

生物活性肥配方筛选及其对土壤理化性质和玉米经济效益的影响

张春梅¹, 赵静¹, 闫治斌², 秦嘉海¹, 肖占文¹, 王爱勤³

(1. 河西学院 农业与生物技术学院, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃敦煌种业股份有限公司, 甘肃 酒泉 735000; 3. 中国科学院 兰州化学物理研究所, 甘肃 兰州 731000)

摘要: 选择甘肃省河西走廊淡漠土区连续种植制种玉米 12 a 的试验地, 采用田间试验方法, 研究了生物活性肥配方的筛选及其对土壤理化性质和玉米经济效益的影响。结果表明, 生物活性肥配方最佳组合为: 功能性改土剂 0.12 t, 生物菌肥 0.09 t, 多元复混肥 1.20 t。生物活性肥施用量与土壤总孔隙度、团聚体、持水量、玉米植物学性状、经济性状和产量呈显著的正相关关系, 与土壤容重、pH 值呈显著的负相关关系。经回归统计分析, 生物活性肥施用量与玉米产量间的肥料效应可用二次函数拟合, 经济效益最佳施用量为 1.80 t/hm², 玉米的理论产量为 6 597.24 kg/hm²。

关键词: 生物活性肥; 理化性质; 玉米; 经济效益

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)06-0043-06

中图分类号: S152.4⁺⁵

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.015

Formula Screening of Bioactive Fertilizer and Effects of Fertilizer on Physical and Chemical Properties of Soil and Economic Benefits of Maize

ZHANG Chun-mei¹, ZHAO Jing¹, YAN Zhi-bin², QIN Jia-hai¹, XIAO Zhan-wen¹, WANG Ai-qin³

(1. College of Agriculture and Biology Technology, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China; 2. Gansu Dunhuang Seed Company, Jiuquan, Gansu 735000, China; 3. Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 731000, China)

Abstract: The formula of bioactive fertilizer and its effects on the physical and chemical properties of soil and economic benefits of maize was studied using field test in the Hexi Corridor light irrigation desert soil of Gansu Province. The results showed that the optimum proportion of biological active fertilizer was as follows: functional improving soil agent was 0.12 tons, bacterial manure was 0.09 tons, and biological active fertilizer was 1.20 tons. There was a positive correlation between fertilization quantity and soil porosity, aggregate structure, water contents, saturated water content, botanical traits, the economic characters and yields of maize. In addition, There was a negative correlation between fertilization quantity and bulk density, pH value. According to regression analysis, the optimal economical application rate was 1.8 t/hm², and the theoretical yield was 6 597.24 kg/hm².

Keywords: bioactive fertilizer; physical and chemical properties; maize; economic benefits

甘肃省河西走廊地区拥有耕地面积 6.74×10^5 hm², 日照时间 3 000~3 400 h, 年均温度 7.0~7.5 °C, ≥ 10 °C 的积温为 2 400~2 800 °C, 年降水量 80~250 mm, 年蒸发量 1 800~2 500 mm^[1], 海拔 1 400~1 650 m。近 10 a 来吸引了国内外制种企业建立了杂交玉米制种基地 1.00×10^5 hm², 年生产玉米种子 6.5×10^8 kg, 成为全国最大的玉米种子生产基地^[2]。

由于制种玉米种植面积大, 不利于轮作倒茬, 连作年限长, 土壤养分比例失衡, 根系生长过程中分泌的有毒有害物质的积累, 玉米产量和品质下降^[3]。长期大量施用化肥, 导致土壤板结, 容重增大, 孔隙度降低^[4]; 长期施用磷酸氢二胺, 磷酸氢二胺中的磷酸根离子与河西石灰性土壤中的 Ca²⁺ 结合, 降低了磷的利用率^[5]; 化肥氮磷投入量与有机肥氮磷投入量之比为

收稿日期: 2013-11-27

修回日期: 2014-01-03

资助项目: 国家科技部科技支撑计划项目“农作物新品种规模化测试体系及基地建设”(2011BAD35B10); 甘肃省高校河西走廊特色资源利用省级重点实验室项目(XZ1002); 甘肃省高等学校 2010 年研究生导师科研项目(1009B-05)

作者简介: 张春梅(1978—), 女(汉族), 甘肃省酒泉市人, 博士, 副教授, 主要从事植物营养生理研究。E-mail: zagem197828@163.com。

通信作者: 秦嘉海(1954—), 男(汉族), 甘肃省张掖市人, 教授, 主要从事植物营养生理研究。E-mail: qinjiahai123@163.com。

1 : 0.28, 导致施肥成本高, 经调查每生产 7.50 t/hm² 玉米种子, 尿素投入量为 0.90 t/hm², 磷酸氢二胺投入量为 0.45 t/hm², 施肥成本为 3 600 元/hm²[6]; 市场上流通的复混肥有效成分和比例不符合杂交玉米对养分的吸收比例, 且不具备保水、改土、抗重茬功能, 导致制种玉米品质和产量下降, 给制种企业、农户带来了严重的经济损失。近年来, 有关复合肥研究受到了广泛关注^[7-11], 而制种玉米生物活性肥的研发未见文献报道。本研究采用作物营养平衡施肥理论和改土培肥理论, 将自主研发的功能性改土剂、生物菌肥、多元复混肥融为一体, 合成生物活性肥, 解决传统复混肥只具备营养, 不具备改土、保水、抗重茬的瓶颈问题, 为河西走廊制种玉米合理施肥提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2010—2013 年在甘肃省张掖市甘州区甘俊镇晨光村连续种植制种玉米 12 a 的基地上进行, 试验地海拔高度为 1 600 m, 年均温 7.2 °C, 年均降水量 106 mm, 年均蒸发量 1 900 mm, 无霜期 160 d, 土壤类型是淡灌漠土, 0—20 cm 耕作层有机质含量为 18.31 g/kg, 碱解氮为 67.24 mg/kg, 速效磷为 9.68 mg/kg, 速效钾为 148.40 mg/kg, pH 值 8.33, 土壤质地为轻壤质土, 前茬作物是制种玉米。

1.2 试验材料

尿素, 粒径 2~3 mm, 含氮 46%, 甘肃省刘家峡化工厂产品; 磷酸氢二胺, 粒径 2~5 mm, 含氮 18%, 五氧化二磷 46%, 云南省云天化国际化工股份有限公司产品; ZnSO₄ · 7H₂O, 粒径 1~2 mm, 甘肃省刘家峡化工厂产品; 钼酸铵含钼 50%, 粒径 1~2 mm, 郑州市裕达化工原料有限公司产品; 生物菌肥, 有效活菌数 ≥ 20 亿个/g, 粒径 1~2 mm, 华远丰农生物科技有限公司产品; 多元复混肥(甘肃省河西学院农业与生物技术学院自主配制), 将尿素、磷酸氢二胺、七水硫酸锌、钼酸铵重量比按 569 : 391 : 30 : 10 混合, 含氮 33%, 五氧化二磷 18%, 锌 0.69%, 钼 0.50%; 功能性改土剂(甘肃省河西学院农业与生物技术学院自主研发), 将聚乙稀醇、柠檬酸、保水剂重量比按 0.307 1 : 0.230 9 : 0.462 0 混合; 生物活性肥(甘肃省河西学院农业与生物技术学院自主研发), 将功能性改土剂、生物菌肥、多元复混肥重量比按 0.085 1 : 0.063 8 : 0.851 1 混合, 含氮 9.14%, 五氧化二磷 15.84%, 锌 0.61%, 钼 0.44%; 玉米品系为吉祥一号, 由甘肃省敦煌种业股份有限公司提供。

1.3 试验方法

1.3.1 试验处理

(1) 试验 1。生物活性肥配方筛选。2010 年选择功能性改土剂、生物菌肥、多元复混肥为 3 个因素, 每个因素设计 3 个水平, 按正交表 L₉(3³) 设计 9 种生物活性肥配方(表 1), 称取各种材料混合, 在玉米播种前做底肥施入 20 cm 土层, 每个试验小区单独收获, 折算小区产量(hm²), 计算因素间的效应(R)和各因素不同水平的 T 值, 组成生物活性肥配方。

表 1 L₉(3³) 正交试验设计

| 试验处理 | A(功能性改土剂) | B(生物菌肥) | C(多元复混肥) |
|--|-----------|---------|----------|
| 1 = A ₂ B ₃ C ₁ | 2(0.24) | 3(0.27) | 1(0.60) |
| 2 = A ₁ B ₂ C ₃ | 1(0.12) | 2(0.18) | 3(1.80) |
| 3 = A ₃ B ₁ C ₂ | 3(0.36) | 1(0.09) | 2(1.20) |
| 4 = A ₁ B ₃ C ₂ | 1(0.12) | 3(0.27) | 2(1.20) |
| 5 = A ₃ B ₂ C ₃ | 3(0.36) | 2(0.18) | 3(1.80) |
| 6 = A ₂ B ₁ C ₁ | 2(0.24) | 1(0.09) | 1(0.60) |
| 7 = A ₂ B ₃ C ₃ | 2(0.24) | 3(0.27) | 3(1.80) |
| 8 = A ₃ B ₂ C ₁ | 3(0.36) | 2(0.18) | 1(0.60) |
| 9 = A ₁ B ₁ C ₂ | 1(0.12) | 1(0.09) | 2(1.20) |

注: 括号内数据为试验数据(t/hm²), 括号外数据为正交试验水平代码值。

(2) 试验 2。生物活性肥经济效益最佳施用量的确定。2011—2013 年按照试验 1 筛选的生物活性肥配方比例, 将功能性改土剂、生物菌肥、多元复混肥重量比按 0.085 1 : 0.063 8 : 0.851 1 混合得到生物活性肥, 生物活性肥施用量梯度设计为对照(不施肥), 0.45, 0.90, 1.35, 1.80, 2.25, 2.70 t/hm² 共 7 个处理, 以处理 1 为对照, 每个试验处理重复 3 次, 随机区组排列。

(3) 试验 3。生物活性肥与传统化肥的肥效比较。2011—2013 年在纯氮、五氧化二磷投入量相等的条件下[纯氮(437.10 kg/hm²) + 五氧化二磷(237.60 kg/hm²)]。试验共设计 3 个处理: 处理 1: 对照(不施肥); 处理 2: 传统化肥, 尿素施用量 748.05 kg/hm² + 磷酸氢二铵施用量 516.45 kg/hm²; 处理 3: 生物活性肥, 施用量为 1 500 kg/hm²。

1.3.2 种植方法 小区面积为 32 m²(4 m × 8 m), 生物活性肥在播种前施入 0—20 cm 耕作层做底肥, 在玉米大喇叭口期和开花期结合灌水, 每次追施尿素 300 kg/hm², 追肥方法为穴施, 播种时间为 2013 年 4 月 16 日, 播种深度为 4~5 cm, 株距为 22 cm, 行距为 50 cm, 父母本行比为 1 : 6, 再配置满天星父本, 株距

为 50 cm。分别在玉米拔节期、大喇叭口期、开花期、灌浆期、乳熟期各灌水 1 次,每个小区灌水量相等。

1.3.3 测定项目与方法 玉米出苗 49 d 后测玉米植物学性状,茎粗采用游标卡尺法;地上部分干重、根系干重采用 105 °C 烘箱杀青 30 min,80 °C 烘干至恒重。连续定点试验 3 a 后,于 2013 年 9 月 14 日玉米收获时,在试验小区内随机采集 30 个果穗,风干 30 d 后,测定玉米经济性性状,玉米收获后,分别在试验小区内按 S 形路线布点,采集 0—20 cm 耕作层土样 4 kg,用四分法带回 1 kg 混合土样室内风干化验分析(土壤容重、团粒结构用环刀取原状土)。测定土壤 pH 值、容重、总孔隙度、团聚体、田间持水量、饱和持水量^[12-13]。采用经济学原理计算边际产量、边际产值、边际成本和边际利润^[14]。

经济性性状和产量采用 DPS 软件分析,差异显著性采用多重比较,LSR 检验。

2 结果分析

2.1 生物活性肥配方筛选

由 2010 年 9 月 22 日玉米收获后测定结果可知,因素间效应(R)大小排序为: $C > A > B$,说明影响玉米产量大小的因素依次为:多元复混肥 > 功能性改土剂 > 生物菌肥。比较各因素不同水平的 T 值,可以看出, $T_{A_1} > T_{A_3}$ 和 T_{A_2} , $T_{B_1} > T_{B_3}$ 和 T_{B_2} ,说明功能性改土剂和生物菌肥适宜用量为 0.12 和 0.09 t/hm²。 $T_{C_2} > T_{C_3}$ 和 T_{C_1} ,说明玉米产量随多元复混肥施用量的增大而增加,但多元复混肥施用量超过 1.20 t/hm² 后,玉米产量又随着多元复混肥施用量的增大而降低。从各因素的 T 值可以看出,最佳组合为: A_1 (功能性改土剂 0.12 t/hm²): B_1 (生物菌肥 0.09 t/hm²): C_2 (多元复混肥 1.20 t/hm²),(将功能性改土剂、生物菌肥、多元复混肥重量组合比按 0.085 1 : 0.063 8 : 0.851 1 混合得到生物活性肥)(表 2)。

2.2 施用生物活性肥对土壤理化性质影响

2.2.1 对土壤容重的影响 2013 年 9 月 11 日玉米收获后采集耕作层 0—20 cm 土样测定结果可知,随着生物活性肥施用量梯度的增加,土壤容重下降,生物活性肥容重最小,施用量 2.70 t/hm²,平均为 1.20 g/cm³;对照容重最大,平均为 1.51 g/cm³,生物活性肥施用量 2.70 t/hm²,与对照比较,容重降低了 0.31 g/cm³,差异极显著($p < 0.01$)。经线性回归分析可知,生物活性肥施用量与土壤容重之间呈显著的负相关关系,相关系数为 0.969 4(表 3)。

表 2 $L_9(3^3)$ 正交试验分析

| 试验处理 | A(功能性改土剂) | B(生物菌肥) | C(多元复混肥) | 玉米产量/(t·hm ⁻²) |
|-------------------|-----------|---------|----------|----------------------------|
| 1 = $A_2 B_3 C_1$ | 2 | 3 | 1 | 1.01 |
| 2 = $A_1 B_2 C_3$ | 1 | 2 | 3 | 4.95 |
| 3 = $A_3 B_1 C_2$ | 3 | 1 | 2 | 5.28 |
| 4 = $A_1 B_3 C_2$ | 1 | 3 | 2 | 4.97 |
| 5 = $A_3 B_2 C_3$ | 3 | 2 | 3 | 5.07 |
| 6 = $A_2 B_1 C_1$ | 2 | 1 | 1 | 2.91 |
| 7 = $A_2 B_3 C_3$ | 3 | 3 | 3 | 0.36 |
| 8 = $A_3 B_2 C_1$ | 2 | 2 | 1 | 0.49 |
| 9 = $A_1 B_1 C_2$ | 1 | 1 | 2 | 7.82 |
| T_1 值 | 17.74 | 16.01 | 4.41 | 32.86 |
| T_2 值 | 4.41 | 10.51 | 18.07 | |
| T_3 值 | 10.71 | 6.32 | 10.38 | |
| 效应指数 R | 13.33 | 9.69 | 13.66 | |

2.2.2 对土壤总孔隙度的影响 随着生物活性肥施用量梯度的增加,总孔隙度增大,总孔隙度最大的是生物活性肥施用量 2.70 t/hm²,平均为 54.72%,对照总孔隙度最小,平均为 43.02%,生物活性肥施用量 2.70 t/hm²,与对照比较,总孔隙度增加了 11.70%,差异极显著($p < 0.01$)。经相关分析可知,生物活性肥施用量与总孔隙度之间呈显著正相关关系,相关系数为 0.969 5(表 3)。

2.2.3 对 >0.25 mm 土壤团聚体的影响 随着生物活性肥施用量梯度的增加,团聚体增加,生物活性肥团聚体最大,施用量 2.70 t/hm²,平均为 33.04%,对照最小,平均为 22.34%,生物活性肥施用量 2.70 t/hm²,与对照比较,团聚体增大了 10.70%,差异极显著($p < 0.01$)。经线性回归分析可知,生物活性肥施用量与团聚体之间呈显著正相关关系,相关系数为 0.988 4(表 3)。

2.2.4 对土壤田间持水量和饱和持水量的影响 随着生物活性肥施用量梯度的增加,土壤田间持水量增加,生物活性肥田间持水量最大,施用量 2.70 t/hm²,平均为 22.91%,对照最小,平均为 13.11%,生物活性肥施用量 2.70 t/hm²,与对照比较,增大了 9.80%,差异极显著($p < 0.01$),经相关分析可知,生物活性肥施用量与土壤田间持水量之间呈显著正相关关系,相关系数 $R = 0.988 3$ 。随着生物活性肥施用量梯度的增加,土壤饱和持水量增加,生物活性肥最大,施用量 2.70 t/hm²,平均为 1 094.40,对照最小,平均为 860.40,生物活性肥施用量 2.70 t/hm²,与对照比较,增大了 234 t/hm²,差异极显著($p < 0.01$)。经线性回归分析可知,生物活性肥施用量与土壤饱和持水量之间呈显著正相关关系,相关系数为 0.957 3(表 3)。

2.2.5 对土壤 pH 值的影响 随着生物活性肥施用量梯度的增加, pH 值开始减小, 施用生物活性肥的土壤 pH 值最小, 施肥 2.70 t/hm², pH 值平均为 8.07, 对照 pH 值最大, 平均值为 8.33, 生物活性肥

施用量 2.70 t/hm² 与对照比较, pH 值降低了 0.26, 差异显著 ($p < 0.05$)。经相关分析可知, 生物活性肥施用量与土壤 pH 值之间呈显著负相关关系, 相关系数为 -0.963 1 (表 3)。

表 3 生物活性肥对土壤理化性质的影响

| 施用量/ (t · hm ⁻²) | 容重/ (g · cm ⁻³) | 总孔隙度/% | >0.25mm 团聚体/% | pH 值 | 田间持 水量/% | 饱和持水量/ (t · hm ⁻²) |
|---------------------------------|--------------------------------|----------|------------------|--------|-------------|-----------------------------------|
| 对照 | 1.51aA | 43.02eC | 22.34fD | 8.33eA | 13.11eD | 860.40gF |
| 0.45 | 1.44bA | 45.66dC | 24.02eC | 8.29dA | 15.02dC | 913.20fD |
| 0.90 | 1.33cB | 49.81cB | 25.46dC | 8.25cA | 17.67cB | 996.20eC |
| 1.35 | 1.32dB | 50.19cdB | 28.12cB | 8.13bA | 18.59cB | 1 003.80dC |
| 1.80 | 1.26eB | 52.45bA | 31.10bA | 8.11bA | 20.91bA | 1049.00cB |
| 2.25 | 1.24fB | 53.21bA | 32.21aA | 8.09aA | 21.62bA | 1 064.20bA |
| 2.70 | 1.20gB | 54.72aA | 33.04aA | 8.07aA | 22.91aA | 1 094.40aA |

注: 同列数据大写字母不同表示 LSR_{0.01} 差异显著; 小写字母不同表示 LSR_{0.05} 差异显著。下同。

2.3 施用生物活性肥对玉米幼苗植物学性状和经济性状及产量的影响

2.3.1 对玉米幼苗植物学性状的影响 将 2013 年 6 月 15 日玉米出苗 49 d 后的数据进行相关分析可知, 生物活性肥施用量与玉米幼苗株高、茎粗、生长速率、地上部分干重、根系干重呈显著正相关关系, 相关系数分别为 0.971 2, 0.927 4, 0.972 8, 0.989 8,

0.984 0。生物活性肥施用量 2.70 t/hm² 的处理与对照比较, 幼苗株高增加了 14.2 cm, 差异极显著 ($p < 0.01$); 茎粗增加了 4.6 mm, 差异显著 ($p < 0.05$); 生长速度增加了 4.2 mm/d, 差异极显著 ($p < 0.01$); 地上部分干重增加了 14.62 g, 差异极显著 ($p < 0.01$); 根系干重增加了 1.82 g, 差异极显著 ($p < 0.01$) (表 4)。

表 4 生物活性肥对玉米幼苗植物学性状的影响

| 施用量/(t · hm ⁻²) | 株高/cm | 茎粗/mm | 生长速率/(mm · d ⁻¹) | 地上部分干重(g/株) | 根系干重(g/株) |
|-----------------------------|--------|--------|------------------------------|-------------|-----------|
| 对照 | 42.2fD | 13.1eA | 12.4dC | 16.83fF | 2.50cC |
| 0.45 | 45.1eC | 14.7dA | 13.3cB | 21.08eE | 2.79cC |
| 0.90 | 46.4dC | 15.7cA | 13.6cB | 22.48dD | 2.88cC |
| 1.35 | 47.0cC | 16.7bA | 13.8cB | 24.21cC | 3.57bB |
| 1.80 | 53.1bB | 17.4aA | 15.6bA | 28.03bB | 3.88bB |
| 2.25 | 56.1aA | 17.7aA | 16.5aA | 30.17aA | 4.14aA |
| 2.70 | 56.5aA | 17.2aA | 16.7aA | 31.45aA | 4.32aA |

2.3.2 对玉米经济性状和产量的影响 将 2013 年 9 月 11 日玉米收获后的数据进行相关分析可知, 生物活性肥施用量与玉米穗粒数、穗粒重、百粒重、产量呈显著正相关关系, 相关系数分别为 0.959 9, 0.926 7, 0.821 1, 0.973 3。生物活性肥施用量 2.70 t/hm² 与

对照比较, 穗粒数增加了 77 粒, 差异极显著 ($p < 0.01$); 穗粒重增加了 19.48 g, 差异极显著 ($p < 0.01$); 百粒重增加了 4.61 g, 差异极显著 ($p < 0.01$); 产量增加了 1 886.73 kg/hm², 差异极显著 ($p < 0.01$) (表 5)。

表 5 生物活性肥对玉米经济性状和产量的影响

| 施用量/ (t · hm ⁻²) | 穗粒数/粒 | 穗粒重/g | 百粒重/g | 产量/ (kg · hm ⁻²) | 增产量/ (kg · hm ⁻²) | 增产率/% |
|---------------------------------|-------|---------|---------|---------------------------------|----------------------------------|-------|
| 对照 | 264fE | 54.12fC | 24.75dB | 4 919.87gF | — | — |
| 0.45 | 294eD | 61.73eB | 27.99cA | 5 385.62fE | 465.75 | 9.47 |
| 0.90 | 303dC | 67.03dB | 28.09bA | 5 832.06eD | 912.19 | 18.54 |
| 1.35 | 308cC | 69.07cB | 28.13bA | 6 234.00dC | 1 314.13 | 26.71 |
| 1.80 | 320bB | 72.40bA | 28.32bA | 6 597.23cB | 1 677.36 | 34.09 |
| 2.25 | 322bB | 72.46bA | 28.91bA | 6 716.87bA | 1 797.00 | 36.52 |
| 2.70 | 341aA | 73.60aA | 29.36aA | 6 806.60aA | 1 886.73 | 38.35 |

2.4 施用生物活性肥对玉米施肥利润的影响

从表 6 可知,生物活性肥施用量由 0.45 t/hm²,增加到 1.80 t/hm² 时,施肥利润随着生物活性肥施用量的增加而递增,当生物活性肥施用量大于 1.80 t/hm² 时,施肥利润随着生物活性肥施用量的增加而递减,出现了报酬递减律。由此可见,生物活性肥适宜用量为 1.80 t/hm²(表 6)。

2.5 生物活性肥经济效益最佳施用量和理论产量的确定

生物活性肥不同施用量与玉米产量间的关系可

用二次函数进行拟合,显著性测验结果表明,回归方程拟合良好。生物活性肥价格(P_x)为 4.53 元/kg,玉米价格(P_y)为 5.00 元/kg,将(P_x)、(P_y)、回归方程的参数 b 和 c ,代入经济效益最佳施用量计算公式为:

$$x_0 = [(P_x/P_y) - b]/2c$$

求得生物活性肥经济效益最佳施用量(x_0)为 1.80 t/hm²,求得玉米的理论产量 y 为 6 597.24 kg/hm²,计算结果与田间小区试验处理 5 相吻合(表 6)。

表 6 生物活性肥对玉米施肥利润的影响

| 施用量/ (t · hm ⁻²) | 产量/ (kg · hm ⁻²) | 增产量/ (kg · hm ⁻²) | 增产值/ (元 · hm ⁻²) | 施肥成本/ (元 · hm ⁻²) | 施肥利润/ (元 · hm ⁻²) |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 对照 | 4 919.87gF | — | — | — | — |
| 0.45 | 5 385.62fE | 465.75 | 2 328.75 | 1 782.00 | 546.75 |
| 0.90 | 5 832.06eD | 912.19 | 4 560.95 | 3 564.00 | 996.95 |
| 1.35 | 6 234.00dC | 1 335.80 | 6 679.00 | 5 346.00 | 1 333.00 |
| 1.80 | 6 597.23cB | 1 724.72 | 8 623.60 | 7 128.00 | 1 495.60 |
| 2.25 | 6 716.87bA | 2 073.74 | 10 368.70 | 8 910.00 | 1 458.70 |
| 2.70 | 6 806.60aA | 2 398.47 | 11 992.35 | 10 692.00 | 1 300.35 |

注:各项目的价格(元/t):多元复混肥 2 930,功能性改土剂 20 919,生物菌肥 4 000,聚乙烯醇 26 000,保水剂 20 000,柠檬酸 16 000,生物活性肥 4 529.13(功能性改土剂、生物菌肥、多元复混肥重量比按 0.085 1 : 0.063 8 : 0.851 1 混合)。

2.6 生物活性肥与传统化肥对土壤理化性质的影响

2013 年 9 月 14 日玉米收获后测定数据可知,不同处理容重变化顺序为:对照>传统化肥>生物活性肥,生物活性肥与传统化肥比较,容重降低了 0.05 g/cm³,差异极显著($p < 0.01$)。总孔隙度变化顺序为:生物活性肥>传统化肥>对照,生物活性肥与传统化肥比较,总孔隙度增加了 2.26%,差异极显著($p < 0.01$)。团聚体变化顺序为:生物活性肥>传统化

肥>对照,生物活性肥与传统化肥比较,团聚体增加了 1.28%,差异极显著($p < 0.01$)。pH 值变化顺序为:生物活性肥<传统化肥<对照,生物活性肥与传统化肥比较,pH 降低了 0.06 个单位,差异显著($p < 0.05$)。饱和持水量变化顺序为:生物活性肥>传统化肥>对照,生物活性肥与传统化肥比较,饱和持水量增加了 45.20 m³/hm²,差异显著($p < 0.05$)(表 7)。

表 7 生物活性肥与传统化肥对土壤物理性质的影响

| 试验处理 | 容重/(g · cm ⁻³) | 总孔隙度/% | >0.25 mm 团聚体/% | 饱和持水量/(t · hm ⁻²) | pH 值 |
|-------|----------------------------|---------|----------------|-------------------------------|--------|
| 对照 | 1.33aA | 49.81bB | 32.23bB | 993.20cA | 8.31aA |
| 传统化肥 | 1.31aA | 50.19bB | 32.40bB | 1 003.80bA | 8.29bA |
| 生物活性肥 | 1.26bB | 52.45aA | 33.68aA | 1 049.00aA | 8.23cA |

2.7 不同类型肥料对玉米幼苗植物学性状的影响

2013 年 6 月 15 日玉米出苗 49 d 后测定结果可知,不同处理玉米幼苗植物学性状从好到差的变化顺序为:生物活性肥>传统化肥>对照。

生物活性肥与传统化肥比较,玉米生长速度增加了 0.73 mm/d,差异极显著($p < 0.01$)。地上部分干重增加了 0.78 g/株,差异显著($p < 0.05$);根系干重增加了 0.06 g/株,差异显著($p < 0.05$)(表 8)。

表 8 生物活性肥与传统化肥对玉米幼苗植物学性状的影响

| 试验处理 | 生长速度/ (mm · d ⁻¹) | 地上部分干 重(g/株) | 根系干重 (g/株) |
|-------|----------------------------------|-----------------|---------------|
| 对照 | 11.2bB | 25.42cC | 3.18cC |
| 传统化肥 | 11.6bB | 36.20bA | 4.57bA |
| 生物活性肥 | 12.3aA | 36.98aA | 4.63aA |

2.8 生物活性肥与传统化肥对玉米经济性状和产量及施肥利润的影响

2013年9月14日,玉米收获后测定结果可知,不同处理玉米经济性状、产量、施肥利润变化顺序依次为:生物活性肥>传统化肥,生物活性肥与传统化肥

比较,玉米穗粒数增加了 13.32 粒/穗,差异显著($p < 0.05$);穗粒重增加了 9.06 g/穗,差异极显著($p < 0.01$);百粒重增加了 1.20 g,差异显著($p < 0.05$);产量增加了 823.64 kg/hm²,差异极显著($p < 0.01$);施肥利润增加了 885.12 元/hm²(表 9)。

表 9 生物活性肥与传统化肥对玉米经济性状和增产效果的影响

| 试验处理 | 穗粒数/粒 | 穗粒重/g | 百粒重/g | 产量/ (kg·hm ⁻²) | 增产量/ (kg·hm ⁻²) | 增产值/ (元·hm ⁻²) | 施肥成本/ (元·hm ⁻²) | 施肥利润/ (元·hm ⁻²) |
|-------|----------|---------|--------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 对照 | 248.31cB | 60.92cC | 25.3cB | 5 538.2cC | — | — | — | — |
| 传统化肥 | 270.65bA | 71.78bB | 27.3bA | 6 525.5bB | 987.28 | 4 936.40 | 3 561.90 | 1 374.50 |
| 生物活性肥 | 283.97aA | 80.84aA | 28.4aA | 7 349.1aA | 1 810.92 | 9 054.62 | 6 795.00 | 2 259.62 |

注:① 传统化肥施用量=尿素 748.05 kg/hm²+磷酸二铵 516.45 kg/hm²;② 传统化肥施肥成本=(尿素 748.05 kg/hm²×2.00 元/kg)+(磷酸二铵 516.45 kg/hm²×4.00 元/kg)=3 561.90 元/hm²;③ 生物活性肥施用量=1 500.00 kg/hm²;④ 生物活性肥施肥成本=(1 500.00 kg/hm²×4.53 元/kg)=5 940.00 元/hm²。

3 讨论与结论

土壤容重是土壤重要的物理性质,是计算土壤孔隙度的重要参数^[15-19]。土壤总孔隙度是表征土壤松散程度的一个重要指标。土壤团聚体是表征肥沃土壤的指标之一^[20-22],研究结果表明,随着生物活性肥施用量梯度的增加,土壤容重降低,总孔隙度增大,团聚体增加,究其原因,生物活性肥中的聚乙烯醇是一种胶结物质,可以把小土粒粘在一起,形成较稳定的团粒结构,增大了土壤孔隙度,降低了土壤容重^[23-25]。pH 值是土壤重要的化学性质,随着生物活性肥施用量梯度的增加,pH 值在降低,究其原因生物活性肥中的柠檬酸是一种酸性化合物,明显降低土壤 pH 值。土壤持水量是评价土壤涵养水源及调节水分循环的重要指标^[26-27],随着生物活性肥施用量梯度的增加,土壤田间持水量、饱和持水量在增加,分析这一结果产生的原因是生物活性肥中的保水剂是一类高分子聚合物,这类物质分子结构交联成网络,本身不溶于水,却能在 10 min 内吸附超过自身重量 100~1 400 倍的水分,体积大幅度膨胀后形成饱和吸附水球,吸水倍率很大,在提高土壤持水性能方面具有重要的作用^[28]。研究结果表明,生物活性肥配方最佳组合为功能性改土剂 0.12 t,生物菌肥 0.09 t,多元复混肥 1.20 t。生物活性肥施用量与土壤总孔隙度、团聚体、持水量、玉米经济性状和产量呈显著的正相关关系,与土壤容重、pH 值呈显著的负相关关系。生物活性肥经济效益最佳施用量为 1.80 t/hm²,玉米的理论产量为 6 597.24 kg/hm²。

[参 考 文 献]

[1] 秦嘉海,吕彪.河西土壤与合理施肥[M].甘肃兰州:兰

州大学出版社,2001:150-155.

- [2] 佟屏亚.河西地区玉米制种基地考察报告[J].种子世界,2005(5):4-8.
- [3] 侯格平,吴子孝,索东让.张掖市玉米制种连作种植的不利影响与措施[J].中国种业,2012(1):31-32.
- [4] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2003:82-83.
- [5] 吴礼树.土壤肥科学[M].北京:中国农业出版社,2004:104-1053.
- [6] 索东让,李隆,孙宁科,等.河西走廊制种田与生产田玉米需肥特点比较[J].植物营养与肥料学报,2013,19(4):816-823.
- [7] 赵秉强,张福锁,廖宗文.我国新型肥料发展战略研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(5):536-545.
- [8] 闫四群.功能性肥料的发展前景和存在问题[J].农家参谋种业大观,2011(11):24-25.
- [9] 刘秀梅,刘光荣,冯兆滨,等.新型肥料研制技术与产业化开发[J].江西农业学报,2006,18(2):87-92.
- [10] 陆建刚,周莺.国内外新型肥料的开发[J].化肥工业,1994,21(3):8-11.
- [11] 赵秉强,张福锁,廖宗文.我国新型肥料发展战略研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(5):536-545.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:科学技术出版社,1978:110-218.
- [13] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析法[M].北京:科学出版社,1983:106-208.
- [14] 浙江农业大学.植物营养与肥料[M].北京:中国农业出版社,1988:268-269.
- [15] 王燕,王兵,赵广东,等.江西大岗山 3 种林型土壤水分物理性质研究[J].水土保持学报,2008,22(1):151-153.
- [16] 李德生,张萍,张水龙,等.黄前库区流域植被水源涵养功能及植被类型选择的研究[J].水土保持学报,2003,17(4):128-131.

(下转第 53 页)

(2) 采石场恢复治理不同年份的土壤流失量差异性明显。2012 年径流小区的土壤流失总量与 2011 年相比,常规整地自然状态恢复条件下水土流失总量减少了 90%左右;平铺生态袋绿化措施下,水土流失总量减少了 97%左右。其主要影响因素是植被覆盖度,松散体土壤粒径组成,坡面土壤孔隙度。当覆盖度小于 15%时,不同径流小区产生的水土流失量均较大且差异性小;当覆盖度在 15%~50%之间,各小区的产生的水土流失量的差异性较大且随着植被覆盖度的增加而减少;当覆盖度大于 50%时,各小区土壤流失量的差异性逐渐减小;植被覆盖度大于 80%,土壤流失量与差异性均非常小。

(3) 在相同的降雨情况下不同径流小区产生的径流量和土壤流失量有较大的差异。在植被恢复初期最为明显,主要原是土地平整过程中,不同坡面土壤的粒径组成、土壤的孔隙度差异性较大,大部分径流入渗形成壤中流。随着植被覆盖度的增加,相同坡度地表径流量和土壤流失量的差异性逐渐减小。当植被的覆盖度大于 50%以后,影响地表径流和土壤流失量的主要因素不再是土壤的粒径组成和夯实程度,植物根系固定土壤的效果成为主要影响因素,水土流失量与植被覆盖率、降雨量、降雨强度呈正相关关系。

[参 考 文 献]

- [1] 汤惠君,胡振琪. 试论采石场的生态恢复[J]. 中国矿业, 2004,13(7):38-42.
- [2] 张猛. 中小型采石场治理恢复工程浅析[J]. 黑龙江科技信息,2012,(6):211-212.
- [3] 方华,林建平,莫江明. 采石场生态重建的有关问题[J]. 生态环境,2006,15(3):654-658.
- [4] 夏汉平,蔡锡安. 采矿地的生态恢复技术[J]. 应用生态学报,2002,13(11):1471-1477.
- [5] 左芳萍,裴宗平,徐崇喜. 废弃露采矿山生态恢复研究与实践[J]. 能源技术与管理,2009(2):81-83.
- [6] 郑涛,车伟光. 废弃采石场生态恢复以及景观再生研究[J]. 草原与草坪,2009(3):62-68.
- [7] 杨海军,毕琪,赵亚楠,等. 深圳市高速公路边坡和采石场植被恢复技术[J]. 生态学杂志,2004,23(1):120-124.
- [8] 袁剑刚,周先叶,陈彦,等. 采石场悬崖生态系统自然演替初期土壤和植被特征[J]. 生态学报,2005,25(6):1517-1522.
- [9] 罗松,郑天媛. 采石场遗留石质开采面阶梯整形覆土绿化方法研究[J]. 中国水土保持,2001(2):36-37.
- [10] 张艳,赵廷宁,史常青,等. 北京山区采石场边坡植被恢复动态研究[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(6):61-66.
- [11] 张华,赵廷宁,白麟,等. 采石场松散体坡面平铺生态袋绿化的水土保持效应[J]. 水土保持通报,2013,33(2):111-115.
- [12] 和继军,蔡强国,田磊. 北京市水土流失综合治理体系的结构功能及效应[J]. 水土保持通报,2009,29(6):52-56.
- [13] 符素华,段淑怀,李永贵,等. 北京山区土地利用对土壤侵蚀的影响[J]. 自然科学进展,2002,12(1):108-112.
- [14] 邱从维. 生态袋护岸技术在邵武市同青溪河道治理中的应用[J]. 水利科技,2010(1):23-24.
- [15] 景峰,张学培,郭汉清,等. 山西省葛铺煤矿弃土弃渣径流泥沙研究[J]. 水土保持研究,2007,14(4):61-64.
- [17] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[M] // Advances in Soil Science. New York: Springer, 1985:1-70.
- [18] Martinez M M, Williams A G, Ternan J L, et al. Role of antecedent soil water content on aggregates stability in a semi-arid environment[J]. Soil and Tillage Research, 1998,48(1):71-80.
- [19] Keck T J, Nielsen G A, Quimby W F. Spatial distribution of soil attributes on reconstructed minesoils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(3): 782-786.
- [20] 石辉. 转移矩阵法评价土壤团聚体稳定性[J]. 水土保持通报,2006,26(3):91-95.
- [21] 周虎,吕贻忠,杨志臣,等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(9):1973-1979.
- [22] 张琪,方海兰,史志华,等. 侵蚀条件下土壤性质对团聚体稳定性影响的研究进展[J]. 林业科学,2007,43(10):77-82.
- [23] 龙明杰,曾繁森. 高聚合物土壤改良剂研究进展[J]. 土壤通报,2000,31(5):199-202.
- [24] 巫东堂,王久志. 土壤结构改良剂及其应用[J]. 土壤通报,1990,21(3):140-143.
- [25] 吴增芳. 土壤结构改良剂[M]. 北京:科学出版社,1976:24-36.
- [26] 王孟本,柴宝峰,李洪建,等. 黄土区人工林的土壤持水力与有效水状况[J]. 林业科学,1999,35(2):7-14.
- [27] 张光灿,夏江宝,王贵霞,等. 鲁中花岗岩山区人工林土壤水分物理性质[J]. 水土保持学报,2005,19(6):44-48.
- [28] 谢伯承,薛绪掌,王纪华,等. 保水剂对土壤持水性状的影响[J]. 水土保持通报,2003,23(6):44-46.

(上接第 48 页)