 基于主成分分析的不同种植年限甘草地土壤质量评价[J]. 草业学报, 2020, 29(6): 162—171.

## Effects of different vegetation types on soil nutrient in desertification area of Huan county, Gansu province

LIU Qing-mei<sup>1,2</sup>, HUANG Hai-xia<sup>1</sup>, YAO Zhi-yong<sup>2</sup>, DU Juan<sup>2</sup>, HAN Jun-fang<sup>3</sup>

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Huanxian Natural Resources Bureau, Huanxian 745700, China; 3. Administration of Baishuijiang National Nature Reserve, Longnan 746400, China)

**Abstract:** To explore the effect of vegetation types on soil nutrients, the desertification area of Huan county, Gansu province was chosen as the research area, *Populus hopeiensis* forest (PHF), *Caragana korshinskii* forest (CKF) and *Sabina procumbens* forest (SVF) planted at the same time under similar site conditions were taken as the research objects. Soil samples in 0~20 cm, 20~40 cm and 40~60 cm layers were collected to measure and analyze the change and difference in nutrient index among vegetation types and soil layers. Results showed that: (1) Nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and available potassium in the three vegetation types showed obvious surface accumulation effects. (2) The effect of vegetation types on soil nutrient differed with the change of soil depth. In 0~20 cm layer, the content of organic carbon, total nitrogen, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and available potassium in CKF and SVF were significantly higher than those in PHF. In 20~40 cm layer, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen were markedly different among three vegetation types, taking in the order of CKF > SVF > PHF. The content of organic carbon content in CKF was significantly higher than that in PHF, and the available potassium in SVF was obviously higher than the other two types. (3) C/N and N/P in three vegetation types were lower than the national average, indicating the level of C and N was low, and C/N and N/P in CKF were significantly higher than those in PHF in the layer of 0~40 cm. (4) Principal component analysis showed that the soil nutrient of the three vegetation types was as follows: SVF > CKF > PHF. Therefore the results suggest, *S. abina procumbens* can be used as the preferred tree species for vegetation restoration in this area.

**Key words:** desertification area; vegetation type; soil nutrient; principal component analysis