

微生物菌肥对干旱矿区土壤的改良效果

毛 晓, 孙保平, 张建锋, 武 毅, 李文烨

(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

摘要: 为了提高干旱矿区土壤肥力, 丰富植被重建及生态修复理论, 通过盆栽试验, 种植紫花苜蓿、披碱草和冰草 3 种干旱矿区常见草本植物, 并结合施用不同浓度的微生物菌肥处理, 利用双因素方差分析揭示施肥水平和植物种类对土壤生物及理化性质的影响, 采用因子分析和聚类分析进行综合评价, 以筛选土壤改良效果的最佳组合。结果表明: (1) 试验组较对照组土壤中细菌、真菌、放线菌、微生物总数量、微生物量碳、氮、有机质和速效氮磷钾均显著增加 ($p < 0.05$), 而微生物量碳氮比和 pH 显著减小 ($p < 0.05$)。 (2) 施肥水平和植物种类对细菌、真菌、放线菌、微生物总量、微生物量氮和碳氮比有显著交互作用。 (3) 因子分析和聚类分析的结果基本一致, 土壤改良效果最佳的为种植紫花苜蓿并施入 20 g/kg 的微生物菌肥; 施用微生物菌肥能有效改良水肥贫瘠的干旱矿区土壤, 随着微生物菌肥施用量的增加, 土壤的改良效果逐步提升。

关键词: 土壤改良; 微生物菌肥; 干旱矿区; 因子分析; 聚类分析

中图分类号: S144; S156

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)02-0201-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.02.032

Effect of Microbial Fertilizer on Soil Amelioration in Arid Mining Area

MAO Xiao, SUN Baoping, ZHANG Jianfeng, WU Yi, LI Wenye

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: In order to improve the soil fertility in arid mining area and enrich the theory of vegetation reconstruction and ecological restoration, through the potted experiment, three common herbaceous species (*Medicago sativa*, *Elymus dahuricus* Turcz and *Agropyron cristatum*) in dry ore fields were planted. Combined with different concentrations of microbial fertilizer treatments, two-factor variance analysis was used to reveal the effects of fertilization levels and plant species on soil biological, physical and chemical properties, and cluster and factor analysis were used to screen the best combination of plant species and fertilization level in soil improvement. The results showed that: (1) Compared with the control group, the soil bacteria, fungi, actinomycetes, total microbial quantity, microbial biomass carbon, nitrogen, organic matter, available nitrogen, phosphorus and potassium in the test group increased significantly ($p < 0.05$), while the microbial biomass carbon-to-nitrogen ratio and pH decreased significantly ($p < 0.05$). (2) Plant types and fertilization levels had significant interactions on some indicators, including bacterial quantity, fungi quantity, actinomyces quantity, total microbial quantity, microbial biomass nitrogen, the microbial biomass carbon-to-nitrogen ratio. (3) The results of factor analysis and cluster analysis were basically consistent. The best treatment for soil improvement in the arid mining area was planting *M. sativa* and applying 20 g/kg microbial fertilizer. The application of microbial fertilizer could effectively improve soils that was poor in moisture fertility in dry mining area. With the increasing of microbial fertilizer application amount, the effect of soil improvement was better.

Keywords: soil amelioration; microbial fertilizer; arid mining area; factor analysis; cluster analysis

微生物菌肥是多个菌种有效复合的一种新型肥料, 是用于矿区植被恢复的一项新技术。其通过微生物的特定作用为植物提供营养并调节植物的生长, 施

用过程不会造成土壤的破坏^[1], 并具有改善土壤肥力、协助植物吸收养分和增强植物抗性的功效^[2]。国内外关于微生物菌肥的研究大多针对提高果蔬的产

量与质量^[3],而微生物菌肥用于土壤改良只在盐碱地^[4]有所涉猎。

据测算^[5],全国采矿破坏土地面积为 14~20 万 km²,并以 200 km²/a 的速度增加,矿区生态修复与植被重建已成为我国能源与资源持续发展政策优先关注的关键问题之一^[6]。矿区由于受采矿设备破坏及土壤长时间露天堆放造成的水分及营养元素流失的影响,与普通土壤相比其土壤肥力显著下降。白云鄂博矿区主要是人类工程活动造成的人造天坑和废石山,其土壤肥力贫瘠,理化性质差,土壤速效养分含量低,植被难以生长,故急需进行土壤改良,以促进植被重建。化肥的使用会造成耕地大面积酸化板结,并破坏土壤团粒结构,而微生物菌肥可提高土壤养分含量,改善土壤结构,但菌肥的施用效果受到土壤类型、pH 和水分等土壤环境的影响^[7]。目前我国微生物菌肥研究的重点为植物根际促生菌,其应用的研究^[8]多是关于农作物和花卉,而对于干旱矿区植被恢复过程中施用微生物菌肥以改良土壤的研究甚少,采用因子分析和聚类分析对土壤改良效果综合评判的研究也从未有研究者涉及。因子分析是把多个变量化为少数几个综合变量的多变量分析方法,一般以方差累积贡献率>80%确定公共因子,其可在信息损失最小的情况下对土壤改良效果进行综合评判^[9]。聚类分析在对分类的数目和结构不做任何假定的情况下,可将分类对象按照一定规则分为若干类群,同一类群中的对象具有较高的相似性,可真实反映不同条件下土壤改良的综合效果,从而为干旱矿区植被重建提供客观依据^[10-11]。

本研究通过盆栽试验,种植 3 种干旱矿区常见草本植物,并施用不同浓度的微生物菌肥,采用双因素方差分析揭示施肥水平和植物种类对土壤生物及理化性质的影响,利用因子分析和聚类分析对土壤改良效果进行综合评判,筛选土壤改良效果最佳组合,为干旱矿区的植被重建和生态修复提供理论基础与适用技术。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用微生物菌肥(山西绿色承诺永宝腐肥有限公司)以煤炭腐殖酸为原料,施用最佳温度为 25~37℃。含有机质≥40%,活菌总数≥5 亿个/g,腐殖酸≥20%,氮、磷、钾≥3%,含硼、锰、锌等微量元素≥15%,主要菌种为固氮菌、光合菌和根瘤菌等。试验土壤取自白云鄂博矿区,以栗钙土为主,主要为细砂粒,pH 8.81,全氮含量 0.35 g/kg,全磷含量 0.39 g/kg,有机质含量 10.11 g/kg,速效氮含量 57.23 mg/kg,速效磷含量 70.21 mg/kg,速效钾含量 18.15

mg/kg。栽植植物为 3 种干旱矿区的常见草本植物,分别为紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、披碱草(*Elymus dahuricus*)和冰草(*Agropyron cristatum*)。试验地点为北京林业大学八家苗圃示范基地,植物种植期间平均温度为 20.1℃。

1.2 试验设计与指标

每盆称取 10 kg 土,设置 0,5,10,20 g/kg 4 个微生物菌肥施用量梯度水平,依次用 T0、T1、T2、T3 表示。将微生物菌肥与表层 0—20 cm 的土壤均匀混合,将上述 3 种植物种子撒播至该层混合土上,并在表面覆盖一层薄土,同时设置不种植物对照组,用 CK 表示。2016 年 5 月种植植物,2016 年 11 月结束室外试验,取出植物后将花盆表层 0—20 cm 土壤均匀混合,采集各处理土壤样品进行指标测定,每个指标测定重复 3 次。

1.3 指标测定与数据分析

将采集的新鲜土样过 2 mm 筛,采用稀释平板法^[12]测定土壤中的细菌、放线菌和真菌的数量;氯仿熏蒸—K₂SO₄ 浸提后^[13],采用 TOC 仪测定微生物量碳,凯氏定氮仪测定微生物量氮;pH 采用 MP511 pH 计测定,水土比为 1:2.5^[14];土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法(稀释热法)测定;土壤速效氮和速效磷含量采用全自动化学分析仪^[15]测定;土壤速效钾含量采用乙酸铵浸提—火焰光度法^[16]测定。

采用 IBM SPSS Statistics 20.0 进行双因素方差分析,揭示微生物菌肥施肥水平和植物种类对土壤生物及理化性质的影响,利用 R 3.4.1 软件进行主成分法因子分析及离差平方和法聚类分析。以方差累积贡献率>80%确定公共因子总数,为更好地解释变量上的载荷值,采用方差最大正交旋转法进行因子旋转,利用各因子的方差贡献率占所有因子总方差贡献率的比重作为权重进行加权汇总,得到因子综合得分,并依据因子综合得分得到因子得分排名。离差平方和法聚类分析的基本思想来自方差分析,依据离差平方和的大小定义距离的远近,其中同类之间的离差平方和较小,不同类别之间离差平方和较大。

2 结果与分析

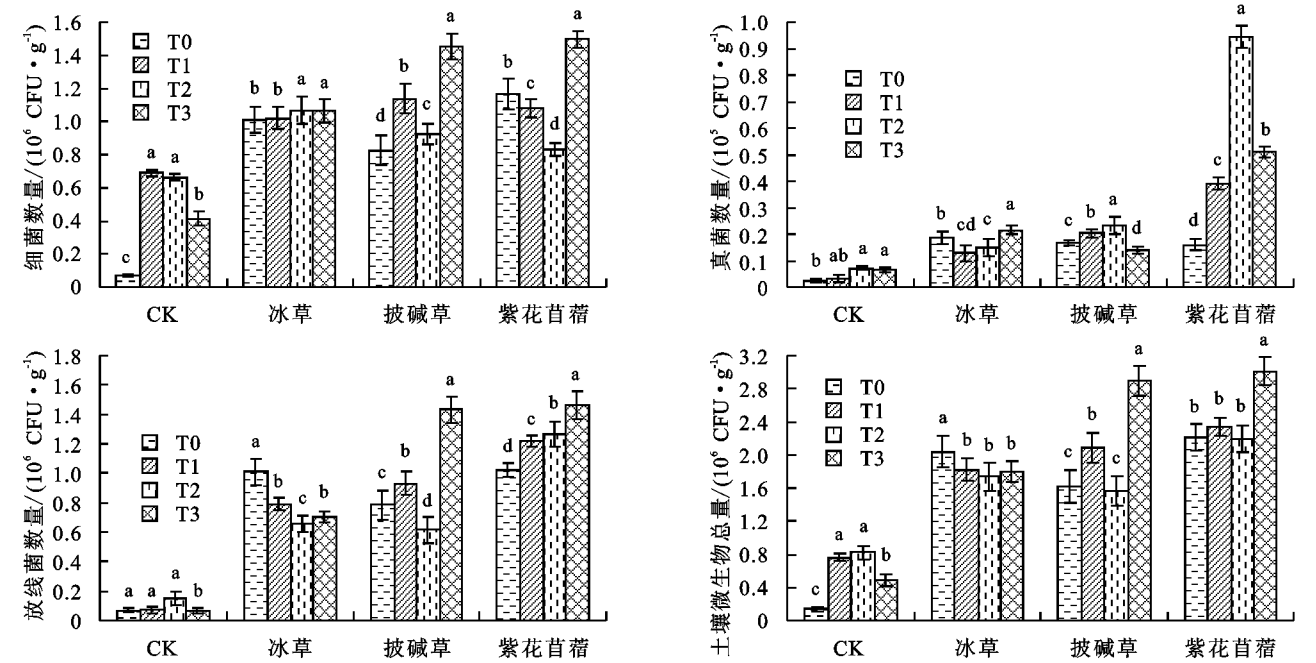
2.1 施肥水平和植物种类对土壤生物性质的影响

2.1.1 施肥水平和植物种类对微生物数量的影响

由图 1 可知,各试验组较对照组土壤微生物数量增多。同一施肥水平,T0~T3 处理冰草、披碱草和紫花苜蓿组较对照组土壤的细菌数量依次增加 14.27,15.41,13.44,19.11 倍;真菌分别增加 11.41,16.04,29.44,19.22 倍;放线菌分别增加 46.97,48.92,42.28,59.97 倍;微生物总

数分别增加 12.72,1.73,1.23,4.30 倍。由表 1 可知,植物种类对土壤中细菌、真菌、放线菌和微生物总量影响显著($p<0.05$),而施肥水平对各类微生物数量影响

不显著,植物种类和施肥水平对细菌、放线菌、微生物总量有显著交互作用。3 种植物中,紫花苜蓿组土壤微生物数量的变化最大。



注:图中不同字母表示各处理间差异达显著水平($P<0.05$)。下同。

图 1 不同用量微生物菌肥下土壤细菌、真菌、放线菌和微生物总量的变化

表 1 植物类型和施肥水平与微生物数量的方差分析				
项目	细菌	真菌	放线菌	微生物总量
植物种类	5.34*	4.26*	12.48***	18.40***
施肥水平	1.72	0.63	0.98	2.02
交互作用	4.87*	1.34	7.28**	9.84**

注:表中数值为方差分析 F 值;***表示 $P<0.001$;**表示 $P<0.01$;*表示 $P<0.1$ 。下同。

2.1.2 施肥水平和植物种类对微生物量碳、氮及碳氮比的影响 由图 2 可知,同一施肥水平各试验组的微生物量碳氮较对照组均有所增加,而碳氮比均有所减少。同一施肥水平 T0~T3 处理,冰草、披碱草和紫花苜蓿组与对照组相比,土壤微生物量碳依次平均增加 19.08%,63.28%,87.09%和 124.21%;土壤微生物量氮分别增加 66.77%,451.53%,529.51%和 597.19%;碳氮比分别减少 14.94%,64.73%,65.35%和 62.77%。由表 2 可知,植物种类和施肥水平对 3 项指标均影响显著($p<0.05$)。植物种类和施肥水平对微生物量氮和碳氮比均有显著的交互作用。

表 2 植物类型和施肥水平与微生物量碳、氮及碳氮比的方差分析			
项目	微生物量碳	微生物量氮	微生物量碳氮比
植物种类	5.97**	17.23***	4.28*
施肥水平	42.31***	69.21***	34.00***
交互作用	1.68	8.69*	11.55*

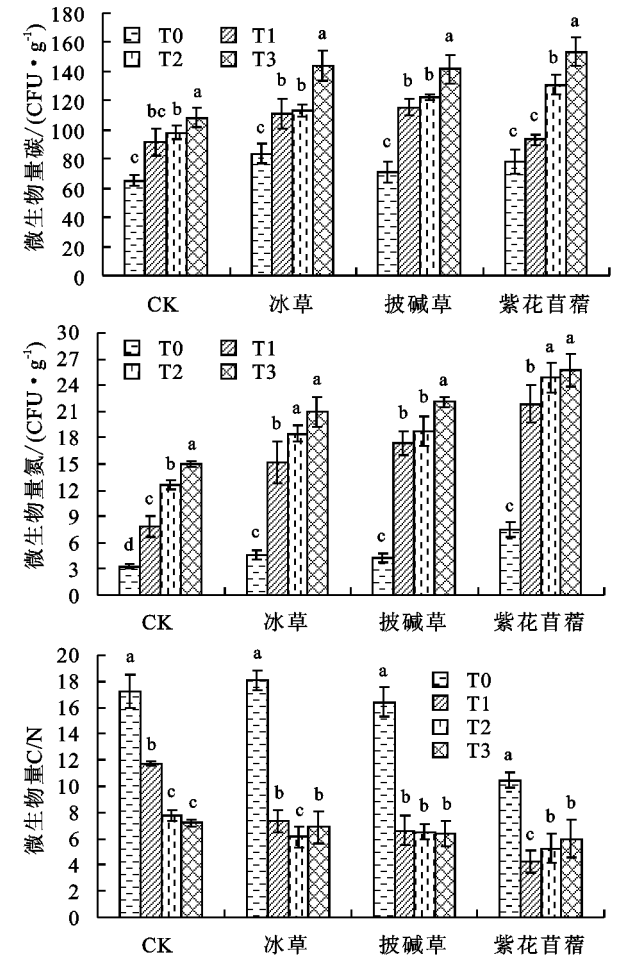


图 2 不同用量微生物菌肥下土壤微生物量碳、微生物量氮和微生物量碳氮比的变化

2.2 施肥水平和植物种类对土壤理化性质的影响

由图 3 可知,pH 随施肥水平的提高而减小,有机质含量则随之增加。

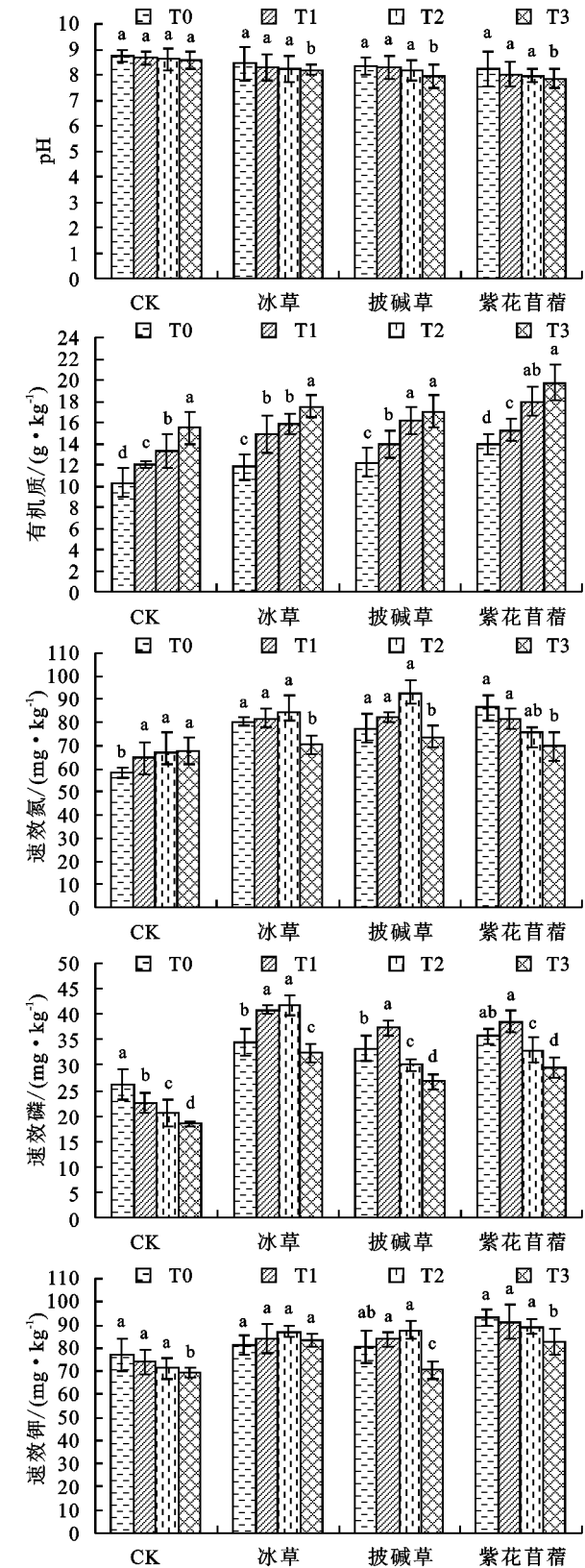


图 3 不同用量微生物菌肥下土壤 pH、有机质、速效氮、速效磷和速效钾的变化

同一施肥水平,T0~T3 处理,冰草、披碱草和紫花苜蓿组较对照组 pH 平均分别减小 4.76%、6.32%、7.24%和

8.80%;有机质含量分别增加 22.89%、42.67%、61.71%和 76.01%。随施肥水平提高,不同组别的土壤速效氮磷钾含量变化不一致,对照组速效氮含量呈增加趋势,速效磷和速效钾含量呈减小趋势,冰草和披碱草组的速效养分含量呈现先增加后减小的趋势,紫花苜蓿组速效磷含量出现先增加后减小的趋势,速效氮和速效钾含量均呈减小趋势。但试验组较对照组土壤速效氮磷钾含量均明显增加,冰草、披碱草和紫花苜蓿组土壤速效氮含量分别增加 39.86%、40.49%、44.73%和 22.62%;速效磷含量分别增加 31.30%、48.47%、33.21%和 12.72%;速效钾含量分别增加 10.72%、12.41%、14.63%和 2.69%。由表 3 可知,植物种类对土壤 pH、有机质、速效氮磷钾影响显著($p<0.05$);施肥水平对 pH、有机质、速效磷影响显著($p<0.05$),而对速效氮和速效钾影响不显著。植物种类和施肥水平对 pH、有机质、速效氮磷钾没有交互作用。

表 3 植物类型和施肥水平与土壤理化性质的方差分析

项目	pH	有机质	速效氮	速效磷	速效钾
植物种类	90.71***	47.94***	6.30*	23.50***	12.23**
施肥水平	21.22***	98.22***	1.70	6.10*	3.24
交互作用	0.39	0.44	1.79	2.44	0.83

2.3 土壤改良的综合评价

采用主成分法因子分析和离差平方和法聚类分析进行综合评判,以筛选土壤改良效果最佳组合。由表 4 可知,前 3 个公共因子的累计方差贡献率为 84.65%,达到可接受范围。12 个指标可分为 3 个公共因子,其中 F1 在土壤微生物量碳、微生物量氮、微生物量碳氮比及有机质上的荷载值最大,则 F1 表征土壤微生物量和有机质的综合因子;F2 在真菌数量和速效氮磷钾的荷载最大,故视为真菌数量和土壤速效养分的综合因子;F3 在细菌、放线菌和微生物总数的荷载有最大值,可视为土壤微生物数量因子。利用各因子的方差贡献率占 3 个因子总方差贡献率的比重作为权重进行加权汇总,得到因子综合得分,然后根据综合得分得到因子得分排名。因子综合得分计算公式为:

$$F = (36.33\% \times F1 + 26.51\% \times F2 + 21.81\% \times F3) \div 84.65\%$$
(1)

式中:F 为因子综合得分;F1 为第 1 公共因子得分;F2 为第 2 公共因子得分;F3 为第 3 公共因子得分。

由表 5 可知,整体而言,从施肥量角度看,因子得分排名从前到后依次为 T3、T2、T1 和 T0。从植物类型角度看,因子得分排名从前到后依次为紫花苜蓿、冰草、披碱草和对照组。可见施肥水平越高,干旱矿区土壤改良的效果越佳,最佳施肥量为 20 g/kg,改良的先驱植物为

紫花苜蓿。就组别而言,土壤改良效果最佳的是种植紫花苜蓿并施入 20 g/kg 微生物菌肥。此外,种植紫花苜蓿并施入 5 g/kg 微生物菌肥和种植冰草并施入 10 g/

kg 微生物菌肥对土壤改良的效果也较好,故在干旱矿区生态恢复和植被重建过程中,可根据不同经济情况选择不同植被和微生物菌肥施用量。

表 4 因子分析的公共因子载荷

因子	细菌数量	真菌数量	放线菌数量	微生物总量	微生物量碳	微生物量氮	微生物量碳氮比	pH	有机质	速效氮	速效磷	速效钾	累计方差贡献率/%
F1	0.34	-0.02	-0.17	0.07	0.92	0.98	-0.91	-0.78	0.95	0.20	0.07	0.15	36.33
F2	-0.02	-0.89	-0.48	-0.35	-0.03	0.11	-0.01	-0.48	0.15	0.62	0.84	0.82	62.84
F3	0.87	0.00	0.74	0.92	0.07	0.06	0.00	0.10	0.13	-0.49	-0.34	-0.30	84.65

采用离差平方和法进行聚类分析,该方法的基本思想来自方差分析。根据土壤改良效果将其分为 3 类,分别为土壤肥沃组、较肥沃组和贫瘠组(图 4)。由表 5 可知,土壤改良效果最佳的肥沃组包括施肥水平为 20 g/kg 的紫花苜蓿、冰草和披碱草,这与因子分析的结果略有不同。而贫瘠组由所有未施用微生物菌肥的试验组和未种植植物的对照组组成,故施用微生物菌肥或种植草本的组别土壤更加肥沃,能有效改良土壤,且施肥水平越高土壤越肥沃,土壤改良的效果越佳。故总体而言,聚类分析的结果与因子分析的结果基本一致。

表 5 因子得分、排名和聚类分析分类结果

组别	水平	因子综合得分	因子得分排名	聚类分类
冰草	T0	-0.83	15	贫瘠组
	T1	0.13	8	较肥沃组
	T2	0.43	3	较肥沃组
	T3	0.27	4	肥沃组
披碱草	T0	-0.33	12	贫瘠组
	T1	0.13	9	较肥沃组
	T2	0.25	6	较肥沃组
	T3	0.10	10	肥沃组
紫花苜蓿	T0	-0.20	11	贫瘠组
	T1	0.56	2	较肥沃组
	T2	0.25	5	较肥沃组
	T3	1.33	1	肥沃组
CK	T0	-0.58	14	贫瘠组
	T1	-0.56	13	贫瘠组
	T2	-1.10	16	贫瘠组
	T3	0.15	7	贫瘠组

3 讨论

本研究结果表明,施用微生物菌肥和种植植物能显著增加土壤微生物数量、土壤微生物量碳、氮和土壤养分,这与前人^[17-19]研究结果一致。施用微生物菌肥可提高土壤有机质含量,改善微生物的生存环境,为微生物持续提供养分,促进其生长^[20]。此外,随着植物的生长,其根分泌物和根系分解后转化形成的腐殖质能够提高土壤微生物的活性,故能增加土壤微生物的数量^[21]。随着施肥量的增加,土壤碱解氮含量有一定程度的增加^[22],氮可能成为土壤养分供应的限制因素^[23],使土壤微生物代谢活动减弱和数量下降^[24],从而植物的各类微生物数量不全在施肥水平最高时得到最大值。微生物菌肥疏松多孔的结构和较大的比表面积使其具有高吸附的性能,能够储存大量的养分和水分,故其进入土壤后能持续释放植物生长所需的养分,改善微生物生存环境,增加土壤易代谢碳的含量,从而提高土壤微生物量碳氮的含量^[25]。施用微生物菌肥能增加土壤空隙度,提高土壤通透性,增加土壤向植物提供营养的能力^[26],从而改善土壤理化性质,故微生物菌肥和种植植物能有效增加土壤养分。其中,有机质的大量提升可改善土壤空隙和团粒结构,进而改善土壤的透气性和透水性^[27],植物生长、繁殖时必不可少的营养元素速效氮磷钾的增多能够提高植物对干旱胁迫的耐受能力。因此施用微生物菌肥能有效促进干旱矿区植被—土壤相互作用及协同进化,从而加快该区域的生态恢复和植被重建。

种植植物引起的土壤养分含量增加可为土壤微生物提供良好的繁殖基础,故微生物数量增加^[28]。植物根系的快速周转有利于微生物的生长和繁殖,从而对土壤养分的生物有效性产生积极影响,因此土壤微生物量碳、氮含量增加^[29]。植物的根系分泌物和代谢过程可引起有机质含量的增加。植物根系呼吸和土壤微生物活动释放的 CO₂ 溶于水后形成碳酸可促进磷、钾盐等的溶解,有利于全面改善土壤肥力,产生良性循环^[30]。本研究表明,相同处理条件下紫花苜蓿组土壤改良效果最佳。紫花苜蓿能够通过固氮作用显著提高土壤中氮素含量,在生长过程中能增加土壤孔隙度,有效改

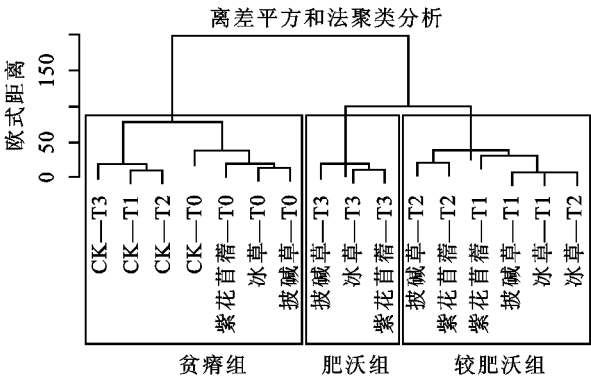


图 4 聚类分析结果

善土壤团粒结构;其根系还能分泌大量有机酸类物质,可促使土壤中矿物质的分解和溶解,为微生物的生长和繁殖提供良好的物质基础和生长环境^[31]。

4 结论

(1)施用微生物菌肥或种植紫花苜蓿、披碱草和冰草能有效改良干旱矿区土壤。施肥量一定且在植物作用下,土壤中微生物数量、微生物量碳氮、有机质、速效氮磷钾含量显著增加,微生物量碳氮比和 pH 显著降低。植物种类和施肥水平对微生物数量、微生物量氮、碳氮比均有显著交互作用。

(2)整体而言,因子分析和聚类分析的结果基本一致,随着微生物菌肥施用量的增加,土壤改良的效果越佳。土壤改良效果最佳的为种植紫花苜蓿并施入 20 g/kg 的微生物菌肥。

参考文献:

- [1] 宋双双,孙保平,张建锋.保水剂和微生物菌肥对半干旱区造林和土壤改良的影响[J].水土保持学报,2018,32(3):334-339.
- [2] 彭飞,黄敦元,余江帆,等.生物菌肥对于油茶的应用前景以及施用条件和方法初探[J].江西林业科技,2013,40(1):39-42.
- [3] Uysal O, Uysal F O, Ekinci K. Evaluation of microalgae as microbial fertilizer[J]. European Journal of Sustainable Development, 2015, 4(2): 77-82.
- [4] 李旭霖,刘庆花,柳新伟,等.不同改良剂对滨海盐碱地的改良效果[J].水土保持通报,2015,35(2):219-224.
- [5] 孙庆先,胡振琪.中国矿业的环境影响及可持续发展[J].中国矿业,2003,12(7):24-27.
- [6] 彭建,蒋一军,吴健生,等.我国矿山开采的生态环境效应及土地复垦典型技术[J].地理科学进展,2005,24(2):38-48.
- [7] 许景钢,孙涛,李嵩.我国微生物肥料的研发及其在农业生产中的应用[J].作物杂志,2016,31(1):1-6.
- [8] 侯睿,张小红,张小军,等.生物菌肥在花生上施用效果的研究[J].中国农学通报,2017,33(8):78-83.
- [9] 辛督强,韩国秀.因子分析法在科技期刊综合评价中的应用[J].数理统计与管理,2014,33(1):116-121.
- [10] Cheng Y Q, Song Q W, Ma H M. Research on optimization of water quality monitoring sites using principal component analysis and cluster analysis[C]. Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring, 2011: 570-573.
- [11] Niu C C, Wang Q, Chen H I, et al. Application of principal component analysis and cluster analysis to evaluation of black soil degradation in Jilin[C]. Multimedia Technology, 2011: 1467-1470.
- [12] 李振高.土壤与环境微生物研究法[M].北京:科学出版社,2008.
- [13] 林启美,吴玉光,刘焕龙.熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进[J].生态学杂志,1999,18(2):63-66.
- [14] 成斌斌.土壤 pH 的测定[J].化学教与学,2014(4):95-97.
- [15] 中科院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978:20-210.
- [16] 孙兰香.乙酸铵浸提:火焰光度计法测定土壤速效钾[J].现代农业科技,2008,34(17):199.
- [17] 周智彬,李培军.塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤中微生物的生态分布及其与土壤因子间的关系[J].应用生态学报,2003,14(8):1246-1250.
- [18] Yan D Z, Wang D J, Yang L Z. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on labile organic matter fractions in a paddy soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2007, 44(1): 93-101.
- [19] 卢建男,张琼,刘铁军,等.不同改良剂对盐碱地土壤及草地早熟禾生长的影响[J].草业科学,2017,34(6):1141-1148.
- [20] Sardans J, Peuelas J. Plant-soil interactions in Mediterranean forest and shrublands: Impacts of climatic change[J]. Plant and Soil, 2013, 365(1/2): 1-33.
- [21] 许剑敏.生物菌肥对矿区复垦土壤磷、有机质、微生物数量的影响[J].山西农业科学,2011,39(3):250-252.
- [22] 宋家清,郑秀社,张庆国,等.活性微生物菌肥对滨海盐碱土改良的影响[J].北方园艺,2010,33(18):53-55.
- [23] 贾倩民,陈彦云,杨阳,等.不同人工草地对于干旱区弃耕地土壤理化性质及微生物数量的影响[J].水土保持学报,2014,28(1):178-182.
- [24] 吴江利,罗学刚,李宝强,等.生物菌肥作用下荒漠土壤微生物群落结构和功能研究[J].中国农学通报,2015,31(9):216-223.
- [25] 元炳成.紫花苜蓿改良盐渍土对土壤微生物活性和养分含量的影响[J].生态环境学报,2011,20(3):415-419.
- [26] 王素英,陶光灿,谢光辉,等.我国微生物肥料的应用研究进展[J].中国农业大学学报,2003,8(1):14-18.
- [27] 姚衍芳,王新亮.微生物肥料在盐碱地改良中的应用[J].林业科技通讯,2016,58(9):15-17.
- [28] 唐海龙,龚伟,王景燕,等.川东丘陵区青花菜种植对土壤肥力的影响[J].长江流域资源与环境,2017,26(10):1597-1606.
- [29] 赵彤,闫浩,蒋跃利,等.黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响[J].生态学报,2013,33(18):5615-5622.
- [30] 赵可夫,范海,江行玉,等.盐生植物在盐渍土壤改良中的作用[J].应用与环境生物学报,2002,8(1):31-35.
- [31] 张萌萌,敖红,张景云,等.植年限对紫花苜蓿根际土壤微生物群落功能多样性的影响[J].草业科学,2014,31(5):787-796.