文章编号:1000-7601(2015)02-0253-08 doi:10.16302/j.cnki.1000-7601.2015.02.041

黄土高原沟壑区人工沙棘林生长年限对土壤微生物组成的影响

王金成,井明博,周天林,王 鑫

(陇东学院 生命科学与技术学院 甘肃省高校陇东生物资源保护与利用省级重点实验室, 甘肃 庆阳 745000)

摘 要: 为了认识土壤微生物在不同生长年限沙棘林中的地位和作用,利用"平板培养法"和常规方法,研究了不同生长年限人工沙棘林土壤微生物三大类群组成和土壤养分的变化情况,并以系统聚类及主成分分析(PCA)等方法进行数据分析。土壤微生物总数量及三大类群数量以 7 a 林最高(493.87×10^5 cfu·g^{-1}干土),10 a 林(358.77×10^5 cfu·g^{-1}干土)和 15 a 林(321.69×10^5 cfu·g^{-1}干土)最低且相互之间无显著性变化($P<0.05$);土壤微生物三大类群中,土壤放线菌数量对 Shannon – Wiener 指数的大小变化起着较大作用;依据可培养微生物组成,4 组样地可划分为 3 个类群,生长年限对土壤微生物组成的作用明显,且人工沙棘林生长年限超过 10 a,其土壤微生物数量已接近于撂荒地。土壤微生物组成与人工沙棘林生长年限关系密切且具有其独特的规律及变化原因。

关键词: 黄土高原;沟壑区;土壤微生物;人工沙棘林;生长年限

中图分类号: Q938.1+3 **文献标志码:** A

Effects of different aged artificial seabuckthorn forests on soil microbial-composition in the gully region loess plateau, China

WANG Jin-cheng, JING Ming-bo, ZHOU Tian-lin, WANG Xin

(*University Provincial Key Laboratory for Protection and Utilization of Longdong Bio-resources in Gansu Province, College of Life Science and Technology, Longdong University, Qingyang, Gansu* 745000, *China*)

Abstract: To further understand the status and effects of different aged artificial sea buckthorn forests on soil microbial-composition, three major groups of soil microorganisms were investigated by plate cultivation. Meanwhile, the data in the study were analyzed using the hierarchical cluster as well as the principal component analysis (PCA). The results showed that, for the total quantity of the soil microorganisms among all three major microbial groups, 7a forest had the highest, whereas 10 a and 15 a contained less and there was no significant difference between them. Additionally, the group of actinomycetes, though smaller in quantity, played a more important role in influencing the variations of Shannon-Wiener index. Four kinds of different aged sea buckthorn forests were classified into three classes according to the composition of culturable soil microorganisms through the analyses of hierarchical cluster and the principal component analysis (PCA). Forest age played extremely significant roles in affecting the soil micro-composition. Furthermore, in this study, the results also indicated that the microbial-composition in sea buckthorn forests more than 10 years old was similar to that in the abandon land. In conclusion, it was suggested that there was a particular rule and causes for the variations in soil microorganism composition under different aged sea buckthorn forests, which offered reference and theoretical basis to the sustainable development of economic vegetation in the gully region of loess plateau.

Keywords: loess plateau; gully region; soil microorganism; artificial seabuckthorn forests; growing year

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分, 在有机质分解、养分循环和植物营养等过程中发挥

收稿日期:2014-03-14
基金项目:甘肃省庆阳市科技支撑方计划项目(KN201317)
作者简介:王金成(1985—),男,甘肃省两当县人,硕士,讲师,主要从事环境微生物学及分子微生物生态学领域的研究工作。
通信作者:王 鑫(1956—),男,甘肃省镇原县人,教授,主要从事土壤学领域的研究工作。E-mail:wensent20002002@163.com。

着关键作用;作为土壤中物质转化和养分循环的“驱动力”,其数量变化与土壤的通气性、水分状况、养分状况及有机质含量等土壤理化指标密切相关,其活性可以在一定程度上反映土壤肥力。土壤微生物群落调控营养物质循环,促进营养元素固定、加速营养物质的循环和产生植物激素,为植物提供可利用的矿物质库[1-4]。土壤微生物的多样性及活性,不仅能提高土壤生态系统的稳定性,也能增加对抗土壤微生态环境恶化的缓冲能力,对促进林区土壤生态、微环境气候改善等有积极作用[5]。

沙棘(*Hippophae rhamnoides*)为胡颓子科沙棘属落叶灌木或小乔木,主要分布于我国西北半干旱黄土丘陵区,并以其较高的生态、经济和社会价值成为黄土高原地区主要经济林树种之一。近年来对沙棘林的研究大多集中在水分条件及土壤肥力等方面,研究内容主要集中在土壤理化性质、水分效应和养分循环等方面[6-8]。但有关人工沙棘林土壤微生物群落组成与土壤养分之间相关性研究,以及生长年限对沙棘林土壤微生物群落组成的影响鲜有报道。此外,李玉新等[5]报道了陕西省永寿县渡马乡马莲滩流域出现了大面积沙棘衰败或死亡的现象,给当地的生态环境和区域经济发展造成了巨大损失。

为此,本研究首次以陇东黄土高原南部沟壑区不同生长年限沙棘林为研究对象,利用“平板培养法”研究了土壤微生物三大类群组成,用常规方法测定了土壤全 N、有机质、pH、含水量、速效 K 及速效 P 含量随生长年限的变化情况,并以系统聚类及主成分分析(PCA)等方法进行分析,从土壤微生物群落角度出发分析研究人工沙棘林土壤微生物群落组成与土壤养分、生长年限之间关系和影响,结果将有助于认识土壤微生物在沙棘林不同生长年限中的作用与地位,为黄土高原经济植被的可持续发展及水土流失的防治等提理论依据和数据参考。

1 实验材料与研究方法

1.1 自然状况

研究区位于陇东黄土高原南部残原沟壑区庆阳市庆城县蔡家庙乡齐沟门村范家沟,土壤类型为黄绵土,质地为沙土。地理坐标处于东经 107°38′ ~ 108°40′,北纬 35°69′ ~ 35°71′,海拔 1 380 ~ 1 400 m。该区属黄土高原沟壑地貌,是全国典型水土流失区之一,侵蚀面积 25 050.5 km^2,占全区总面积的 92.4%,侵蚀模数 6 383 ~ 9 000 $t \cdot hm^{-2}$。属暖温带半干旱季风气候区,光、热、水气候资源丰富,可一年两熟。由于季风的强烈影响,冬季寒冷干燥,春季多风且干旱少雨,夏季温暖多雨,水热同期,年降水量 400 ~ 600 mm,雨量分布不均,且主要集中在 7—9 月份,多年平均蒸发量 1 000 mm 以上,地面蒸发量为 350 ~ 560 mm,地下水位深,属雨养农业区,在黄绵土类区农业发展的主要限制因素是干旱,土壤瘠薄,水土流失严重[9]。2002 年为了落实国家退耕还林还草和生态环境重建政策,该地区在当地政府统一部署下,全面实施了人工杏树林的营造工作,对保持水土,提高土壤质量,改善生态环境有着重要意义。为此,我们通过实地调查,选择了不同生长年限的人工沙棘林作为研究样地。

1.2 研究方法

1.2.1 *样地选择与样品采集* 于 2010 年 6 月中旬在研究区内选择立地条件基本一致的具有代表性的样点(表 1)。先拨去土壤表层的浮土(约 5 cm)及石块、落叶等杂质后利用取土钻,按对角线五点取样法[10],在每一样地中采集 0 ~ 20 cm 深度的土壤,将 5 个点采集的土壤混匀成 1 个土样,每个样地取 3 个重复。用于土壤微生物数量分析的土样放在冷藏箱无菌自封袋内 4℃保存,48 h 内挑除草根,过 2 mm 灭菌土壤筛后测定微生物类群和数量。测定土壤养分所需的样品采用“四分法”取样,全部通过 1 mm 孔径筛,再从过 1 mm 孔径筛的土样中均匀取出1/4,通过 0.149 mm 孔径筛。

1.2.2 *土壤微生物类群测定* 微生物数量测定采用稀释平板法。细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌用高氏Ⅰ号培养基,真菌用孟加拉红培养基(成品,北京银桥生物有限公司)[11]。

1.2.3 *土壤养分含量测定* 分别采用“烘干法”测定土壤含水量,“凯氏定 N 法” 测定土壤全 N 含量,“重铬酸 K - 外加热法”测定土壤有机质含量,“pH 计法”测定土壤 pH 以及 “碳酸氢钠法”和“火焰光度法”分别测定土壤速效 P 和速效 K 含量[12]。

1.2.4 *数据处理* 利用 SPSS16.0 统计分析软件对原始数据进行处理分析,用 Origin6.1 软件作图。以 Shannon-Wiener 指数[13]作为土壤可培养微生物的综合性指标,公式为:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$

式中,H' 为 Shannon-Wiener 指数,P_i 为样品中第 i 种类群个体所占比例。

表 1　供试土壤样地基本情况

Table 1　Fundamental conditions of sites investigated

年限模式/a Age mode	立地条件 Site condition	主要植被分布 Plants distribution
7a	坡地黄绵土,坡度 > 20°,阴山,2003 年栽植。人造水平沟 Yellow spongy soils slope with grade more than 20 degrees located the cloudy mountains. The sea buckthorn forest was planted in the artificial level trench in 2003.	沙棘比例占 80% ~ 90%,杏树占 10% ~ 20%,树体长势强,树高 150 ~ 250 cm,林下草本植被茂密 In the forest studied, sea buckthorn trees accounted for 80% ~ 90%, apricot trees accounted for 10% ~ 20%, and their heights were up to 150 ~ 250 cm, where herbaceous plants were dense.
10a	坡地黄绵土,坡度 10° ~ 15°,半阴山,2001 年秋季栽植。人造水平沟 Yellow spongy soils slope with grade between 10° ~ 15° degrees located the half cloudy mountains. The sea buckthorn forest was planted in the artificial level trench in the fall of 2001.	为混交林,沙棘比例占 75% ~ 85%,杏树占 10% ~ 15%,刺槐占 5% ~ 10%,树体长势茂密,沙棘株高 100 ~ 300 cm,植被覆盖度 > 0%,林下草本植被主要有早熟禾、甘草、蒿属、籁草等 In the mixed forest studied, sea buckthorn trees accounted for 75% ~ 85%, apricot trees accounted for 10% ~ 15%, Robinia pseudoacacia trees accounted for 5% ~ 10%, and their heights were up to 100 ~ 300 cm, vegetation coverage was more than 0%, where herbaceous vegetation was mainly distributed by *Poa annua* L., *Glycyrrhiza uralensis* F., *Artemisia* L, *Leymus secalinus*., etc.
15a	坡地黄绵土,坡度 10° ~ 15°,半阴山,1995 年秋季栽植。人造水平沟宽 100 cm,间距 200 ~ 300 cm Yellow spongy soils slope with grade between 10° ~ 15° degrees located the half cloudy mountains. The sea buckthorn forest was planted in the fall of 1995 with the artificial level trench 100 cm wide, and its spacing between 200 to 300 cm.	沙棘比例占 85% ~ 90%,杏树占 10% ~ 15%,树体长势强,树高 300 ~ 400 cm,林下草本植被主要以蒿属为主,伴生针茅、芦苇等 In the forest studied, sea buckthorn trees accounted for 85% ~ 90%, apricot trees accounted for 10% ~ 15%, and their heights were up to 300 ~ 400 cm, where herbaceous vegetation were mainly distributed by *Artemisia* L, and associated with *Stipa capillata* L., *Phragmites Adans*., etc.
对照(撂荒地) Control check (Abandoned land)	坡地黄绵土,坡度 15° ~ 25° Yellow spongy soils slope with grade between 15° ~ 25° degrees.	各类杂草,但以蒿属为主,高度 10 ~ 20 cm In the forest region studied distributed with all kinds of weeds, with majority of *Artemisia* L, and their height were up to 10 ~ 20 cm.

2　结果与分析

2.1　不同生长年限沙棘林土壤肥力状况

2.1.1　不同生长年限沙棘林土壤微生物三大类群组成状况　表 2 为不同生长年限沙棘林土壤微生物三大类群及土壤养分状况。从土壤微生物总数量与细菌数量上来看,F 检验结果显示,不同生长年限沙棘林土壤微生物总数量及细菌数量差异极显著($F_{总数量} = 82.101 > F_{0.01}$;$F_{细菌} = 52.398 > F_{0.01}$,$P < 0.01$);进一步多重比较(Duncan,$\alpha = 0.05$)结果显示不同生长年限沙棘林土壤微生物总数量与细菌数量相互之间差异显著($P < 0.05$),表现为其中 7 a 林最高,对照撂荒地次之,15 a 林最低。不同生长年限沙棘林土壤真菌数量差异亦极为显著($F_{真菌} = 52.992 > F_{0.01}$,$P < 0.01$),除了 10 a 林与 15 a 林之间无显著差异外($P > 0.05$),其余年限之间均达显著性差异($P < 0.05$),且 7 a 林土壤真菌数量最高,对照组最低。土壤放线菌方面,不同生长年限沙棘林土壤放线菌数量差异极显著($F_{放线菌} = 7.915 > F_{0.01}$,$P < 0.01$),表现为 7 a 林和对照撂荒地之间无显著差异($P > 0.05$),10 a 林与 15 a 林之间亦无显著差异($P > 0.05$)且数量上明显低于前者。

表 2　不同生长年限沙棘林土壤微生物三大类群组成/($\times 10^5$ cfu·g^{-1} dry soil)

Table 2　Compositions of three major groups of microbe in different aged artificial seabuckthorn forests

生长年限 Planting years	细菌 Bacterium	真菌 Fungus	放线菌 Actinomycetes	总数 Total amount
7a	437.01 ± 26.28a*	49.02 ± 1.21a	24.86 ± 1.19a	493.87 ± 12.67a
10a	318.07 ± 9.82b	34.08 ± 1.45b	19.86 ± 0.91b	358.77 ± 4.71b
15a	285.17 ± 6.24c	30.49 ± 0.36b	18.11 ± 1.54b	321.69 ± 3.83c
CK	383.93 ± 15.09d	18.07 ± 2.92c	23.54 ± 0.57a	410.28 ± 8.58d

注:* 平均值 ± 标准误　　Notes: * Mean ± standard errors

图 1 为不同生长年限沙棘林土壤可培养微生物 Shannon-Wiener 指数。F 检验结果显示,其土壤微生物 Shannon-Wiener 指数差异极显著($F = 15.588 > F_{0.01}, P < 0.01$)。随着生长年限增加,沙棘林土壤可培养微生物 Shannon-Wiener 指数呈上升趋势,7 a 林(0.6301 ± 0.0051)Shannon-Wiener 指数明显最低($P < 0.05$);10 a 林(0.6579 ± 0.0031)与 15 a 林(0.6598 ± 0.0061)之间无显著性差异,且略高于 7 a 林($P < 0.05$);而对照组(0.6793 ± 0.0056)撂荒地 Shannon-Wiener 指数明显高于不同生长年限的的沙棘林。

2.1.2 不同生长年限沙棘林土壤养分的变化 表 3 为不同生长年限沙棘林土壤养分状况。不同生长年限沙棘林中土壤含水量、pH、有机质及全 N 含量间差异极显著($F_{含水量} = 9.533 > F_{0.01}$; $F_{pH} = 65.674 > F_{0.01}$, $F_{有机质} = 67.951 > F_{0.01}$; $F_{全N} = 65.674 > F_{0.01}, P < 0.01$),均为对照组最高,7 a 林次之,15 a 林最低;土壤速效 K 和速效 P 含量之间亦呈相似的变化趋势,且差异极显著($F_{速效K} = 167.159 > F_{0.01}$; $F_{速效P} = 38.231 > F_{0.01}, P < 0.01$),并以 10 a 林最高,15 a 林次之,7 a 林最低。

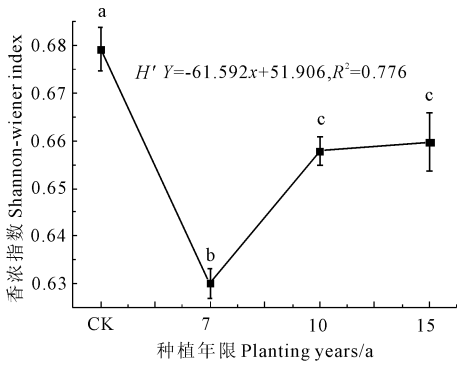

图 1 不同生长年限沙棘林土壤可培养微生物 Shannon-Wiener 指数

Fig.1 Shannon-wiener index of culturable microbes in different aged artificial seabuckthorn forests

表 3 不同生长年限沙棘林土壤养分状况

Table 3 Soil nutrient status in different aged artificial sea buckthorn forests

生长年限 Planting years	含水量 Water content /%	有机质 Organic matter /(g·kg⁻¹)	全 N Total N /(g·kg⁻¹)	pH	速效 K Available K /(mg·kg⁻¹)	速效 P Available P /(mg·kg⁻¹)
7a	6.51 ± 0.03a*	9.61 ± 0.04a	0.82 ± 0.01a	8.06 ± 0.01a	7.48 ± 0.06a	108.33 ± 4.46a
10a	6.39 ± 0.14a	8.07 ± 0.09b	0.73 ± 0.01b	8.06 ± 0.01a	8.61 ± 0.02b	193.33 ± 4.28b
15a	5.77 ± 0.39b	7.02 ± 0.09c	0.63 ± 0.02c	8.01 ± 0.02b	8.03 ± 0.03b	171.67 ± 8.81b
CK	7.32 ± 0.14c	8.58 ± 0.08d	0.67 ± 0.02d	8.19 ± 0.01c	7.98 ± 0.01c	156.67 ± 4.41c

注:* 平均值 ± 标准误。 Notes: * Mean ± standard errors.

2.1.3 不同生长年限沙棘林土壤因子相关性分析 不同生长年限人工沙棘林土壤各因子间相关分析结果表明(表 4),土壤细菌数量与放线菌呈显著正相关关系($P < 0.05$),与土壤含水量呈极显著正相关关系($P < 0.01$);土壤放线菌数量与土壤含水量、有机质及 pH 之间呈显著性差异($P < 0.05$),表明黄土高原弱碱性的土壤环境有助于土壤细菌与放线菌的生长,有助于土壤 N 素循环,而相对较低的土壤含水量也为土壤放线菌的生长繁殖提供了良好的外在环境[14]。此外,生长年限与土壤真菌数量、有机质、Shannon 指数、全 N、pH、速效 P 以及速效 K 相互之间均呈极显著正相关关系($P < 0.01$),说明生长年限与土壤真菌数量、有机质的转化、土壤 pH 以及 N、P 素循环之间关系密切且相互影响相互刺激,这与叶存旺等(2007)研究结论基本一致[15]。

土壤微生物数量组成是土壤、植被、气候及人为干扰等多方面因素对微生物综合作用的结果[16]。黄土高原人工沙棘林土壤微生物组成研究主要集中在树种配置模式等方面,且研究主要集中在不同配置模式对土壤微生物组成的影响、土壤养分的分布以及土壤固氮菌数量等方面[14,17],不同生长年限人工沙棘林土壤微生物组成研究未见报道。本研究中,就土壤微生物方面来看,不同生长年限沙棘林土壤微生物总数量及细菌数量变化规律表现为 7 a 林最高,对照撂荒地次之,15 a 林最低。土壤真菌方面,除了 10 a 林与 15 a 林之间无显著差异外,其余年限之间均有显著差异,且 7 a 林土壤真菌数量最高,对照组最低。土壤放线菌数量表现为 7 a 林和对照撂荒地之间无显著差异,10 a 林与 15 a 林之间亦无显著差异且在数量上明显低于前者。上述结果来看,7 a 林土壤微生物总体最高,撂荒地次之,10 a 林与 15 a 林最低。

表 4　不同生长年限人工沙棘林土壤因子相关性分析

Table 4　Pearson's correlation coefficients among soil properties in different aged artificial sea buckthorn forests

土壤因子 Soil factors	种植年限 Plangting years	细菌 Bacterium	真菌 Fungus	放线菌 Actinomycetes	Shannon – wiener 指数 Shannon – wiener index	含水量 Water content	有机质 Organic matter	全 N Total N	pH	速效 P Available P
细菌 Bacterium	0.357									
真菌 Fungus	0.954**	0.343								
放线菌 Actinomycetes	0.076	0.693*	0.023							
Shannon – wiener 指数 Shannon – wiener index	0.881**	0.363	0.927**	0.010						
含水量 Water content	0.166	0.710**	0.193	0.688*	0.054					
有机质 Organic matter	0.354	0.365	0.461	0.623*	0.482	0.734**				
全 N Total N	0.838**	0.105	0.866**	0.267	0.869**	0.453	0.750**			
pH	0.431	0.566	0.412	0.691*	0.390	0.802**	0.756**	0.687*		
速效 P Available P	0.953**	0.377	0.952**	0.127	0.925**	0.206	0.534	0.915**	0.449	
速效 K Available K	0.934**	0.155	0.890**	0.268	0.767**	0.416	0.530	0.885**	0.646*	0.906**

注:* 表示 $P<0.05$,(双尾检验); * * 表示 $P<0.01$, (双尾检验)。

Note: Correlation is signi ficant at the 0.05 level (two – tailed); correlation was significant at the 0.01 level (two-tailed).

究其原因可能是由于:首先,7 a 人工沙棘林处于生长旺盛期,有助于土壤养分的积累和微生物的生长繁殖,由表 4 可以看出,土壤细菌与放线菌数量呈正相关关系($P<0.05$)与土壤含水量呈极显著正相关关系($P<0.01$),说明不同生长年限人工沙棘林中,相对于 10 a 林和 15 a 林,处于生长旺盛期 7 a 林下草本植被更为茂密,这无疑为土壤微生物的生长提供了良好的外界环境。第二,研究表明,细菌和放线菌通常比较适合在中性至偏碱性的土壤环境生长[1],且放线菌在水分较低的生境中生长良好[16],本研究中土壤细菌和放线菌数量分别与含水量呈极显著($P<0.01$)和显著正相关关系($P<0.05$)(见表 4),因此含水量等因素可能是土壤细菌和放线菌数量在 7 a 林均表现为最高的原因之一;而土壤真菌数量为 7 a 林最高,对照组最低,原因可能是由于真菌在土壤 C 素和能源循环过程中起着巨大的作用,能分解纤维素、半纤维素及其他类似化合物,同时也能分解含 N 的蛋白质类化合物而释放出氨[16],在本研究中,土壤真菌数量与土壤全 N 含量呈极显著相关性($P<0.01$)(见表 4),而土壤全 N 随着人工沙棘林生长年限增加而降低;此外,黄土高原地区土壤的弱碱性可能是制约土壤真菌生长的又一原因之一。第三,沙棘为固 N 植物,可增加土壤养分含量,土壤养分的增加也有利于土壤微生物的生长繁殖[6];沙棘具有根瘤,固 N 能力较强,但老龄沙棘林根瘤死后矿质氮会释放到土壤中,使得土壤中的 C/N 相对较低,从而影响微生物利用 C 源的活性[5],因而处于 10 a 和 15 a 的人工沙棘林土壤微生物数量相对较低。第四,随着人工沙棘林林龄的增加,林下凋落物数量逐年积累,导致土壤透气性逐渐降低,因此随着林龄增加土壤微生物数量总体上呈降低趋势,这与李玉新等(2010)研究结果基本相似。第五,Billore 等(1995)研究认为,林龄对土壤微生物数量有显著影响。林龄相对较长时通气状况、光照、热量条件都较好、可接收到的地表降雨量高于林龄较短的林地,使得林下植被生长旺盛而且多样性高,根系生物量大,可通过根系来控制微生物的活动[18]。然而,Jia 等(2005)研究了不同林龄针叶人工林土壤微生物变化情况(林龄分别为 1 a、2 a、9 a、17 a、24 a、36 a),研究指出定植 17 a 的人工林微生物总数量最高,而后随着龄林增加逐渐下降,表明针叶人工林在生长中期林下微生物量最高[19]。安然等(2011)对伊犁河谷地区 3 种龄级(5 a、10 a、15 a)的速生杨欧美黑杨人工林的土壤微生物数量、组成和土壤养分变化进行了研究。结果发现,15 a 林地郁闭度较高,根系不活跃,土壤微生物数量在 3 种林龄林地中最少[20]。本研究中与上述结果基本保持一致,退耕还林 15 a 沙棘林,树体长势强,树高 300 ~ 400 cm,林地郁闭度较高,林内光照不足,温度较低,形成相对封闭的小气候,林下植被盖度降低,表现为草本植被主要以蒿属为主,伴生针茅、芦苇等,根系不活跃。而 7 年林树体长势强,树高 150 ~ 250 cm,林下草本植被茂密,因而是导致土壤微生物细菌数量呈下降趋势的原因之一。本研究结果中,对照组撂荒地土壤微生物数量总体上略低于 7 a 人工沙棘林,却高于 10 a 和 15 a 林,原因可能是由于样地中草本植物(蒿属)相对

丰富,且本研究中土壤采集深度为 0 ~ 20 cm 的表层土,因此微生物数量相对较高。综上所述,随着人工沙棘林林龄的增加,土壤的理化组成的不断发生,造成土壤微生物生活环境的改变,细菌、放线菌及真菌有着不同的生长环境条件要求,细菌和放线菌通常比较适合在中性至偏碱性的土壤环境生长,而真菌生长更适合偏酸性的土壤环境;除此之外,真菌对于纤维素类物质有着较强的分解利用能力,这些可能是不同林龄人工沙棘林土壤微生物三大类群表现出不同变化规律的原因之一。

土壤养分方面,土壤含水量在不同生长年限间表现为对照组最高,7 a 林次之,15 a 林最低,且 7 a 林与 10 a 林之间不存在显著性差异(表 3)。卢建利等(2008)研究了黄土丘陵半干旱区沙棘林生长对土壤含水量的影响,结果表明,随林龄增加土壤含水量逐渐减少;陈云明等(2002)研究了陕西安塞县纸坊沟流域内不同林龄沙棘林土壤含水量的变化情况,结果发现,随着林龄增加土壤含水量呈降低趋势。上述结果与本研究结果相似,究其原因可能是由于沙棘林龄不同,其利用水分的程度也不尽相同,沙棘林的耗水量会随着林龄增加而急剧升高[6,8],因此本研究中除对照组外,土壤含水量以 7 a 林最高,15 a 林最低。本研究中,土壤含水量与 pH 呈极显著正相关关系(表 4),说明土壤含水量的降低有利于土壤放线菌数量的增加[16],放线菌是参与土壤中有机质分解过程的主要成员之一,能分解多数真菌和细菌不能分解的化合物,还参与难分解的有机质的分解过程,而此分解过程会产生有机酸从而降低了土壤 pH。土壤有机质含量与全 N 呈极显著正相关关系(表 4),均随着沙棘林生长年限的增加而降低,原因可能是由于土壤微生物数量随着林龄增加而降低,那么林下凋落物的分解就会因此而减慢,因此土壤有机质含量势必降低;此外,在不同地区采得的不同植被和不同年限的土壤分析表明,无论是退耕还林还草还是荒坡植树种草,不同类型植被土壤有机质有明显的变化。彭文英(2006)分析了黄土高原地区实施退耕还林后土壤有机质变化情况,研究发现退耕还林 30 年的刺槐林地、柠条地、混交林地、撂荒地和沙棘地的土壤有机质变化情况中,沙棘地的有机质含量仅增加了 0.5 倍,远低于其他退耕还林树种[21]。李世荣等(2009)研究发现,土壤有机质和碳的变幅以从农耕地到退耕 32 a 天然林最大,变化过程为先降后上升的“V”型过程,这表明失去人为干预下土壤养分的一个缓慢变化过程[22]。因此,本研究中退耕还林最长 15 年的的沙棘林土壤有机质应该是一个缓慢增加的过程,随着退耕还林时间的延长,其有机质可能会增加。沙棘为固 N 植物,具有固定大气中氮气,丰富土壤氮素的能力[8],而本研究中土壤全 N 随着生长年限的增加而降低的原因可能是由于 15 a 沙棘林土壤微生物数量的降低,尤其是土壤真菌数量的减少导致了林下凋落物的积累,使得土壤透气性下降,故而在非豆科植物的沙棘林中好氧的弗兰克氏菌随着林龄的增加固氮能力逐渐下降受到限制[23];沙棘具根瘤固 N 的作用,能固定空气中的 N 元素,沙棘在生长发育过程中消耗大量的 N[24],因此老龄沙棘林对 N 素需要增加可能也是导致 15 a 林土壤圈 N 含量降低的又一原因;此外,土壤速效 K 和速效 P 随着人工沙棘林生长年限的增加而增加,沙棘为固 N 植物,能固定空气中的 N 元素,沙棘在生长过程中消耗其它营养元素的同时又通过根瘤固 N、枯枝落叶的分解、植株的淋溶作用以及根系自身的穿透、挤压、胶结、死根的腐烂等作用,改善土壤结构,使营养元素返回到土壤中,以维持土壤养分平衡[16],通过测定黄土高原沟壑区土壤速效 K 和速效 P 含量,结果说明土壤 K 素和 P 素的回归相对较高。

本研究中,依三大类群微生物数量对 Shannon – Wiener 指数建立的最优回归方程中,只有放线菌参与到该方程的构建中,表明细菌与真菌对 Shannon – Wiener 指数的变化影响不大。放线菌的偏回归系数达到极显著水平($P < 0.01$),放线菌数量的偏回归系数为 – 1.335,由于放线菌的偏回归系数为负值,因而 7 a 林最高的放线菌数量导致土壤可培养微生物 Shannon – Wiener 指数低于其它年限,说明放线菌数量的变化对多样性变化的影响大。

2.2 不同生长年限对土壤微生物组成的影响

2.2.1 基于微生物组成的不同生长年限的聚类分析 以土壤微生物组成为变量,平方欧氏距离作为样本之间的相异性指标,类间距运算方法采用组间平均联接法(between – groups linkage),进行系统聚类分析。图 2 为不同生长年限间系统聚类树状图。

如图 2 所示,根据不同生长年限间土壤微生物数值变化规律,进行系统聚类。结果显示:Case1 – Case12 若在 10.26 ~ 14.37 相异性水平间进行截取,可划分为 2 类:第 1 类为 10 a 林和 15 a 林组成,第 2 类由 7 a 林和对照组成,很明显第一类为林龄相对较大、土壤微生物数量相对较少的人工沙棘林;第 2 类为土壤微生物数量明显多于前者的两类样地。若在 7.56 ~ 10.26 相异性水平间进行截取,可划分为 3 类:第 1 类由 10 a 林和 15 a 林组成;第 2 类为 7 a

林;第 3 类为对照组撂荒地,此相异水平在上一级划分水平上进一步区分出了 7 a 林与对照组之间土壤微生物数量上的差异。若在 5.67 ~ 7.56 相异性水平间进行截取,可划分为 4 类,很显然分别为本研究中 4 组样地。

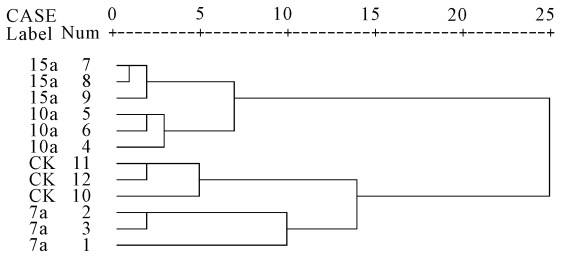

图 2　不同生长年限间系统聚类树状图

Fig.2　Dendrogram of hierarchical cluster on different aged artificial sea buckthorn forests

2.2.2　基于微生物组成的不同生长年限 PCA 分析

经 KMO 检验,KMO 取值为 0.821,适合做 PCA 分析。因此对 4 组样地进行 PCA 分析后结果显示:共提取出 2 个主成分,第一主成分的特征值为 2.019;第二主成分的特征值为 1.978,二者累计方差贡献率达到 99.943%,说明可以反映事物的原来面貌[25],其结果如图 3。

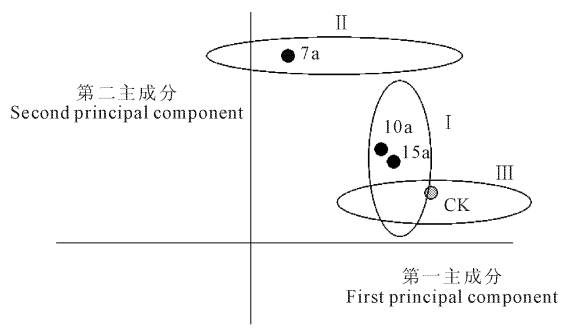

图 3　不同生长年限沙棘人工林 PCA 排序图

Fig.3　PCA ordering on different aged artificial sea buckthorn forests

PCA 分析表明(如图 3 所示),从第一主成分上来看,包括 10 a 林、15 a 林和对照组撂荒地,另一类是 7 a 林,体现了生长年限对土壤微生物群落的影响。第二主成分,4 组样地微生物群落被分成了 3 个不同的组,第一组为 7 a 林,体现出生长年限相对较短的人工沙棘林明显不同于年限较长的样地,就土壤微生物数量而言,7 a 林土壤微生物数量明显高于 10 a 林和 15 a 林(见表 2);第二组为 10 a 林和 15 a 林,这两组样地生长年限相对较长且土壤微生物数量相对较低(见表 2),也体现了生长年限对人工沙棘林土壤微生物群落的影响;第 3 组为对照组撂荒地,结果反映出撂荒地土壤微生物数量既不同于 7 a 林,也不同于 10 a 林和 15 a 林,体现出植物对土壤微生物群落的影响的同时也说明 4 组所选样地之间亦存在差异。

从图 3 可以看出,距离较近的 10 a 林和 15 a 林土壤微生物群落聚合为一个组,组成点集Ⅰ,即它们的相似性最大,说明生长年限对人工沙棘林作用显著,它们与点集Ⅲ(对照组撂荒地)之间距离则相对稍远,但与点集Ⅱ(7a 林)距离最远,说明它们之间的相似性极小。说明人工沙棘林生长至 10 a 以上,其土壤微生物群落组成已接近了撂荒地,因此,上述结果提醒我们,李立新等(2010)报道的陕西省永寿县渡马乡马莲滩流域出现了大面积沙棘衰败或死亡的现象,也有可能会发生在黄土高原沟壑区人工沙棘林,个中原因值得进一步研究。此外,上述结果中,PCA 排序将 4 组样地划分为 3 个类群,与系统聚类的结果也相互印证。

3　结　论

1) 黄土高原不同生长年限沙棘林,土壤微生物三大类群数量呈现出独特的变化规律。就土壤微生物总数量和细菌数量来看,7 a 林最高,对照撂荒地次之,15 a 林最低。土壤真菌方面,除了 10 a 林与 15 a 林之间无显著差异外,其余年限之间均有显著差异,且 7 a 林土壤真菌数量最高,对照组最低。土壤放线菌数量表现为 7a 林和对照撂荒地之间无显著差异,10 a 林与 15 a 林之间亦无显著差异且在数量上明显低于前者。沙棘林土壤可培养微生物随着生长年限增加,Shannon-Wiener 指数呈上升趋势,7 a 林 Shannon-Wiener 指数明显最低;10 a 林与 15 a 林之间无显著性差异,但略高于 7 a 林。从偏回归系数绝对值大小来看,7 a 林最高的放线菌数量导致土壤可培养微生物 Shannon-Wiener 指数低于其它年限,说明放线菌数量的变化对多样性变化的影响大。

2) 土壤含水量和 pH 在不同生长年限沙棘林中差异极显著,均表现为对照组最高,7 a 林次之,15 a 林最低;且 7 a 林与 10 a 林之间不存在显著性差异。不同生长年限沙棘林土壤有机质及全 N 含量之间呈相似的变化趋势;土壤速效 K 和速效 P 含量之间亦呈相似的变化趋势,土壤速效 K 及速效 P 含量以 10 a 林最高,15 a 林次之,7 a 林最低,且 10 a 林与 15 a 林之间无显著差异。不同生长年限人工沙棘林土壤各因子间相关分析结果表明,土壤细菌数量与放线菌呈显著正相关关系,并与土壤含水量呈极显著正相关关系;土壤放线菌数量与土壤含水量、有机质及 pH 之间呈显著性差异($P < 0.05$),表明黄土高原

弱碱性的土壤环境有助于土壤细菌与放线菌的生长;此外,生长年限与土壤真菌数量、有机质、Shannon-Wiener 指数、全 N、pH、速效 P 以及速效 K 相互之间均呈极显著正相关关系($P < 0.01$),说明生长年限与土壤真菌数量、有机质的转化、土壤 pH 以及 N、P 素循环之间关系密切且相互影响、相互刺激。

3) 系统聚类结果显示,10 a 林与 15 a 林之间相似性最高。PCA 分析表明,第一主成分,包括 10 a 林、15 a 林和对照组撂荒地,另一类是 7 a 林,体现了生长年限对土壤微生物群落的影响。第二主成分,4 组样地微生物群落被分成了 3 个不同的组,第一组为 7 a 林,体现出生长年限相对较短的人工沙棘林明显不同于年限较长的样地,就土壤微生物数量而言,7 a 林土壤微生物数量明显高于 10 a 林和 15 a 林;第二组为 10 a 林和 15 a 林,这两组样地生长年限相对较长,且土壤微生物数量相对较低,也体现了生长年限对人工沙棘林土壤微生物群落的影响;第 3 组为对照组撂荒地,结果反映出撂荒地土壤微生物数量既不同于 7 a 林,也不同于 10 a 林和 15 a 林,在体现出植物对土壤微生物群落的影响的同时也说明 4 组所选样地之间亦存在差异。

综上所述,随着人工沙棘林林龄的增加,细菌、放线菌及真菌有着不同的生长环境条件要求,因此表现出了独特的变化规律;此外,人工沙棘林生长至 10 a 以上,其土壤微生物群落组成已接近了撂荒地,因此,上述结果提醒我们,李立新等(2010)报道的陕西省永寿县渡马乡马莲滩流域出现了大面积沙棘衰败或死亡的现象,也有可能会发生在黄土高原沟壑区人工沙棘林,其原因值得我们进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 王金成,李海燕,梁 健.黄土高原子午岭不同林龄天然油松林土壤微生物组成研究[J].水土保持通报,2010,30(1):43-48.

[2] Steenwerth K L, Jackson L E, Calderon F J, et al. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002,34(11):1599-1611.

[3] Harris J A. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of Restoration[J]. European Journal of Soil Science, 2003,54(4):801-808.

[4] Insam H, Hitzl W. Data evaluation of community – level physiological profiles: A reply to letter of Howard[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1999,31:1198-1200.

[5] 李玉新,赵 忠,陈金泉,等.沙棘林土壤微生物多样性研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(8):67-75.

[6] 陈云明,刘国彬,侯喜录.黄土丘陵半干旱区人工沙棘林水土保持和土壤水分生态效益分析[J].应用生态学报,2002,13(11):1389-1393.

[7] 李 忠,巢世军,董敬群.黄土丘陵沙棘人工林地水分及养分规律研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(5):115-123.

[8] 卢建利,陈云明,张亚莉,等.黄土丘陵半干旱区沙棘生长对土壤水分及养分影响[J].水土保持研究,2008,15(3):137-145.

[9] 庆阳地区土壤普查办公室.甘肃庆阳土壤[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1989.

[10] 姚槐应,黄昌勇.土壤微生物生态学及其实验技术[M].北京:科学出版社,2006.

[11] 许光辉,郑洪元.土壤微生物分析方法手册[M].北京:农业出版社,1986.

[12] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2002.

[13] 孙儒泳.动物生态学原理(第 3 版)[M].北京:北京师范大学出版社,2001.

[14] 闵 红,和文祥,李晓明,等.黄土丘陵区植被恢复过程中土壤微生物数量演变特征[J].西北植物学报,2007,27(3):588-593.

[15] 叶存旺,翟巧绒,郭梓娟,等.沙棘 – 侧柏混交林土壤养分、微生物与酶活性的研究[J].西北林学院学报,2007,22(5):1-6.

[16] 马建军,李青丰,张树礼.沙棘与不同类型植被配置下土壤微生物、养分特征及相关性研究[J].干旱区资源与环境,2007,21(6):163-167.

[17] 李会科,赵政阳,张广军.种植不同牧草对渭北苹果园土壤肥力的影响[J].西北林学院学报,2004,19(2):31-34.

[18] Billore S K, Ohsawa M, Numata M, et al. Microbial biomass nitrogen pool in soils from a warm temperate grassland, and from deciduous and evergreen forests in China, central Japan[J]. Biology and Fertility of Soils,1995,19:124-128.

[19] Jia GM, Cao J, Wang CY, et al. Microbial biomass and nutrients in soil at the different stages of secondary forest succession in Ziwulin, Northwest China[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 217: 117-125.

[20] 安 然,龚吉蕊,尤 鑫,等.不同龄级速生杨人工林土壤微生物数量与养分动态变化[J].植物生态学报,2011,35(4):389-401.

[21] 彭文英,张科利,杨勤科.退耕还林对黄土高原地区土壤有机碳影响预测[J].地域研究与开发,2006,25(3):94-99.

[22] 李世荣,李永贵,段淑怀,等.青海大通退耕还林地土壤理化性状演变研究[J].水土保持研究,2009,16(2):132-137.

[23] 康丽华,李素翠,彭耀强,等.人工接种弗兰克氏菌的木麻黄幼林施肥效应研究[J].林业科学研究,2000,13(3):274-279.

[24] 张文婷,来航线,王延平,等.黄土高原不同植被坡地土壤微生物区系特征[J].生态学报,2008,28(9):4228-4234.

[25] 付必谦.生态学实验原理与方法[M].北京:科学出版社,2006.