

复合微生物肥对碱土生物学性状与土壤肥力的影响

乌音嘎, 乌恩*, 吴澜, 闫志蕊

(内蒙古农业大学草原与资源环境学院, 内蒙古自治区土壤质量与养分资源重点实验室,
内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要:为探讨复合微生物肥对碱土的改良效果,对内蒙古农业大学海流图科技园区碱土试验地开展了施用复合微生物肥的田间试验,探讨了其对土壤生物学性状和土壤肥力的影响。结果表明:施用复合微生物肥处理较不施肥处理显著降低了耕层土壤 pH 和 EC 值,分别降低 0.32 ~ 0.88 个单位和 0.17 ~ 0.39 mS/cm;显著提高了土壤酶活性、微生物碳氮、有机质和速效养分含量,过氧化氢酶、脲酶、磷酸活性酶和蔗糖酶活性分别提高 62.90% ~ 158.06%、57.66% ~ 74.82%、38.89% ~ 69.44% 和 41.37% ~ 53.25%;土壤微生物碳、氮、碳氮比和微生物熵分别提高 71.41% ~ 82.36%、29.13% ~ 31.84%、30.16% ~ 37.13% 和 33.33% ~ 37.68%;土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量分别提高 22.48% ~ 35.19%、22.40% ~ 33.33%、104.04% ~ 132.97% 和 34.28% ~ 37.82%。施用复合微生物肥处理较习惯施肥处理降低了耕层土壤 pH 和 EC 值,分别降低 0.16 ~ 0.72 个单位和 0.06 ~ 0.28 mS/cm;显著提高了土壤酶活性、微生物碳氮、有机质和速效钾含量,土壤脲酶、磷酸活性酶和蔗糖酶活性分别提高 15.82% ~ 28.42%、21.95% ~ 48.78% 和 29.32% ~ 40.19%;土壤微生物碳、氮、碳氮比和微生物熵分别提高 37.07% ~ 45.82%、15.79% ~ 18.22%、26.27% ~ 33.03% 和 21.05% ~ 25%;土壤有机质和速效钾含量分别提高 10.40% ~ 21.85% 和 23.66% ~ 41.19%。以上结果表明,施用复合微生物肥能明显改善碱土的生物学性状,提高土壤肥力,不同施肥量梯度中,1500 kg/hm² 处理的综合效应最好。

关键词:复合微生物肥;碱土;生物学性状;土壤肥力

盐碱地的共性是有机质含量低,理化性状差,对作物有害的离子多,土壤肥力低,作物不易出苗,影响作物成长及产量,导致作物种植的利用价值受限制。在盐碱土中,土壤养分循环与土壤酶活性的生态特征密切相关。例如:土壤中微生物总量的减少会降低土壤酶活性的释放量,释放出来的土壤酶需要和土壤矿物质胶体结合,但地表植物稀少及土壤有机质含量低等原因,限制了胞外酶活性物质的有效吸附能力。再者,土壤溶液中较高的盐离子浓度会导致土壤酶活性在盐析作用下脱水失活等现象^[1]。盐碱地施用复合生物肥料后增加土壤有效钙的含量,同时微生物分解有机质产生的有机酸也能使土壤吸附的钙活化,加强了对土壤吸附性钠的置换作用,导致脱盐脱碱。在复合微生物肥作用下,盐碱地的有害离子含量和 pH 值

明显降低,土壤缓冲性能增加,提高了作物的耐盐碱性^[2]。

复合微生物肥是由特定微生物与营养物质复合而成,具有改良土壤,增加植物养分吸收,提高农产品产量或改善农产品品质等重要作用的活体微生物制品^[3]。有研究发现,复合微生物肥在农业生产中的增产效果一般在 0% ~ 5%^[4],可提高温室草莓单株产量最高达 0.52 kg/株^[5],并有效增加温室豇豆地上生物量^[6]。孙中涛等^[7]的研究表明,虽然施用单一微生物肥料可改善棉田土壤生态环境,提高土壤肥力,增加土壤有效磷、碱解氮和速效钾,但微生物肥料与有机肥混施效果更好。早期也有学者认为应在施加有机肥或化肥的同时施微生物肥料^[8]。Yao 等^[9]研究结果显示,施用微生物肥料可降低土层盐分含量,菌剂配施无机肥处理脱盐效果优于单施菌肥处理。可改善土壤微生态系统,增加微生物数量,主要可促进土壤细菌和放线菌的繁殖。李彰等^[6]研究了微生物菌肥对土壤物理性状的影响,结果发现微生物菌肥能明显改善土壤耕层的物理性状和生态环境,土壤相对含水量及土壤温度明

收稿日期: 2019-12-13; 录用日期: 2020-02-07

基金项目: 内蒙古自治区科技重大专项。

作者简介: 乌音嘎(1993-),女(蒙古族),内蒙古乌审旗人,在读硕士,研究方向为植物营养。E-mail: 1375621445@qq.com。

通讯作者: 乌恩, E-mail: wuen 2004@163.com。

显增加, 0 ~ 20 cm 耕层土壤容重显著降低。

本研究在内蒙古农业大学海流图科技园区碱土上, 以不施肥和习惯施肥为对照开展了施用复合微生物肥田间试验, 通过其对土壤 pH 及 EC 值、有机质、速效养分、酶活性和土壤微生物量碳氮的影响, 探讨了对碱土土壤改良效果, 为更好地改良利用碱土提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地设在内蒙古农业大学海流图科技园区, 位于内蒙古呼和浩特市土默特左旗北什轴乡海流村境内, 地理坐标为东经 111° 22' 30", 北纬 40° 41' 30"。该地区属中温带大陆性气候, 年平均气温为 5.8℃, 年平均降水量为 417.5 mm, 年平均蒸发量大约为 1800 mm^[10]。

1.2 试验地土壤

试验地土壤有机质含量较低, pH 值和碱化度相对较高, 属于碱土, 基本理化性状见表 1。

表 1 试验地土壤理化性状

土层 (cm)	pH 值	全盐量 (g/kg)	碱化度 (%)	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
0 ~ 30	9.51	2.39	34.05	3.82	21.23	10.23	72.99

1.3 供试肥料

供试肥料: 复合微生物肥 (总养分 N+P₂O₅+K₂O=8%、有效活菌数≥0.2 亿/g、有机质≥20%); 化肥为磷酸二铵 (总养分≥64.0%、N-P₂O₅-K₂O=18-46-0)、尿素 (总氮≥46%)。

1.4 试验设计与实施

试验地于 2017 年 4 月 25 日翻地, 5 月 9 日整地区划、施肥播种。试验采用随机区组设计, 设置对照 (CK)、当地习惯施肥 (CF) 和 3 个复合微生物肥处理 (CMF1、CMF2 和 CMF3), 4 次重复, 共 20 个小区, 小区面积 10 m × 5 m=50 m², 小区四周设置 0.3 m 田埂, 区组之间设置 1 m 宽作业道。玉米品种为伊单 52 号, 播种量 30 kg/hm², 播深 4 cm, 株距 25 cm, 行距 50 cm。复合微生物肥均作为基肥一次施用, 习惯施肥以磷酸二铵作基肥, 再追施尿素。6 月 24 日采用人工挖出深约 8 ~ 10 cm 施肥穴追施尿素并覆土, 各处理施肥量见表 2。5 月 10 日第 1 次漫灌, 6 月 10 日第 2 次漫灌。于 6 月 24 日和 7 月 13 日人工锄地两次。

表 2 试验设计

处理	施肥量
CMF1	单施复合微生物肥 750 kg/hm ² (低量)
CMF2	单施复合微生物肥 1125 kg/hm ² (中量)
CMF3	单施复合微生物肥 1500 kg/hm ² (高量)
CF	习惯施肥 (基施磷酸二铵 300 kg/hm ² + 追施尿素 300 kg/hm ²)
CK	不施肥

1.5 测定项目与方法

1.5.1 土壤样品采集与处理

在玉米收获期 (9 月底), 从每个处理小区采集 0 ~ 20 cm 的混合土壤样品, 分装于经灭菌的密封袋, 风干、磨碎和过筛后, 进行土壤酶活性及养分含量的测定分析。取混合土样的一部分装入密封袋, 保存于 4℃干冰中, 并带回实验室, 用于微生物碳氮测定。

1.5.2 土壤化学性状的测定

土壤 pH 值采用电位法测定; 土壤 EC 值采用电导率测定仪 (土水比=1:5)。

1.5.3 土壤生物学性状的测定

土壤酶活性的测定: 本研究测定了土壤过氧化氢酶、脲酶、磷酸活性酶和蔗糖酶, 分别采用高锰酸钾滴定法、苯酚-次氯酸钠比色法、磷酸苯二钠比色法和 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定^[11]。土壤微生物量碳、氮的测定: 土壤微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸浸提法测定^[11]。土壤有机碳测定采用重铬酸钾容量法-外加热法测定^[12]。土壤微生物熵由下式计算: 土壤微生物熵=土壤微生物量碳/土壤有机碳。

1.5.4 土壤养分的测定

土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾分别采用重铬酸钾容量法、碱解扩散法、钼锑抗比色法和火焰光度法测定^[12]。

1.6 数据分析

数据用 Excel 2010 整理, 用 SAS 9.0 进行 One Way ANOVA 方差分析, 比较不同处理间的差异显著性, 用简单相关分析评价各因子间的相关关系。

2 结果与分析

2.1 复合微生物肥对土壤主要化学性状的影响

不同处理土壤 pH 和 EC 值见图 1。在 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 土层中, CMF1、CMF2、CMF3 的土壤 pH 值显著低于 CF, 分别比 CF 低 0.3、0.43、0.7 和 0.47、0.52、0.87 个单位; 比 CK 显著低 0.4、0.53、0.8 和 0.47、0.52、0.87 个单位。0 ~ 20 cm 土层中, CMF3 的土壤 pH 值显著低于 CF 和 CK, 分别比 CF 和 CK 下降 0.72 和 0.88 个单位。在 0 ~ 10 cm 土层中, CMF1、

CMF2 和 CMF3 的土壤 EC 值显著低于 CK, 比 CK 下降 0.21、0.25 和 0.26 mS/cm; 在 10 ~ 20 cm 土层中, CMF1、CMF2、CMF3 的土壤 EC 值显著低于 CF, 比 CF 下降 0.25、0.26、0.28 mS/cm, 与 CK 相比, 下降 0.3、0.31、0.33 mS/cm。在 0 ~ 20 cm 土层中, CMF1、CMF2、CMF3 的土壤 EC 值显著低于 CK, 比 CK 下降 0.17、0.34、0.39 mS/cm; CMF2 和 CMF3 的土壤 EC 值显著低于 CF, 比 CF 下降 0.23、0.28 mS/cm。以上结果表明, 碱土土壤 pH 和 EC 值随复合微生物肥投入增加而减小。

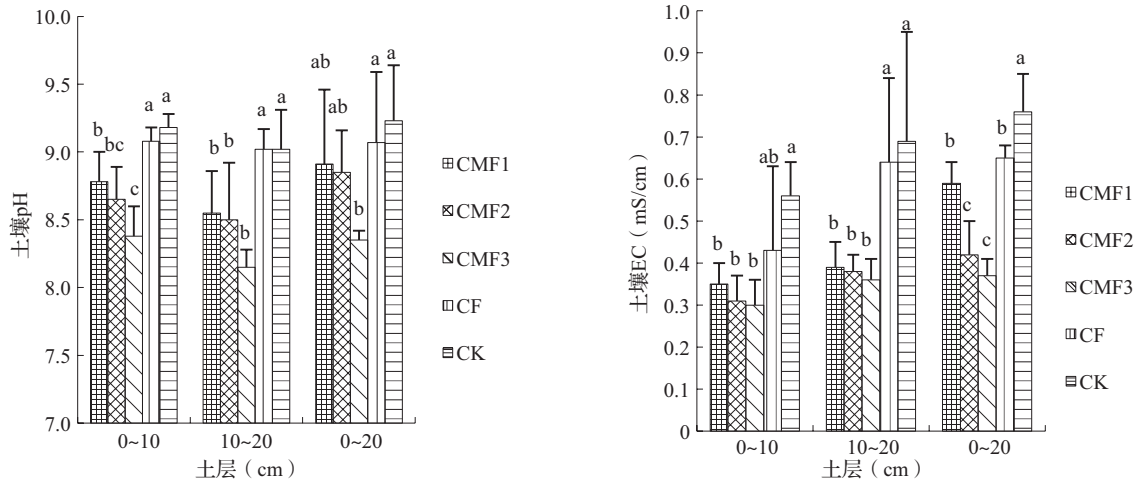


图 1 不同处理土壤 pH 和 EC 值

注: 同一土层图柱上字母不同表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 复合微生物肥对土壤有机质及速效养分的影响

不同处理土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾见表 3。CMF1、CMF2 和 CMF3 的土壤有机质显著高于 CK, 分别比 CK 高 22.48%、27.11% 和 35.19%, CMF1、CMF2 和 CMF3 的土壤有机质显著高于 CF, 分别比 CF 高 10.40%、14.57% 和 21.85%。CF 的土壤有机质与 CK 无显著差异。CMF1、CMF2 和 CMF3 的土壤碱解氮显著高于 CK, 分别比 CK 高 22.40%、28.31% 和 33.33%, CMF1、CMF2 和 CMF3 的土壤碱

解氮与 CF 无显著差异。CMF1、CMF2 和 CMF3 的土壤有效磷显著高于 CK, 分别比 CK 高 104.04%、113.84% 和 132.97%, CMF3 的土壤有效磷显著高于 CF, 比 CF 高 41.19%, CMF1 和 CMF2 的土壤有效磷与 CF 无显著差异。CMF1、CMF2、CMF3 的土壤速效钾显著高于 CF 和 CK, 分别比 CF 和 CK 高 34.28%、34.92%、37.82% 和 12.24%、12.78%、15.20%。说明碱土应用复合微生物肥后, 明显提高了土壤养分的有效性。

表 3 不同处理土壤有机质和有效养分及其差异显著性

处理	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CMF1	16.67 ± 0.24b	88.13 ± 5.73a	13.12 ± 1.37ab	112.63 ± 3.59a
CMF2	17.30 ± 1.10ab	92.38 ± 0.48a	13.75 ± 0.62ab	113.17 ± 2.53a
CMF3	18.40 ± 1.22a	96.00 ± 13.40a	14.98 ± 3.59a	115.60 ± 3.30a
CF	15.10 ± 0.66c	83.75 ± 3.50ab	10.61 ± 3.54b	100.35 ± 3.82b
CK	13.61 ± 1.41c	72.00 ± 10.30b	6.43 ± 0.47c	83.88 ± 13.11c

注: 表中数值为平均值 ± 标准差。同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.3 复合微生物肥对土壤酶活性的影响

不同处理土壤过氧化氢酶、脲酶、磷酸活性酶和蔗糖酶见表4。

表4 不同处理土壤酶活性及其差异显著性

处理	过氧化氢酶 (mL/g)	脲酶 (mg/g)	磷酸活性酶 (mg/g)	蔗糖酶 (mg/g)
CMF1	1.01 ± 0.19ab	4.32 ± 0.24b	0.50 ± 0.05b	26.55 ± 0.38b
CMF2	1.17 ± 0.33ab	4.74 ± 0.15a	0.59 ± 0.02a	28.48 ± 0.94a
CMF3	1.60 ± 0.42a	4.79 ± 0.31a	0.61 ± 0.50a	28.78 ± 2.39a
CF	0.72 ± 0.47b	3.73 ± 0.34c	0.41 ± 0.08c	20.53 ± 0.73c
CK	0.62 ± 0.87b	2.74 ± 0.38d	0.36 ± 0.02c	18.78 ± 0.70c

CMF3的过氧化氢酶显著高于CF和CK,比CF和CK高122.22%和158.06%,CMF1和CMF2的过氧化氢酶与CK无显著差异;CMF1和CMF2的过氧化氢酶与CF无显著差异;CF的过氧化氢酶与CK无显著差异。CMF1、CMF2、CMF3的脲酶显著高于CF和CK,分别比CF和CK高15.82%、27.08%、28.42%和57.54%、72.99%、74.82%,CF比CK高36.13%。CMF1、CMF2、CMF3的磷酸活性酶显著高于CF和CK,分别比CF和CK高21.95%、43.90%、48.78%和38.89%、63.89%、69.44%;CF的磷酸活性酶与CK无显著差异。CMF1、CMF2、CMF3的蔗糖酶显著高于CF和CK,分别比CF和CK高29.32%、38.72%、40.19%和41.38%、51.65%、53.25%,CF的蔗糖酶与CK无显著差异。说明复合微生物肥能增加土壤酶活性。

2.4 复合微生物肥对土壤微生物量碳、氮的影响

不同处理土壤微生物量碳、氮见表5。

表5 不同处理土壤微生物量碳、氮及其差异显著性

处理	微生物量碳 (μg/g)	微生物量氮 (μg/g)	微生物量碳/氮
CMF1	915.04 ± 43.84a	94.24 ± 2.22a	9.71 ± 0.57a
CMF2	932.29 ± 26.43a	95.30 ± 10.25a	9.87 ± 1.13a
CMF3	973.45 ± 63.80a	96.22 ± 12.95a	10.23 ± 1.28a
CF	667.59 ± 16.69b	81.39 ± 1.53b	8.20 ± 0.31b
CK	533.81 ± 66.19c	72.98 ± 4.20b	7.38 ± 1.04b

CMF1、CMF2、CMF3和CF的微生物量碳显著高于CK,比CK高71.41%、74.65%、82.36%和

25.06%,CMF1、CMF2和CMF3的微生物量氮显著高于CF,比CF高37.07%、39.65%和45.82%。CMF1、CMF2、CMF3的微生物量氮显著高于CF和CK,分别比CF和CK高15.79%、17.09%、18.22%和29.13%、30.58%、31.84%。CMF1、CMF2、CMF3的微生物量碳/氮显著高于CF和CK,分别比CF和CK高26.40%、28.35%、33.03%和30.29%、32.31%、37.13%。说明土壤微生物量碳、氮随复合微生物肥施用量的增加而增加。

2.5 复合微生物肥对土壤微生物熵的影响

不同处理土壤微生物熵见图2。

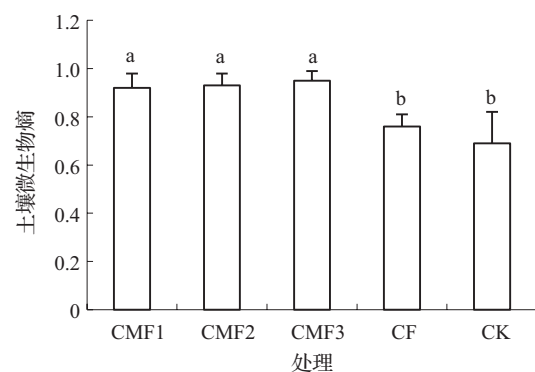


图2 不同处理的土壤微生物熵

注:不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

不同处理间土壤微生物熵有显著性差异大小依次为:CMF3>CMF2>CMF1>CF>CK,其中CMF1、CMF2、CMF3的土壤微生物熵显著高于CF和CK,分别比CF和CK高33.33%、34.78%、37.68和21.05%、22.37%、25.00%。而CF与CK差异不显著。

2.6 土壤养分与土壤微生物量碳、氮之间的相关性

土壤养分与微生物量碳、氮之间的相关性见表6。

表6 土壤养分与土壤微生物量碳、氮之间的相关性

指标	微生物量碳/氮	微生物量碳	微生物量氮
土壤有机质	0.98**	0.97**	0.96**
土壤碱解氮含量	0.96*	0.95*	0.95*
土壤有效磷含量	0.98**	0.97**	0.98**
土壤速效钾含量	0.98**	0.98**	0.99**

注:**表示在0.01水平上显著,*表示在0.05水平上显著。下同。

土壤微生物量碳、氮,土壤微生物量碳/氮。与土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾均存在显著或极显著正相关关系。

3 讨论

3.1 复合微生物肥对土壤化学性状的影响

有大量研究证明, 施入微生物肥对土壤理化性质有显著的影响, 但不同研究由于施入微生物肥料种类及试验地生境的不同, 结果有很大差异^[13]。有研究表明, 落叶松人工林和松嫩平原盐碱地造林土壤施入微生物肥料会降低土壤 pH 值^[14-15], 但也有研究发现, 在高寒草甸草原施入微生物肥料会显著提高土壤 pH 值^[16]。本试验结果显示, 碱土耕层土壤 pH 值在复合微生物肥处理组与对照和习惯施肥相比显著降低。这说明了复合微生物肥对土壤盐碱性有缓冲作用, 并促使降低土壤 pH 值。本研究得出, 随着施肥量加大, 0 ~ 20 cm 土层的土壤电导率在复合微生物肥处理组与习惯施肥和对照相比显著降低。这与刘军辉^[17]的研究结果一致, 刘军辉在河北省西南部开展了复合微生物制剂对盐碱地土壤修复的试验, 连续施用了 3 年的复合微生物制剂后, 土壤电导率比对照降低了 90%。说明施用复合微生物肥对碱土改良效果很明显。

3.2 复合微生物肥对土壤生物学性状的影响

土壤酶是土壤有机质分解、土壤养分转化和循环的驱动力, 是土壤质量和生态稳定性的重要指标^[18], 不但影响土壤养分有效性, 还影响作物的生长发育和根系活力水平^[7]。本研究发现, 不同用量的复合微生物肥处理显著提高了土壤过氧化氢酶、脲酶、磷酸活性酶和蔗糖酶活性。随着复合微生物肥施用量的增加, 土壤有益微生物数量随之提高, 并通过它们的活动及生殖代谢, 提高了土壤酶活性。这与宋以玲等^[19]、徐双等^[11]和杨瑒等^[20]的研究结果一致。宋以玲等^[19]研究的复合微生物料替代部分复合肥对土壤微生物和理化性质的影响结果得出, 不同比例的复合微生物肥替代复合肥显著提高了土壤过氧化氢酶、中性磷酸酶和蔗糖酶活性。徐双等^[11]在黄河三角洲滨海盐碱地上, 研究了不同施肥处理对土壤微生物和酶活性的影响。结果表明, 和农民传统施肥相比, 使用生物菌肥能够有效提高棉花花铃期土壤酶活性, 脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性分别提高 49.7%、414.4% 和 22.8%。杨瑒等^[20]在针对东北寒区盐碱地的研究发现, 施氮量的增加可以提高盐碱地土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性, 且 4 种酶活性在马铃薯不同发育时期的变化趋势存在差异。土壤微生物量碳和氮含量可作为土壤微生物量大小的指标, 土壤微生物量碳和氮含量越高, 土壤微

生物量越大^[21]。本研究发现, 施用复合微生物肥可提高土壤微生物量碳和氮含量, 且随复合微生物肥施肥量的增加, 土壤微生物量碳氮含量均呈增加趋势, 这可能是复合微生物肥中含有丰富有机质和营养元素为土壤微生物活动提供了能量和动力, 从而改善了土壤微生物种群^[22], 增加了土壤微生物量, 使土壤微生物量碳氮含量提高。这与薛莲等^[23]和闫瑞瑞等^[24]的研究结果一致。土壤微生物熵可以充分反映土壤中活性有机碳所占的比例, 从微生物学角度揭示土壤肥力的差异, 由于土壤微生物量碳周转快, 所以微生物熵值越大, 土壤有机碳周转越快^[25]。有研究表明, 土壤微生物熵值一般为 1% ~ 4%^[26], 因为土壤类型、管理措施、分析方法和采样时间等差异, 微生物熵的范围扩大为 0.27% ~ 7.0%^[27]。在本研究中, 各施肥处理的碱土土壤微生物熵变化范围为 0.58% ~ 1.06%, 与前人的研究范围相一致。表明复合微生物肥能够有效地提升土壤酶活性, 同时增加土壤肥力, 达到改良碱土的效果。

3.3 复合微生物肥对土壤养分的影响

很多研究表明, 施入微生物肥料可以促进土壤有机质的合成^[14-17], 提高土壤有效磷含量^[15-18]。有研究结果显示, 棉田、山药及桃园土壤、温室大棚和盐碱地施加微生物肥料后, 土壤有机质含量增加, 促进了土壤有效磷的形成^[14-16, 28], 土壤碱解氮和速效钾含量增加^[7]。本研究得出, 复合微生物处理组的土壤有机质高于对照, 这可能是施用复合微生物肥可抑制土壤积盐, 促使土壤养分含量和土壤微环境发生变化, 改善土壤微生态系统, 增强土壤肥力。这与单玉梅等^[29]研究结果一致, 其研究复合微生物肥对科尔沁区天然打草场土壤理化性质的影响中, 施加微生物肥料后, 土壤有机质含量有增加的趋势。从土壤有效磷的测定数据可以看出, 复合微生物肥高量施肥水平能较好地增加土壤有效磷含量, 其效果远优于习惯施肥。这与陈哲等^[18]研究结果一致, 其在研究长期施用复合微生物肥对农田土壤速效养分的影响中, 不同施肥处理土壤有效磷含量由高到低的顺序为: 复合微生物肥 > 化肥 > 对照。复合微生物肥处理组的土壤速效钾和碱解氮含量相等或超过了习惯施肥和对照, 这说明了习惯施肥增加土壤速效钾含量的效果不如复合微生物肥。并且碱土施加复合微生物肥后, 增加了土壤速效钾和碱解氮含量, 这与孙中涛等^[7]研究结果一致, 其在研究微生物肥料对棉田土壤生态与棉花生长的影响中, 棉田土壤里施微生物肥料可以提高土壤碱解氮和速效钾含量。

土壤微生物量碳含量与土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾之间均存在显著或极显著正相关关系。这与徐阳春等^[30]和胡诚等^[31]的研究结果一致。徐阳春等^[30]在长期免耕及施用有机肥料对土壤微生物生物量碳、氮及磷的影响中得出了土壤微生物生物量碳与土壤有机碳和碱解氮均呈极显著正相关;胡诚等^[31]在长期施用生物有机肥对土壤影响试验中得出土壤微生物生物量碳与速效钾含量呈显著正相关。土壤微生物量氮含量与土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾均存在显著正相关关系。这与徐阳春等^[30]的研究结果一致,他指出土壤微生物生物量氮与土壤有机质、有效磷、速效钾和碱解氮呈极显著正相关。表明土壤微生物量碳氮与土壤养分有紧密相关性,可作为评价土壤质量的生物学指标。

4 结论

复合微生物肥的施入有效降低碱土土壤 pH 和 EC 值。其中复合微生物肥处理组的高施肥量对土壤 pH 值降低幅度最大。在 0 ~ 10 cm 土层中,低量、中量和高量的土壤 pH 值分别较不施肥显著降低了 0.4、0.53 和 0.8 个单位;低量、中量和高量的土壤 EC 值分别较不施肥显著降低了 0.21、0.25 和 0.26 mS/cm;在 10 ~ 20 cm 土层中,低量、中量和高量的土壤 pH 值分别较不施肥显著降低了 0.47、0.52 和 0.87 个单位。低量、中量和高量的土壤 EC 值分别较不施肥显著降低了 0.25、0.26 和 0.28 mS/cm。

施用复合微生物肥能提高土壤酶活性,与不施肥相比分别提高土壤过氧化氢酶、脲酶、磷酸活性酶和蔗糖酶 62.90% ~ 158.06%、57.66% ~ 74.82%、38.89% ~ 69.44% 和 41.37% ~ 53.25%;与习惯施肥相比分别提高 40.28% ~ 122.22%、15.82% ~ 28.42%、21.95% ~ 48.78% 和 29.32% ~ 40.19%。施用复合微生物肥能提高土壤微生物量碳、氮、碳/氮和熵,与不施肥相比分别提高 71.41% ~ 82.36%、29.13% ~ 31.84%、30.16% ~ 37.13% 和 33.33% ~ 37.68%;与习惯施肥相比分别提高 37.07% ~ 45.82%、15.79% ~ 18.22%、26.27% ~ 33.03% 和 21.05% ~ 25%。

复合微生物肥和习惯施肥可提高土壤有机质及速效养分含量。复合微生物肥处理的土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量分别比不施肥显著增加了 22.48% ~ 35.19%、22.40% ~ 33.33%、104.04% ~ 132.97% 和 34.28% ~ 37.82%。

复合微生物肥处理组的土壤有机质和速效钾含量分别比习惯施肥显著增加了 10.40% ~ 21.85% 和 12.24% ~ 15.20%。

土壤微生物量碳氮与土壤有机质和速效养分之间具有正相关关系,表明土壤微生物量碳氮可以作为判断土壤肥力状况的生物学指标。

致谢:南京农业大学提供了复合微生物肥,特此致谢!

参考文献:

- [1] Garcia C, Hernandez T, Costa F. Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils [J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 1997, 28 (1-2): 123-134.
- [2] 关菁,史利平. 复合微生物肥和生物有机肥对不同土壤改良作用的机理探究 [J]. 现代农业, 2016 (1): 28.
- [3] Owamah H I, Dahunsi S O, Oranusi U S, et al. Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta [J]. Waste Management, 2014, 34 (4): 747-752.
- [4] 杨鹤同,徐超,赵桂华,等. 微生物肥料在农林业上的应用 [J]. 安徽农业科学, 2014, 42 (29): 10078-10080, 10082.
- [5] Pesakovic M, Karaklajic-Stajic Z, Milenkovic S, et al. Biofertilizer affecting yield related characteristics of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) and soil micro-organisms [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 150: 238-243.
- [6] 李彰,熊瑛,吕强,等. 微生物土壤改良剂对烟草生长及耕层环境的影响 [J]. 河南农业科学, 2010 (9): 56-60.
- [7] 孙中涛,姚良同,孙凤鸣,等. 微生物肥料对棉田土壤生态与棉花生长的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2005, 13 (3): 54-56.
- [8] 王宝档,黄寿煦,苏苗富,等. 微生物肥料对土壤肥力的影响 [J]. 长江蔬菜, 2003 (11): 28.
- [9] Yao X H, Min H, Lu Z H, et al. Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration [J]. European Journal of Soil Biology, 2006, 42: 120-126.
- [10] 景宇鹏,李跃进,年佳乐,等. 土默川平原不同盐渍化程度土壤微生物生态特征研究 [J]. 生态环境学报, 2013, 22 (7): 1153-1159.
- [11] 徐双,柳新伟,崔德杰,等. 不同施肥处理对滨海盐碱地棉花生长和土壤微生物及酶活性的影响 [J]. 水土保持学报, 2015, 29 (6): 316-320.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农化出版社, 2016.
- [13] 卢慧,丛静,刘晓,等. 三江源区高寒草甸植物多样性的海拔分布格局 [J]. 草业学报, 2015, 24 (7): 197-204.
- [14] 宋玉珍. 微生物肥料在松嫩平原盐碱地造林中的应用研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [15] 罗玉兰,田龚,张冬梅,等. 微生物菌剂对连栋大棚土壤养分及硝态氮累积的影响 [J]. 中国农学通报, 2015, 31 (13): 224-228.
- [16] 范洁群,褚长彬,吴淑杭,等. 不同微生物菌肥对桃园土壤

- 微生物活性和果实品质的影响[J]. 上海农业学报, 2013, 29(1): 51-54.
- [17] 刘军辉. 复合微生物制剂对盐碱地土壤修复效果研究[J]. 河北林业科技, 2016(3): 43-45.
- [18] 陈哲, 赵永锋, 张建岭. 长期施用复合微生物肥对农田土壤速效养分的影响[J]. 现代农业科技, 2014(19): 241, 245.
- [19] 宋以玲, 马学文, 于建, 等. 复合微生物肥替代部分复合肥对花生生长及根际土壤微生物和理化性质的影响[J]. 山东科学, 2019, 32(1): 38-45, 123.
- [20] 杨场, 靳学慧, 周燕, 等. 施氮量对寒区盐碱地马铃薯生育期土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014(3): 32-37.
- [21] Tejada M, Garcia C, Gonzalez J L, et al. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38: 1413-1421.
- [22] Tripathi S, Chakraborty A, Chakraborty K, et al. Enzyme activities and microbial biomass in coastal soils of India[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(11): 2840-2848.
- [23] 薛莲, 李登飞, 井彩巧, 等. 微生物肥料对松花菜产量及土壤微生物量碳氮含量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2016(7): 22-24.
- [24] 闫瑞瑞, 卫智军, 乌仁其其格, 等. 微生物肥料对呼伦贝尔打孔羊草草甸草原土壤微生物及酶活性的影响研究[J]. 生态环境学报, 2017, 26(4): 597-604.
- [25] Yan D R. Study of plantation soil humus character and soil enzyme activity[J]. Forestry Science & Technology, 1997, 22(5): 10-12.
- [26] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1985, 17(6): 837-842.
- [27] Omay A B, Rice C W, Maddux L D, et al. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61(6): 1672-1678.
- [28] 王文庆, 史清亮, 白建军, 等. 微生物肥料对山药土壤生态特征及病情指数的影响[J]. 山西农业科学, 2010, 38(12): 37-39, 56.
- [29] 单玉梅, 温超, 陈海军, 等. 复合微生物肥料对科尔沁区天然打草场土壤理化性质的影响[J]. 北方农业学报, 2017, 45(2): 54-57.
- [30] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报, 2002(1): 83-90.
- [31] 胡诚, 曹志平, 罗艳蕊, 等. 长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物生物量碳的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007(3): 48-51.

Effects of compound microbial fertilizers on biological properties and available nutrients of alkaline soil

WU Yin-ga, WU En*, WU Lan, YAN Zhi-rui (College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Inner Mongolia Key Laboratory of Soil Quality and Nutrient Resource, Huhhot Inner Mongolia 010018)

Abstract: In order to explore the improvement effect of compound microbial fertilizer on alkaline soil, a field test of applying compound microbial fertilizer on the alkaline soil was carried out at the test site of Hailiutu Science and Technology Park, Inner Mongolia Agricultural University, and its effects on soil biological characteristics and soil fertility were discussed. The results showed that the application of the compound microbial fertilizer treatment significantly reduced the pH and EC values of the ploughed layer soil, which decreased by 0.32 ~ 0.88 units and 0.17 ~ 0.39 mS/cm, respectively. The soil enzyme activity, microbial carbon and nitrogen, organic matter, and fast-acting nutrient content were significantly improved. Catalase, urease, phosphatase active enzyme and sucrase activity increased by 62.90% ~ 158.06%, 57.66% ~ 74.82%, 38.89% ~ 69.44% and 41.37% ~ 53.25%. Soil microbial carbon, nitrogen, carbon-nitrogen ratio and microbial entropy increased by 71.41% ~ 82.36%, 29.13% ~ 31.84%, 30.16% ~ 37.13% and 33.33% ~ 37.68%, respectively. Soil organic matter, alkaline nitrogen, available phosphorus and available potassium content increased by 22.48% ~ 35.19%, 22.40% ~ 33.33%, 104.04% ~ 132.97% and 34.28% ~ 37.82%. Compared with the conventional fertilization treatment, the application of compound microbial fertilizer treatment reduced the pH and EC values of the cultivated layer soil by 0.16 ~ 0.72 units and 0.06 ~ 0.28 mS/cm, respectively; significantly increased soil enzyme activity, microbial carbon and nitrogen, organic matter, and available potassium content; Soil urease, phosphatase active enzyme and sucrase activity increased by 15.82% ~ 28.42%, 21.95% ~ 48.78% and 29.32% ~ 40.19%, respectively; soil microbial carbon, nitrogen, carbon-nitrogen ratio and microbial entropy increased by 37.07% ~ 45.82%, 15.79% ~ 18.22%, 26.27% ~ 33.03% and 21.05% ~ 25%; soil organic matter and available potassium content increased by 10.40% ~ 21.85% and 23.66% ~ 41.19%, respectively. The above results show that the application of composite microbial fertilizer can obviously improve the biological properties of alkaline soil and soil fertility. Among different gradients of fertilizer application, the comprehensive effect of 1500 kg/hm² treatment is the best.

Key words: compound microbial fertilizer; alkaline soil; biological characteristics; soil fertility