

· 试验研究 ·

蚯蚓肥复配土壤调理剂对毛乌素沙地土壤性质及中科羊草生长的影响

艾 锋^{1,2}, 李 强^{1,2}, 任浩东³, 陈占飞⁴, 赵 江^{1,2}, 刘 娜^{1,2},
刘艳丽^{1,2}, 张凯煜^{1,2}, 孙利鹏^{1,2}

(1. 榆林学院, 陕西省陕北矿区生态修复重点实验室, 陕西 榆林 719000;

2. 榆林学院, 榆林市固废资源化利用工程技术研究中心, 陕西 榆林 719000;

3. 榆林环境保护工程有限责任公司, 陕西 榆林 719000; 4. 榆林市农业科学研究院, 陕西 榆林 719000)

摘 要:针对毛乌素沙地土壤肥力低下、保水保肥能力差的问题,以中科羊草为指示作物,通过田间小区试验方法,研究了蚯蚓肥复配土壤调理剂(1:2,即 EC-T1、1:1,即 EC-T2 和 2:1,即 EC-T3)对土壤性质和植物生长的影响。结果表明:①施用蚯蚓肥复配土壤调理剂能有效改善风沙土物理结构。与对照相比,EC-T1、EC-T2 和 EC-T3 处理土壤含水率分别提高 7.55%、2.04% 和 0.93%,容重分别降低 4.13%、4.65% 和 2.46%,孔隙度分别提高 6.79%、5.10% 和 3.95%;②施用蚯蚓肥复配土壤调理剂能有效改善土壤化学性质。与对照相比,EC-T1、EC-T2 和 EC-T3 的 pH 分别降低 1.27%、2.51% 和 2.33%,有机质含量分别提升 98.33%、148.33% 和 133.33%,速效钾分别提高 49.58%、66.73%、41.09%,有效磷分别提升 38.92%、64.32%、58.38%,水解氮分别提升 148.82%、150.39%、196.20%;③施用蚯蚓肥复配土壤调理剂能显著增加中科羊草株高、生物量及叶面积。与对照相比,EC-T1、EC-T2 和 EC-T3 株高分别提高 5.36%、11.37% 和 11.71%,生物量提高 9.03%、42.88% 和 73.86%,叶面积提高 54.09%、57.55% 和 96.86%。④施用蚯蚓肥复配土壤调理剂的处理得分均高于 CK,蚯蚓肥复配土壤调理剂配比 2:1 的处理综合改良效果最佳,得分为 2.20。

关键词:蚯蚓肥;土壤调理剂;土壤理化性质;中科羊草

中图分类号:X705 文献标识码:A 文章编号:0488-5368(2022)08-0011-07

Effects of Earthworm Fertilizer Combined with Soil Conditioner on Soil Properties and Growth of *Leymus Chinensis* in Mu Us Sandy Land

AI Feng^{1,2}, LI Qiang^{1,2}, REN Haodong³, CHEN Zhanfei⁴, ZHAO Jiang^{1,2},
LIU Na^{1,2}, LIU Yanli^{1,2}, ZHANG Kaiyu^{1,2}, SUN Lipeng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Ecological Restoration in North Shaanxi Mining Area, Yulin University, Yulin, Shaanxi 719000, China;

2. Yulin Solid Waste Resource Utilization Engineering Technology Research Center, Yulin University, Yulin, Shaanxi 719000, China;

3. Yulin Environmental Protection Engineering Co., Ltd, Yulin, Shaanxi 719000, China;

4. Yulin Academy of Agricultural Sciences, Yulin, Shaanxi 719000, China)

Abstract: Focus on problems of low soil fertility and poor ability of water and fertilizer retention in Maowusu sandy land, *Leymus chinensis* was taken as the indicator crop, the effect of earthworm fertilizer combined with soil conditioner (1:2, i. e. ec-t1, 1:1, i. e. ec-t2 and 2:1, i. e. ec-t3) on soil

收稿日期:2022-03-14 修回日期:2022-05-08

基金项目:陕西省教育厅服务地方专项(SXJYT-30);陕西省科技厅产业链(2021QFY04-03);榆林市青年科技新星项目(YLKJXX-2);榆林市产学研项目(CXY-2020-30,20JK1005,2019-108-3,CXY-2020-004-01)。

第一作者简介:艾锋(1998-),男,陕西米脂人,硕士研究生。研究方向:固废生态农业利用研究。

通信作者:李强。

properties and plant growth was studied through field plot experiment. The results showed that: ① Application of earthworm fertilizer combined with soil conditioner could effectively improve the physical structure of aeolian sandy soil. Compared with the control, under treatments of ec-t1, ec-t2 and ec-t3, the soil moisture was increased by 7.55%, 2.04% and 0.93%, respectively, the bulk density decreased by 4.13%, 4.65% and 2.46%, respectively, and the porosity increased by 6.79%, 5.10% and 3.95%, respectively; ② Application of earthworm fertilizer combined with soil conditioner could effectively improve soil chemical properties. Compared with the control, the pH of ec-t1, ec-t2 and ec-t3 decreased by 1.27%, 2.51% and 2.33%, respectively, the content of organic matter increased by 98.33%, 148.33% and 133.33%, respectively, the content of available potassium increased by 49.58%, 66.73% and 41.09%, respectively, the content of available phosphorus increased by 38.92%, 64.32% and 58.38%, respectively, and the content of hydrolyzed nitrogen increased by 148.82%, 150.39% and 196.20%, respectively; ③ Application of earthworm fertilizer combined with soil conditioner could significantly increase the plant height, biomass and leaf area of *Leymus chinensis*. Compared with the control, the plant height of ec-t1, ec-t2 and ec-t3 increased by 5.36%, 11.37% and 11.71%, respectively, the biomass increased by 9.03%, 42.88% and 73.86%, respectively, and the leaf area increased by 54.09%, 57.55% and 96.86%, respectively. ④ According to the principal component analysis and comprehensive evaluation equation, the treatment scores of earthworm fertilizer combined with soil conditioner were higher than CK, and the treatment with earthworm fertilizer combined with soil conditioner ratio of 2:1 had the best effect on comprehensive improvement, the score was 2.20.

Key words: Earthworm fertilizer; Soil conditioner; Soil physical and chemical properties; *Leymus chinensis*

土壤是人类赖以生存的物质基础,是农业生产和生态修复不可或缺的载体。土壤质量决定了我国农(林)产品质量以及农(林)业的可持续发展,但由于长期的土壤侵蚀、环境污染以及耕作制度等因素,导致了严重的土壤退化^[1]。与此同时,随着我国人口不断增长,工农业污染矛盾持续加剧,土壤退化已经成为我们亟待解决的问题^[2]。

毛乌素沙地是我国西北生态文明建设的前沿阵地,也是生态系统的敏感脆弱区。在国家“碳达峰、碳中和”的大背景下,风沙区土壤资源的保护与生态再利用显得尤为重要。然而,风沙土缺少胶体,存在土壤质地松散、潜在养分贫瘠等一系列问题^[3~4]。因此,治理风沙土对农业可持续发展和农民生活水平的提高有着直接的现实意义^[5]。已有研究表明,风沙土中施入土壤调理剂能够有效增强其保水保肥能力,改善土壤性质,防止土壤退化^[6~10]。施用土壤调理剂还可以有效降低干旱胁迫对作物产量的影响。蚯蚓肥是一种合理结合有机物和微生物的高效新型有机肥,透水通气效果好,增肥效果佳。Nowshin Laila 等^[11]认为蚯蚓肥可有效激发植物生长潜能,提高作物产量^[12~13]。因此,蚯蚓肥复配土壤调理剂将充分发挥二者功效,对于土壤理化性质及植物生长改善和提升具有

重要的潜在价值^[14]。

为此,本研究采用课题组自主研发土壤调理剂与市购蚯蚓肥进行不同比例复配,通过田间小区实验方法,研究了蚯蚓肥复配土壤调理剂对土壤性质和植物生长的影响。旨在集成一种煤基固废与蚯蚓肥生态利用的技术工艺^[15~18]。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验地位于陕西省榆林市牛家梁(经度 109°45'27"E,纬度 38°22'50"N),平均海拔 1 100 m~1 200 m,年平均温度 10.4℃,年无霜期 150 d,年降雨量 446.5 mm。供试中科羊草种子来自榆林某种子分公司,供试蚯蚓肥来自榆林某公司,土壤调理剂为课题组自主研发产品。基本特性见表 1。

1.2 试验设计

试验布设采用随机区组设计,每个处理包括 3 次独立重复。试验蚯蚓肥复配土壤调理剂包括对照 CK、EC-T1、EC-T2、EC-T3 共 4 个处理。肥料采用撒施的方式,将称量好的蚯蚓肥与土壤调理剂施入对应小区中,小区规格为 3 m×3 m,利用旋耕机将土壤翻松整平。中科羊草种子施用量为 4.5 g/m²。采用条播方式,行距 20 cm,深度为

1 cm,试验时间为2021年5月—2021年10月,试验期间降雨和气温变化如图1所示,试验蚯蚓肥和

土壤调理剂施用量如表2所示,播种时间为2021年5月13日。

表1 试验土壤、土壤调理剂及蚯蚓肥基本性质

指标	风沙土	蚯蚓肥	土壤调理剂	黄绵土背景值	国家标准/GB15618—2018
有机质(g/kg)	2.72	88.56	343.57	—	—
速效磷(mg/kg)	27.5	3.8	27.3	—	—
速效钾(mg/kg)	1.57	1.13	0.79	—	—
pH	8.72	7.33	5.79	—	—
Cr	21	79	101	65.10	250.00
Ni	16	54	61	27.6	190.00
Cu	6	25	982	18.90	100.00
Zn	26	230	156	65.60	300.00
As	0.79	2.66	1.48	11.40	25.0
Cd	0.01	0.09	0.03	—	0.60
Hg	0.08	0.81	0.08	—	3.40

表2 田间试验蚯蚓肥和土壤调理剂施用量

处理	CK		EC-T1		EC-T2		EC-T3	
施用量(kg/小区)	调理剂	蚯蚓肥	调理剂	蚯蚓肥	调理剂	蚯蚓肥	调理剂	蚯蚓肥
	0	0	27.0	13.5	20.3	20.3	13.5	27.0

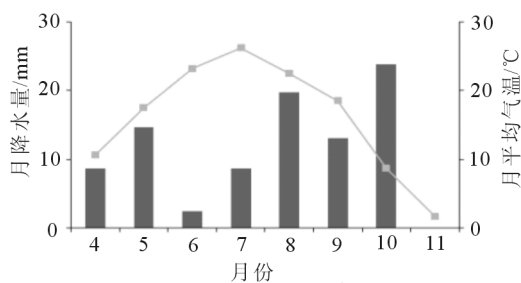


图1 试验期降雨量和气温变化

1.3 指标测定

待中科羊草出苗后,每月上旬观测植物、土壤特性指标。土壤含水率采用铝盒烘干法,土壤容重采用环刀法($V=100\text{ cm}^3$),土壤pH测定利用电位计法(水土比为2.5:1),有机质采用硫酸—重铬酸钾外加热法测定,速效钾采用火焰光度法测定,有效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗分光光度法测定,水解氮采用碱解扩散法测定。中科羊草株高及叶面积利用卷尺测定,将采集到的中科羊草放入烘箱,杀青后在烘干至恒重,获得生物量。

1.4 数据分析

Excel2010软件进行统计绘图,SPSS23.0进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 蚯蚓肥复配土壤调理剂对土壤物理性状的影响

2.1.1 不同处理土壤含水率的变化 土壤含水率

是土壤肥力重要指标之一^[19]。由图2可得,与对照相比,施用蚯蚓肥复配土壤调理剂处理EC-T1、EC-T2、EC-T3的土壤含水率分别提高了1.8%、3.61%和2.43%;8月相较于CK对照组,EC-T1、EC-T2、EC-T3含水率分别提高了22.96%、11.71%和8.61%;9月相较于CK对照组,EC-T1含水率降低了24.19%,EC-T2含水率降低了37.73%,EC-T3含水率降低32.31%,可能是天气干旱,EC-T1、EC-T2、EC-T3中的植物长势较CK更好,用水量较大所导致;10月相较于CK对照组,EC-T1、EC-T2、EC-T3含水率分别提高了29.62%、30.56%和24.76%。综上分析可得,在7、8、10三个月份中,相对于CK对照组,不同处理对风沙土含水率影响存在差异,且EC-T1对于风沙土含水率增幅最大。

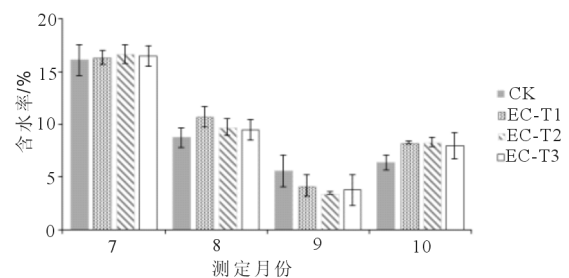


图2 不同处理土壤含水率变化

2.1.2 不同处理土壤容重的变化 土壤容重可表

示土壤结构状况,风沙土容重通常过大,不利于土壤内部的交换调节^[20]。由图 3 可知,与对照相比,施用蚯蚓肥复配土壤调理剂处理 EC-T1、EC-T2、EC-T3 的土壤容重分别降低 2.55%、9.49% 和 2.70%;在 8 月,相较于 CK 对照组,EC-T1、EC-T2、EC-T3 容重分别降低 5.29%、4.12% 和 5.88%;9 月相较于 CK 对照组,EC-T1、EC-T2、EC-T3 容重分别降低 6.79%、2.47%、0.62%;10 月相较于 CK 对照组,EC-T1、EC-T2、EC-T3 容重分别降低 1.89%、2.52% 和 0.63%。综上与对照相比,施用蚯蚓肥复配土壤调理剂能够降低风沙地土壤容重,且 EC-T2 处理对土壤容重的影响最为显著。

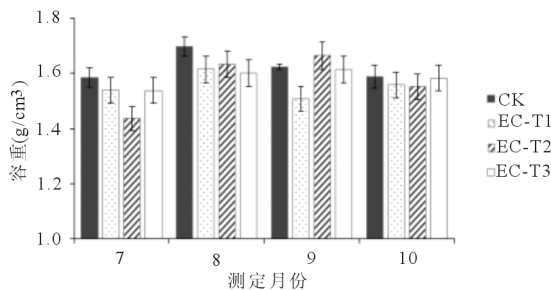


图 3 不同处理土壤容重变化

2.1.3 不同处理土壤孔隙度的变化 土壤孔隙度是评价土壤结构状况的重要指标,孔隙度过低将不利于土壤中水、气和营养物质的交换调节。由图 4 可知,7 月相较于 CK 对照组,处理 EC-T1、EC-T2、EC-T3 孔隙度均有提升,分别为 4.20%、14.05% 和 4.40%,其中 EC-T2 提升最为显著;8 月相较于 CK 对照组,处理 EC-T1、EC-T2、EC-T3 孔隙度分别提高 11.39%、6.79% 和 1.01%,EC-T1 提升最为显著;9 月相较于 CK 对照组,处理 EC-T1、EC-T2、EC-T3 孔隙度分别提高 8.65%、6.79%、9.93%,其中 EC-T3 提升最为显著;10 月相较于 CK 对照组,EC-T1、EC-T2、EC-T3 孔隙度分别提高 2.92%、3.34% 和 0.47%。可见,在风沙土中添加蚯蚓肥复配土壤调理剂,对于土壤孔隙度有着显著提升作用。

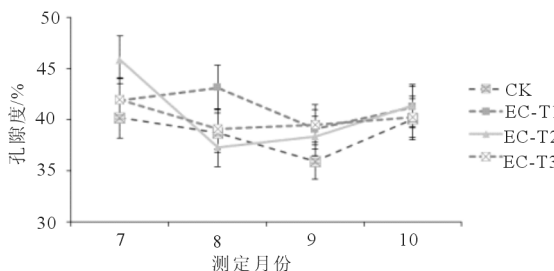


图 4 不同处理土壤孔隙度变化

2.2 蚯蚓肥复配土壤调理剂对土壤化学性状的影响

2.2.1 不同处理土壤 pH 的变化 pH 也是土壤质量的主要指标之一,对土壤养分和微生物均有着显著影响^[21]。由图 5 可知,与对照相比,施用蚯蚓肥复配土壤调理剂处理 EC-T1、EC-T2、EC-T3 的 pH 分别降低了 3.64%、3.75% 和 8.93%;8 月与 CK 相比,EC-T1 和 EC-T3 的 pH 分别增加了 3.44% 和 1.84%,EC-T2 的 pH 降低了 1.84%;9 月相较于 CK 对照组,EC-T3 的 pH 增加了 0.84%,EC-T1 的 pH 降低了 1.44%,EC-T2 的 pH 降低了 2.64%;10 月相较于 CK 对照组,EC-T1 的 pH 降低了 3.42%,EC-T2 的 pH 降低了 1.82%,EC-T3 的 pH 降低了 3.08%。可见,在 7、8、9、10 四个月份中,相对于 CK 对照组,蚯蚓肥复配土壤调理剂能有效调节风沙土 pH。

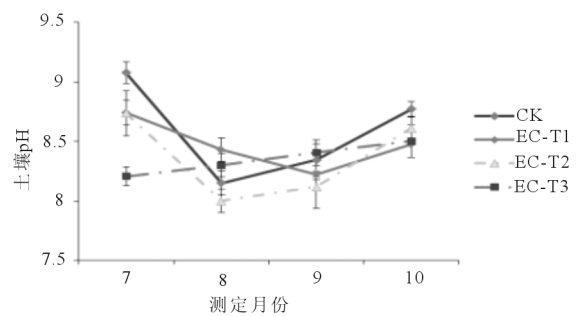


图 5 不同处理土壤 pH 变化

2.2.2 不同处理土壤有机质变化 土壤中有机质对于土壤养分循环具有重要作用。由图 6 可得,不同处理土壤有机质含量排列顺序为:EC-T2>EC-T3>EC-T1>CK,处理 EC-T2 有机质含量最高。与对照相比,处理 EC-T1、EC-T2 和 EC-T3 有机质含量分别提升 98.33%、148.33% 和 133.33%,说明施加蚯蚓肥复配土壤调理剂对风沙土有机质含量有显著提升。

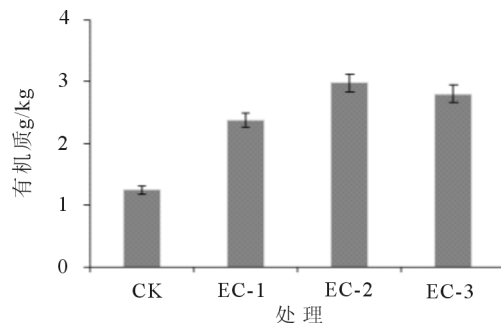


图 6 不同处理土壤有机质变化

2.2.3 不同处理土壤养分含量变化 土壤养分对

土壤肥力的影响至关重要。由图 7 可得,与对照相比,施用蚯蚓肥复配土壤调理剂处理,速效钾含量分别提升 49.58%、66.73%和 41.09%,有效磷含量分别提升 38.92%、64.32%和 58.38%,水解氮含量分别提升 148.82%、150.39%和 196.20%,说明蚯蚓肥复配土壤调理剂能显著提高风沙土养分含量。

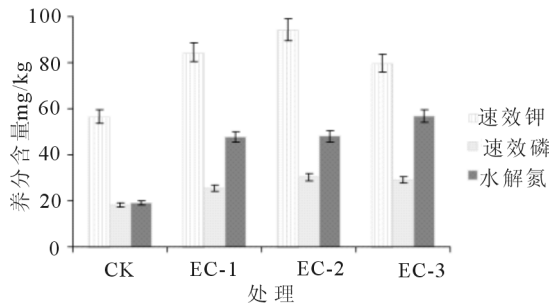


图 7 不同处理土壤养分含量变化

2.3 蚯蚓肥复配土壤调理剂对中科羊草的影响

2.3.1 蚯蚓肥复配土壤调理剂对中科羊草株高的影响 株高可以直接反映植物生长状况。由图 8 可知,与对照相比,施用蚯蚓肥复配土壤调理剂处理 EC-T1 的株高增加了 3.68%,EC-T2 的株高增加了 14.18%,EC-T3 的株高增加了 8.90%;8 月相较于 CK 对照组 EC-T1 的株高增加了 13.56%,EC-T2 的株高增加了 19.05%,EC-T3 的株高增加了 17.82%;9 月相较于 CK 对照组,EC-T1 的株高降低了 4.65%,EC-T2 的株高增加了 4.26%,EC-T3 的株高增加了 5.45%,EC-T1 的株高降低可能是由于采样点的误差所造成;10 月相较于 CK 对照组,EC-T1 的株高增加了 8.86%,EC-T2 的株高增加了 8.00%,EC-T3 的株高增加了 14.68%。综上所述,与对照相比,施用蚯蚓肥复配土壤调理剂对于风沙土的中科羊草株高影响各不相同,均能增加中科羊草的株高。

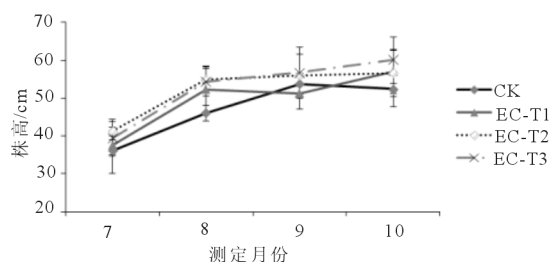


图 8 不同处理中科羊草株高变化

2.3.2 蚯蚓肥复配土壤调理剂对植物生物量的影响 植物生物量可以直接反映出植物的生长状况^[22]。由图 9 可知,不同处理中科羊草的地上生物量排列顺序为 EC-T3>EC-T1>CK>EC-T2,EC-T3 的地上生物量表现最好。与对照相比,施用蚯蚓肥复配土壤调理剂处理 EC-T1 的地上生物量增加了 3.37%,EC-T2 的地上生物量降低了 20.17%,EC-T3 的地上生物量增加了 7.56%。不同处理中科羊草的根系生物量排列顺序为:EC-T3>EC-T2>EC-T1>CK,EC-T3 的根系生物量表现最好,相较于 CK 对照组,EC-T1 的根系生物量增加了 14.69%,EC-T2 的根系生物量增加了 105.92%,EC-T3 的根系生物量增加了 140.16%。可见,蚯蚓肥复配土壤调理剂能够有效增加中科羊草生物量,其中以处理 EC-T3 效果最为显著量。

2.3.3 蚯蚓肥复配土壤调理剂对中科羊草叶面积的影响 由图 10 可知,不同处理中科羊草的叶面积排列顺序为 EC-T3>EC-T2>EC-T1>CK,EC-T3 的叶面积表现最好。相较于 CK 对照组,施用蚯蚓肥复配土壤调理剂处理 EC-T1 的叶面积增加了 54.09%,EC-T2 的叶面积增加了 57.55%,EC-T3 的叶面积增加了 96.86%。

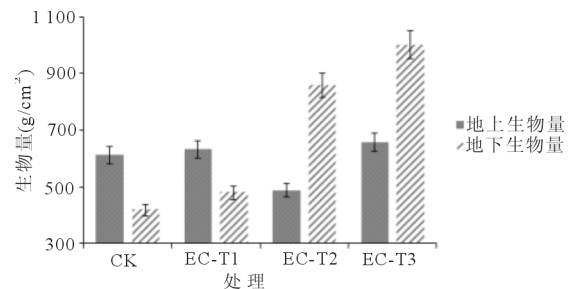


图 9 不同处理中科羊草地上/地下生物量变化

2.4 建立综合评价体系

由上述可得,试验所设不同处理对毛乌素沙地土壤性质及中科羊草生长均有一定的影响,但没有一个标准去衡量,也就是某处理的一个指标优良,其他指标却较差,说明某个指标无法代替对应处理的综合改良效果。因此,笔者研究利用主成分分析以及加权计算,建立综合评价体系,通过公式计算各处理得分情况,从而得出最优的蚯蚓肥复配土壤调理剂配比。

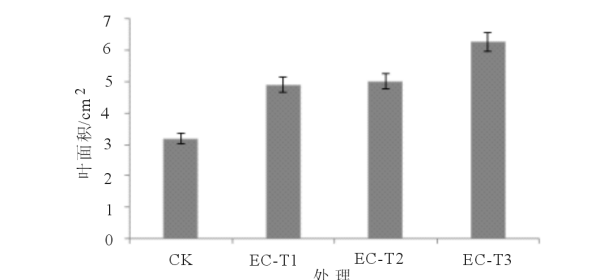


图 10 不同处理中科羊草叶面积变化

2.4 建立综合评价体系

2.4.1 改良效果评价指标相关性分析 表 3 为选取的 11 个改良效果评价指标的相关性分析,包括

3 个土壤物理指标:含水率 X1、孔隙度 X2、容重 X3,5 个土壤化学指标:酸碱度 X4、有机质 X5、速效钾 X6、有效磷 X7、水解氮 X8,3 个植物生长指

标:株高 X9、生物量 X10、叶面积 X11。由表 3 可得,11 个改良效果评价指标具有一定的相关性,因此可对其进行主成分分析。

表 3 各指标相关系数矩阵

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
X1	1.00										
X2	0.11	1.00									
X3	-0.94	-0.41	1.00								
X4	-0.34	-0.95	0.63	1.00							
X5	0.51	0.86	-0.77	-0.98	1.00						
X6	0.70	0.62	-0.89	-0.84	0.93	1.00					
X7	0.46	0.88	-0.73	-0.99	1.00	0.92	1.00				
X8	0.58	0.87	-0.79	-0.93	0.94	0.82	0.93	1.00			
X9	0.43	0.90	-0.64	-0.88	0.84	0.65	0.84	0.97	1.00		
X10	-0.06	0.98	-0.23	-0.86	0.73	0.44	0.76	0.77	0.86	1.00	
X11	-0.08	0.98	-0.22	-0.88	0.75	0.47	0.78	0.76	0.83	1.00	1.00

2.4.2 各成分的特征根与方差贡献率 11 项改良效果评价指标进行主成分分析后,各主成分特征根与累计贡献率如表 4 所示。当主成分累计贡献率大于 90%时,可基本反映变异情况。由表 4 可得,主成分 V1 特征根为 8.41,解释总变异 76.47%;第二主成分 V2 特征根为 2.19,解释了总变异 19.92%,前 2 个主成分的累计贡献率达到了 96.39% > 90%,因此可代表 11 个指标的大部分信息。

表 4 各主成分的特征根和累积贡献率

	特征根	贡献率/%	累积贡献率/%
V1	8.41	76.47	76.47
V2	2.19	19.92	96.39

2.4.3 特征向量及主成分表达式 所选的 11 个初始指标和 2 个主成分 V1、V2 的相关系数如表 5 所示,由此表可得 pH、有机质、有效磷以及水解氮在 V1 上数值较高,代表土壤的化学性质和养分状况,含水率、容重、生物量和叶面积在 V2 上数值较高,代表了土壤的物理性质以及植物生长状况。V1、V2 两个主成分与初始指标的关系函数表达式如下:

表 5 主成分的特征向量

指标	V1	V2
X1	0.47	-0.86
X2	0.92	0.39
X3	-0.73	0.68
X4	-0.98	-0.12
X5	0.98	-0.10
X6	0.86	-0.42
X7	0.98	-0.04
X8	0.98	-0.09
X9	0.93	0.10
X10	0.83	0.56
X11	0.83	0.56

$$V1 = 0.16X_1 + 0.32X_2 - 0.25X_3 - 0.34X_4$$

$$+ 0.34X_5 + 0.30X_6 + 0.34X_7 + 0.34X_8 + 0.32X_9 + 0.29$$

$$X_{10} + 0.29X_{11} \quad (1)$$

$$V2 = -0.58X_1 + 0.26X_2 + 0.46X_3 - 0.08X_4 - 0.07X_5 - 0.28X_6 - 0.03X_7 - 0.06X_8 + 0.07X_9 + 0.38X_{10} + 0.38X_{11} \quad (2)$$

2.4.4 改良效果综合评价 主成分加权求和可得到综合评价方程:

$$V = 0.793V1 + 0.206V2 \quad (3)$$

由图 11 可得,不同蚯蚓肥复配土壤调理剂处理的得分大小排序为 EC-T3 > EC-T2 > EC-T1 > CK,可以看出施用蚯蚓肥复配土壤调理剂的处理得分均高于 CK,且随着蚯蚓肥复配土壤调理剂配比的增大,得分呈现越来越高的趋势,对照组及蚯蚓肥复配土壤调理剂配比为 1:2、1:1 和 2:1 的处理综合得分分别为 -3.12、-0.31、1.22 和 2.20。

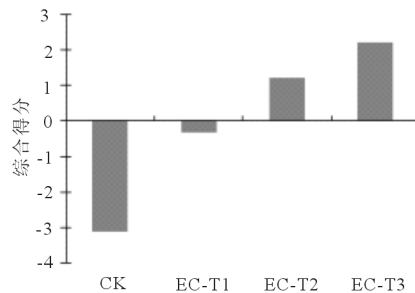


图 11 不同处理下土壤改良综合得分

3 结论

以中科羊草为指示作物,通过田间小区试验,研究了蚯蚓肥复配土壤调理剂对土壤性质和植物生长的影响,主要结论:

(1)与对照相比,施用蚯蚓肥复配土壤调理剂处理的含水率、孔隙度均有不同程度提高,土壤容重显著降低,说明施用蚯蚓肥复配土壤调理剂可有效改善风沙土物理结构。

(2)与对照相比,施用蚯蚓肥复配土壤调理剂处理的 pH 表现较好,处理后土壤有机质、速效钾、有效磷和水解氮含量显著提升,说明施用蚯蚓肥复配土壤调理剂可有效改善风沙土化学性质,提升土壤肥力质量。

(3)施用蚯蚓肥复配土壤调理剂能够显著增加中科羊草株高、生物量及叶面积,改善植物生长状况。

(4)施用蚯蚓肥复配土壤调理剂的处理得分均高于 CK 对照,且随着蚯蚓肥复配土壤调理剂配比的增大,得分呈现越来越高的趋势,蚯蚓肥复配土壤调理剂配比 2:1 的处理综合改良效果最好,得分为 2.20。

参 考 文 献:

- [1] 黄赛花,刘通,黄友良,等. 蚯蚓粪复配硼钼调理剂对土壤改良和茄子生长的影响作用[J]. 生态环境学报, 2021,30(03):523-531.
- [2] 王鹤亭. 土壤污染与修复方法研究[J]. 现代农业科技,2021(18):185-187.
- [3] 赵智,唐泽军,宋满刚,等. 粉煤灰和 PAM 改良沙土物理性质田间试验[J]. 水土保持学报,2013,27(03):178-183.
- [4] 宋明元,吕贻忠,李丽君,等. 土壤综合改良措施对科尔沁风沙土保水保肥能力的影响[J]. 腐植酸,2017(02):46.
- [5] 黄殿男,谭杰,傅金祥,等. 城市污水处理厂污泥对沙漠化土壤的改良效果[J]. 水土保持学报,2017,31(01):323-327.
- [6] 宋佳奇,索全义,赵炳全,等. 有机型沙地调理剂对沙土理化性质的影响[J]. 土壤通报,2018,49(04):949-952.
- [7] 卢钰升,顾文杰,李集勤,等. 烟草新型土壤调理剂对植烟沙泥田土壤的改良及应用效果[J]. 热带作物学报,2021,42(04):1055-1060.
- [8] 白博文,刘善江,申俊峰,等. 土壤调理剂研发及应用研究进展[J]. 安徽农业科学,2021,49(03):14-18.
- [9] 尹万伟,黄本波,汪凤玲,等. 土壤调理剂的研究现状与进展[J]. 磷肥与复肥,2019,34(02):19-23.
- [10] 陶林. 土壤调理剂对土壤理化性状与木薯产量效应研究[D]. 南宁:广西大学,2018.
- [11] Nowshin Laila, Md Sarkar, Swapan Paul, et al. Yield performance of aromatic fine rice as influenced by integrated use of vermicompost and inorganic fertilizers[J]. Journal of the Bangladesh Agricultural University,2020,18(02):260-265.
- [12] Ferhat BADEMKIRAN, Arzu CİĞ, Nalan TÜRKOĞLU. The Effects of dosages of solid and liquid earthworm fertilizers on plant growth of daffodil (Narcissus cv. 'Royal Connection')[J]. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi,2018(04):11-15.
- [13] 王桂君,许振文,路倩倩. 生物炭对沙化土壤理化性质及作物幼苗的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(11):246-248.
- [14] 刘学才,陈玲,李胜奇,等. 施蚯蚓粪对日光温室土壤及番茄产量与品质的影响[J]. 应用生态学报,2021,32(02):549-556.
- [15] 李强,孙利鹏,亢福仁,等. 煤气化渣-沙土复配对毛乌素沙地苜蓿生长及重金属迁移的影响[C]//中国环境科学学会 2019 年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分论坛论文集(四),2019:590-595.
- [16] 刘娜,李强,孙利鹏,等. 增施养分对复配气渣-沙土的激发效应研究[J]. 榆林学院学报,2021,31(02):28-31.
- [17] 刘艳丽,李强,陈占飞,等. 煤气化渣特性分析、研究进展与展望[J/OL]. 煤炭科学技术:1-9[2021-11-29].
- [18] 赵亮,唐泽军,刘芳. 粉煤灰改良沙质土壤水分物理性质的室内试验[J]. 环境科学学报,2009,29(09):1951-1957.
- [19] 刘思源,苟婷睿,张红忠,等. 土壤含水率的插值计算及其精度分析[J]. 新疆环境保护,2021,43(03):33-38.
- [20] 杨桐桐,封莉,张立秋. 城市污泥堆肥产品施用对沙荒地土壤理化性质及高羊茅生长的影响[J]. 环境工程学报,2017,11(04):2462-2468.
- [21] 范非凡,李晓勤,程远盛. 土壤固有频率与孔隙度、含水率的关系研究[J]. 农机化研究,2021,43(01):169-175.
- [22] 王凤艳. 蚯蚓粪对土壤的影响[J]. 吉林农业,2005(10):25.