

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.22561

化肥减量下有机肥配施土壤调理剂和生物菌肥对玉米连作土壤的生态修复效应

肖占文¹, 赵致禧^{2,3}, 赵芸晨¹, 程红玉^{1*}, 马银山¹, 濮超¹, 付余业³

(1. 河西学院农业与生态工程学院 / 河西走廊玉米种子工程技术研究中心 / 甘肃省河西走廊特色资源利用重点实验室, 甘肃 张掖 734000; 2. 张掖市农业科学研究院, 甘肃 张掖 734000; 3. 张掖市中天农业科技有限公司, 甘肃 张掖 734000)

摘要:河西走廊玉米制种田连作障碍影响逐年加剧, 如何有效缓解连作障碍、提升耕地质量和生产力是目前亟待解决的问题。采用田间随机区组设计, 在连作 18 年的玉米制种田, 以 100% 传统施化肥 (N 375.0 kg/hm²、P₂O₅ 150.0 kg/hm²、K₂O 120.0 kg/hm²) + 有机肥 15000.0 kg/hm² 为基础, 设置对照 CK (70% 化肥 + 有机肥)、T1 (70% 化肥 + 有机肥 + 土壤调理剂)、T2 (70% 化肥 + 有机肥 + 生物菌肥)、T3 (70% 化肥 + 有机肥 + 土壤调理剂 + 生物菌肥) 共 4 个处理, 研究化肥减量 30% 配施有机肥、生物菌肥和土壤调理剂对玉米制种田连作土壤理化性质、微生物种群变化和土壤酶活性及产量的影响。结果表明, 不同处理对制种玉米长期连作土壤的生态修复效应不同。T1、T2、T3 较 CK 处理对土壤碱解氮、有效磷、速效钾影响不明显, T2 和 T3 处理与 CK 比较, 土壤容重和 pH 显著降低, 土壤总孔隙度、团聚体和饱和持水量显著增加, 土壤有机质、有机碳和供碳量显著增加, 土壤阳离子交换量、蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性显著增加, 真菌显著减少, 而细菌和放线菌显著增加。T1、T2、T3 与 CK 处理比较, 对玉米茎粗、穗粒数和千粒重有一定影响。其中 T2 和 T3 处理的茎粗显著增加 13.28% 和 17.84%; 穗粒数显著增加 13.32% 和 17.22%; 千粒重显著增加 3.53% 和 4.07%; 产量显著增加 9.91% 和 11.45%。本试验条件下 T3 处理对玉米制种田连作土壤生态修复和增产效果最佳。

关键词:玉米制种连作田; 化肥减量; 生物菌肥; 土壤调理剂; 生态修复

玉米作为我国种植面积最大的作物, 在国民经济中占有重要地位。甘肃省河西走廊作为我国玉米制种主产区, 保障其制种基地的健康持续发展对确保玉米种源安全和国家粮食安全意义重大。目前, 随着玉米制种面积的扩大和种植年限延长, 连作障碍的影响逐年加剧, 主要表现在土壤板结严重且肥力下降, 土壤环境恶化, 病原微生物数量增加使玉米病害发生频繁, 植株营养失衡导致玉米抗性下降, 严重影响玉米制种产量和品质^[1-2], 已成为制约玉米种业振兴的主要因素。因此, 探索玉米

制种田连作障碍防治措施成为目前亟待解决的关键问题。

防治连作障碍最有效的方法是选择合理的种植制度, 科学合理施肥, 结合生物防治, 以改善土壤理化性质及生物学特性, 提高土壤酶活性^[3]。已有研究证实, 施用有机肥有助于改善土壤结构, 提高土壤养分^[4-5]; 施用土壤调理剂是土壤改良以及化肥减量的有效途径^[6-7]。外源土壤调理剂能有效改善土壤养分状况及理化性质, 促进土壤团粒的形成, 从而提高土壤保水保肥性能和肥力, 对土壤起到积极的修复作用^[8]。施用腐植酸土壤调理剂能够有效维持土壤酸碱平衡, 改善土壤理化性质, 提高作物产量^[9]。施用黄腐酸土壤调理剂可以减轻土壤盐碱化, 增加土壤微生物数量及增强土壤酶活性^[10-11]; 施用生物菌肥可以增强土壤中微生物的活性, 促进养分的释放, 从而提高土壤养分水平, 达到改良土壤的目的^[12-13]。

目前, 有关河西走廊玉米制种田连作障碍问

收稿日期: 2022-08-29; 录用日期: 2023-03-13

基金项目: 甘肃省重点研发计划 (20YF8NG065); 国家自然科学基金项目 (41867010); 甘肃省教育厅产业支撑计划项目 (2022CYZC-62); 甘肃省高等学校创新基金项目 (2022B-169)。

作者简介: 肖占文 (1966-), 教授, 硕士, 主要从事作物高产高效栽培与土壤改良研究。E-mail: xzw2868@163.com。

通讯作者: 程红玉, E-mail: chenghy722@126.com。

题, 一些学者开展抗重茬剂筛选^[14]、功能性肥料^[15-16]和土壤改良剂^[17-19]配方筛选及改土效应研究。研究者一致认为施用多功能改土剂和功能性肥料可改良玉米制种田理化性质和生物学特性, 改善微生物群落结构及土壤酶活性, 提高土壤持水量和制种产量及效益。但目前土壤调理剂及微生物菌剂产品种类繁多, 效果不一, 而将有机肥、土壤调理剂与微生物菌剂结合在制种玉米长期连作土壤上的应用效果尚不明确。本研究以连作18年以上的玉米制种田为对象, 选择代表性强的土壤调理剂和微生物菌剂, 拟通过田间试验探索其对玉米制种田长期连作土壤的生态修复效应, 为克服制种玉米连作障碍、实现减肥增效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2020—2021年在甘肃省张掖市甘州区沙井镇沙井村玉米制种基地(39°7′55″N, 100°21′4″E)进行, 海拔1450 m, 年均气温7.6℃, 年均降水量106 mm, 年蒸发量2046 mm, 日照时数3085 h, 无霜期160 d。土壤类型为灌淤旱耕人为土, 连作年限18年, 试验地种植前按对角线5点采样方法, 采集0~20 cm耕作层土样, 其基本性状: 有机质12.80 g/kg, 碱解氮33.25 mg/kg, 有效磷15.84 mg/kg, 速效钾120.15 mg/kg, pH 8.02, 阳离子交换量(CEC)16.92 cmol/kg, 全盐1.62 g/kg。

1.2 试验材料

参试玉米品种为“敦玉328”, 由甘肃省敦煌种业股份有限公司选育。生物菌肥为“普多根”微生物菌剂(有机质≥70%, 有效活菌数≥10.0亿个/g,

主要成分为枯草芽孢杆菌和地衣芽孢杆菌), 由普多根(湖北)生物科技有限公司生产。土壤调理剂为“金阜丰”土壤调理剂(总N≥1.2 g/kg, 有机质≥2.2 g/kg, 腐植酸≥1.8 g/kg, K₂O≥0.5 g/kg, CaO≥1.0 g/kg, MgO≥0.4 g/kg, pH 3.0~4.0), 由内蒙古沃丰农业发展有限公司生产。供试肥料为尿素(N 46%), 过磷酸钙(P₂O₅ 12%), 硫酸钾(K₂O 50%); 有机肥为发酵牛粪(有机质24.3%, N、P₂O₅、K₂O分别为0.35%、0.15%、0.31%), 由张掖市甘州区富盈养殖农民专业合作社生产提供。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计, 以100%传统施化肥(N 375.0 kg/hm²、P₂O₅ 150.0 kg/hm²、K₂O 120.0 kg/hm²) + 有机肥15000.0 kg/hm²为基础, 设置4个处理: 对照CK(70%化肥 + 有机肥); T1(70%化肥 + 有机肥 + 土壤调理剂); T2(70%化肥 + 有机肥 + 生物菌肥); T3(70%化肥 + 有机肥 + 土壤调理剂 + 生物菌肥), 每个处理3次重复, 小区面积32 m²。各处理及施肥量详见表1。每个处理过磷酸钙、硫酸钾、有机肥(腐熟牛粪)、生物菌肥、土壤调理剂做底肥在播种前均匀施入0~20 cm耕作层。氮肥分别在玉米拔节期、大喇叭口期和开花吐丝期按3:4:3比例结合灌水追施。采用地膜覆盖栽培, 于4月20日播种, 母本50 cm等行距播种, 株距22 cm, 父本种植在两行母本中间, 分两期播种, 第一期父本与母本同期播种, 第二期父本于第一期父本播后7 d播种, 父本株距50 cm。父母本均选用包衣种子, 人工点播, 每穴点2粒种子。苗期中耕1~2次, 每个小区各灌水期灌水量相等, 其他管理措施同常规制种田保持一致。

表1 各处理及施肥量 (kg/hm²)

处理	施肥处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	有机肥 (牛粪)	土壤调理剂	生物菌肥
CK	70% 化肥 + 有机肥	262.5	105.0	84.0	15000.0	0	0
T1	70% 化肥 + 有机肥 + 土壤调理剂	262.5	105.0	84.0	15000.0	900	0
T2	70% 化肥 + 有机肥 + 生物菌肥	262.5	105.0	84.0	15000.0	0	900
T3	70% 化肥 + 有机肥 + 土壤调理剂 + 生物菌肥	262.5	105.0	84.0	15000.0	900	900

注: 100% 化肥量为 N 375.0 kg/hm²、P₂O₅ 150.0 kg/hm²、K₂O 120.0 kg/hm²。

1.4 测定指标及方法

土壤样品采集：种子收获后，按对角线五点采样法，采集 0 ~ 20 cm 耕作层土样 5 kg，将混合土样保存在冰盒带回实验室，混合均匀，去除杂物后过 2 mm 筛分成 2 份，一份置于无菌袋中放入 4℃ 冰箱保存鲜样（约 100 g），供微生物数量、土壤酶活性测定；一份自然风干，研磨过 1 mm 筛，用于测定土壤的理化性质。

土壤理化性状测定：容重采用环刀法，总孔隙度采用计算法，大于 0.25 mm 团聚体采用干筛法，有机质采用重铬酸法；碱解氮采用碱解扩散法；有效磷采用 NaHCO_3 浸提 - 钼锑抗比色法；速效钾测定采用 NH_4OAc 浸提 - 火焰光度法；土壤 pH 采用酸度计法（水土比 5:1）^[20]。饱和持水量 = 面积 × 总孔隙度 × 土层深度；土壤有机碳 = 土壤有机质测定值 / 1.724^[21]；土壤供碳量 = 土壤有机碳测定值 × 2.25。

微生物数量测定：采用稀释平板法^[22]，培养后计算每克干土的含菌数。每克土壤含菌数 = (菌落平均数 × 稀释倍数) ÷ [接种量毫升数 × (1 - 含水量)]。

土壤酶活性测定：脲酶测定采用靛酚比色法；蔗糖酶测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法；磷酸酶测定采用磷酸苯二钠比色法；过氧化氢酶测定采用滴定法^[23]。

制种玉米产量测定：玉米成熟期，各小区收获中间 4 行计产，自然风干后脱粒，按 14% 水分折算单位面积种子产量。

1.5 数据分析

数据采用 SPSS 20.0 统计软件分析，用最小显著极差法检验法多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米制种田土壤物理性状和持水量的影响

由表 2 可以看出，T1 与 CK 处理比较，容重降低 4.54%；总孔隙度、团聚体、饱和持水量分别增加 6.30%、5.08%、6.30%，差异均不显著 ($P>0.05$)。T2 和 T3 与 CK 处理比较，容重降低 10.39% 和 14.29%，团聚体增加 11.96% 和 14.19%，总孔隙度、饱和持水量均增加 14.42% 和 19.81%，差异均达显

著水平 ($P<0.05$)。而 T2 和 T3 与 T1 处理比较，容重降低 6.12% 和 10.20%，而团聚体增加 6.55% 和 8.67%。总孔隙度、饱和持水量均增加 7.64% 和 12.71%，差异均达显著水平 ($P<0.05$)，T2 与 T3 处理之间各项指标差异均不显著。表明化肥减量 30% 配施有机肥基础上，增施生物菌肥及其土壤调理剂与生物菌肥配施处理均可显著降低制种玉米田的容重，增加总孔隙度、团聚体和饱和持水量。

表 2 不同处理对玉米制种田物理性状和持水量的影响

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)
CK	1.54a	41.89b	32.28b	837.8b
T1	1.47a	44.53b	33.92b	890.6b
T2	1.38b	47.93a	36.14a	958.6a
T3	1.32b	50.19a	36.86a	1003.8a

注：同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平下差异显著。下同。

2.2 不同处理对玉米制种田土壤化学性状的影响

表 3 分析表明，T1 和 CK 处理比较仅碱解氮、有效磷和速效钾含量显著增加。T2 和 T3 与 CK 处理比较，有机质含量增加 11.56% 和 16.56%，有机碳含量增加 11.44% 和 16.42%，供碳量增加 11.48% 和 16.45%，差异均达显著水平 ($P<0.05$)。T2 和 T3 与 T1 处理比较，有机质含量增加 10.53% 和 15.48%，有机碳含量增加 10.55% 和 15.49%，供碳量增加 10.56% 和 15.48%，差异均达显著水平 ($P<0.05$)。而 T1、T2 和 T3 与 CK 处理比较，土壤碱解氮含量分别增加 6.56%、6.92% 和 10.77%；有效磷含量分别增加 9.97%、10.50% 和 11.29%；速效钾含量分别增加 2.58%、5.27% 和 6.72%，T1、T2 和 T3 处理之间差异均不显著 ($P>0.05$)。T2 和 T3 处理的土壤 pH 较 CK 处理降低 5.49% 和 5.99%，差异显著 ($P<0.05$)，较 T1 处理降低 3.56% 和 4.07%，差异不显著 ($P>0.05$)。T2 和 T3 处理的土壤 CEC 较 CK 处理增加 14.42% 和 25.0%，较 T1 处理增加 12.04% 和 22.40%，差异均达显著水平 ($P<0.05$)。T2 与 T3 处理之间差异均不显著。由此可见，化肥减量增施有机肥 + 土壤调理剂 + 生物菌肥处理，或有机肥 + 微生物菌剂处理可降低土壤 pH，增加土壤 CEC、有机质含量、有机碳含量和供碳量，改善土壤化学性状。

表 3 不同处理对玉米制种田土壤化学性状的影响

处理	有机质含量 (g/kg)	有机碳含量 (g/kg)	供碳量 (t/hm ²)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	pH	阳离子交换量 (cmol/kg)
CK	12.80b	7.43b	16.72b	33.25b	15.24b	128.15b	8.02a	16.92b
T1	12.92b	7.49b	16.86b	35.43a	16.76a	131.45a	7.86ab	17.28b
T2	14.28a	8.28a	18.64a	35.55a	16.84a	134.90a	7.58b	19.36a
T3	14.92a	8.65a	19.47a	36.83a	16.96a	136.76a	7.54b	21.15a

2.3 不同处理对玉米制种田土壤微生物种群数量的影响

由表 4 可得, T1 与 CK 处理比较, 真菌数量减少 3.06%, 细菌和放线菌数量增加 1.89% 和 2.53%, 差异均不显著 ($P>0.05$)。T2 与 T1 和 CK 处理比较, 真菌数量显著减少 20.78% 和 23.20%, 细菌数量显著增加 21.30% 和 23.59%, 放线菌数量显著增加 14.82% 和 17.72%。T3 与 T1 和 CK 处理比较, 真菌数量显著减少 22.26% 和 24.64%; 细菌数量显著增加 26.85% 和 29.25%; 放线菌数量显著增加 19.75% 和 22.79%。说明 T2、T3 处理可减少土壤真菌的数量, 增加土壤细菌和放线菌的数量, 而 T1 处理对土壤中真菌、细菌和放线菌的数量无显著影响。

表 4 不同处理对玉米制种田微生物种群数量的影响

处理	真菌 ($\times 10^5$ cfu/g)	细菌 ($\times 10^6$ cfu/g)	放线菌 ($\times 10^6$ cfu/g)
CK	5.56a	1.06b	0.79b
T1	5.39a	1.08b	0.81b
T2	4.27b	1.31a	0.93a
T3	4.19b	1.37a	0.97a

2.4 不同处理对玉米制种田土壤酶活性的影响

不同处理土壤酶活性分析见表 5, T1 与 CK 处理比较, 脲酶和磷酸酶活性显著增加 16.35% 和 22.72% ($P<0.05$)。T2 与 CK 处理比较, 蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶显著增加 32.08%、59.62%、63.64% 和 39.84% ($P<0.05$), 与 T1 处理

比较, 蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶的活性显著增加 31.19%、37.19%、33.33% 和 39.10% ($P<0.05$); T3 与 CK 处理比较, 蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶的活性显著增加 37.20%、65.39%、77.27% 和 47.33% ($P<0.05$), 与 T1 处理比较, 蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶的活性显著增加 36.27%、42.15%、44.45% 和 46.54% ($P<0.05$)。由此可见, 不同处理对玉米制种田酶活性的影响大小依次为 T3>T2>T1>CK。T1 处理可增加脲酶和磷酸酶的活性, T2、T3 处理可增加土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶的活性。

2.5 不同处理对制种玉米农艺性状及产量的影响

表 6 分析表明, 不同处理的玉米株高、穗长变化无显著性差异, 但对茎粗、穗粒数和千粒重有一定影响。其中 T1 处理的茎粗较 CK 增加 5.39%, 穗粒数和千粒重分别较 CK 增加 5.81% 和 2.60%, 差异不显著 ($P>0.05$)。T2 和 T3 处理的茎粗较 CK 处理显著增加 13.28% 和 17.84%, 较 T1 处理显著增加 7.48% 和 11.81%。T2 和 T3 处理的穗粒数较 CK 处理显著增加 13.32% 和 17.22%, 较 T1 处理显著增加 7.09% 和 10.78%。T2 和 T3 处理的千粒重较 CK 处理显著增加 3.53% 和 4.07%。说明 T2、T3 处理有利于改善玉米穗部性状和产量构成因素。产量分析表明, 各处理产量依次是 T3>T2>T1>CK。其中 T1 较 CK 处理增产 5.45%, 差异不显著 ($P>0.05$), T2 和 T3 较 CK 处理显著增产 9.91% 和 11.45% ($P<0.05$)。产量的提高主要是因增加了穗粒数和千粒重。

表 5 不同处理对玉米制种田土壤酶活性的影响

处理	蔗糖酶 [mg/(g·d)]	脲酶 [mg/(g·d)]	磷酸酶 [mg/(g·d)]	过氧化氢酶 [mL/(g·h)]
CK	2.93b	1.04c	0.22c	3.74b
T1	2.95b	1.21b	0.27b	3.76b
T2	3.87a	1.66a	0.36a	5.23a
T3	4.02a	1.72a	0.39a	5.51a

表6 不同处理对制种玉米农艺性状及产量的影响

处理	株高 (cm)	茎粗 (cm)	穗长 (cm)	穗粒数 (粒/穗)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)	较CK增产 (%)
CK	186.3a	2.41b	13.2a	225.3b	334.0b	7372.5b	—
T1	196.9a	2.54b	13.8a	238.4b	342.7ab	7774.5b	5.45
T2	204.7a	2.73a	14.2a	255.3a	345.8a	8103.2a	9.91
T3	206.3a	2.84a	15.3a	264.1a	347.6a	8216.5a	11.45

3 讨论

连作障碍是制约河西走廊玉米制种基地可持续发展的主要因素,消除连作障碍的关键是改善土壤的微生态环境,提升耕地质量。本研究针对当地施肥结构不合理、化肥超施的现状,以传统施肥为基础,选择合适的土壤调理剂和生物菌肥,探讨化肥减量下有机肥配施土壤调理剂、生物菌肥的加成效应对制种玉米连作土壤生态修复的生态学意义,为化肥的有机替代提供理论依据。

3.1 化肥减量下有机肥配施生物菌肥和土壤调理剂对土壤理化性状的影响

土壤理化性质的恶化是造成连作障碍发生的重要因素^[3]。已有研究认为,长期玉米连作配合施有机肥可显著降低土壤容重,增加土壤孔隙度、水分储量和有机碳,改善土壤理化性质^[24]。土壤调理剂可以改良土壤盐渍化状况,能优化土壤理化性质,活化土壤养分,达到显著提高作物产量的目的^[25]。本研究表明,长期连作玉米制种田在化肥减量下增施有机肥、土壤调理剂和生物菌肥,可显著降低土壤容重,降低土壤pH,增加土壤孔隙度、团聚体和饱和持水量,提高土壤有机质、有机碳和供碳量。与前人研究结果具有相似性^[26-27]。但本研究中仅在减少传统施化肥用量的基础上增施土壤调理剂对优化土壤理化性质的作用并不明显,可能与选择的土壤调理剂功能性不同有关。一些学者认为,施用不同的土壤调理剂对土壤理化性质的影响也不同^[28-29]。本研究中化肥减量下有机肥配施生物菌肥和土壤调理剂后能显著优化土壤理化性质,达到了有效改良土壤环境的目的。分析其原因,可能与生物菌肥和土壤调理剂中含有大量的有机质及未矿化营养元素,有效提高了土壤的有机质和养分含量,土壤有机质的增加能够增强土壤微生物的活性,提高土壤酶活性,促进土壤有机质和养分的分

解,进而增加土壤速效养分有关^[30];另外,生物菌肥中含有有益的微生物,其中的枯草芽孢杆菌能够分泌淀粉酶和蛋白酶,将土壤中大分子的有机物质转化为作物易吸收的养分^[31];地衣芽孢杆菌能够分泌几丁质酶、抗菌蛋白、多肽类等蛋白类抗菌物质,可有效抑制一些病原菌的繁殖,进而降低一系列的土传病害,减轻了病害对产量的影响^[32]。目前市场上土壤调理剂及生物菌肥产品种类繁多,其有效成分和效果不一,关于不同类型土壤调理剂和生物菌肥配施的连作障碍生态修复效应有待进一步研究。

3.2 化肥减量下有机肥配施生物菌肥和土壤调理剂对土壤酶活性的影响

土壤酶参与土壤各种生物化学过程是表征土壤环境的重要指标之一^[33]。其中,土壤蔗糖酶直接参与有机物代谢,其活性与土壤肥力呈正相关,可以作为评价土壤熟化程度、生化强度和土壤肥力的指标之一^[34];土壤脲酶和磷酸酶分别反映土壤中氮、磷等主要营养元素的转化和供给情况;过氧化氢酶活性与土壤微生物数量、活跃程度有很强的联系,可用来表征土壤的生化活性^[35]。张凌云^[36]研究认为,营养型土壤改良剂主要是通过增加土壤中微生物数量,提高土壤酶活性,激活土壤中的营养元素来改良土壤,提高土壤肥力。本研究中增施生物菌肥可显著增加蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶的活性,主要原因是生物菌肥含有丰富的有机营养物质和有益微生物,可促进微生物代谢,加速土壤有机物转化利用,进而提高土壤酶活性和营养元素的供给。

3.3 化肥减量下有机肥配施生物菌肥和土壤调理剂对土壤微生物种群结构的影响

微生物生理类群在土壤微生态中发挥着重要的作用,在物质转化中具有特定的功能^[37]。邢会琴等^[38]研究认为,玉米长期连作导致土壤微生物种

群结构失衡,有益微生物数量减少,土壤真菌化现象严重。本试验表明,增施生物菌肥和土壤调理剂可减少土壤真菌的数量,增加土壤细菌和放线菌的数量。这与张蕾等^[26]、马阳等^[39]研究结果相一致。分析其原因可能与施加微生物菌剂和土壤调理剂后为微生物生长提供了丰富碳源和良好的微生态环境,从而使土壤有益微生物数量增加,病原微生物下降有关。关于生物菌肥和土壤调理剂对土壤微生物群落结构的影响有待于进一步深入研究。

3.4 化肥减量下有机肥配施生物菌肥和土壤调理剂对制种玉米产量和经济性状的影响

吴云艳^[40]研究认为,施用生物菌肥可增加玉米根生物量和根长,增强根系活力,促进玉米产量的形成。本试验表明,化肥减量下有机肥配施生物菌肥和土壤调理剂有利于改善玉米茎粗、穗粒数和千粒重等农艺经济性状,显著提高产量。这与有机肥配施生物菌肥和土壤调理剂有效改善了土壤理化性状和微生态环境,从而促进了玉米生长发育,协调了玉米产量构成因素有密切关联。与前人研究结果有较强的一致性。

4 结论

综合分析可得,本试验条件下 T3 (70% 化肥 + 有机肥 + 土壤调理剂 + 生物菌肥) 处理效果最佳,其次是 T2 (70% 化肥 + 有机肥 + 生物菌肥) 处理,分别较 CK 处理显著增产 11.45% 和 9.91%。有利于改善河西走廊玉米制种田连作土壤理化性质,降低土壤容重和 pH,增加土壤 CEC、有机质、有机碳和供碳量,提高土壤酶活性及饱和持水量,改变微生物种群结构,提高作物产量,以达到有效缓解连作障碍的目的。

参考文献:

[1] 王娟, 郑荣, 张东昱. 张掖市制种玉米连作障碍土壤生态修复技术集成研究 [J]. 土壤肥料, 2015 (6): 32-33.

[2] 陈海龙, 王生兰. 张掖市甘州区制种玉米连作的危害及治理措施 [J]. 土壤肥料, 2016 (10): 69-71.

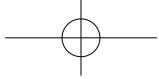
[3] 耿贵, 杨瑞瑞, 於丽华, 等. 作物连作障碍研究进展 [J]. 中国农学通报, 2019, 35 (10): 36-42.

[4] 高晓燕, 李天忠, 李松涛, 等. 有机肥对梨果实品质及土壤理化性状的效应 [J]. 中国果树, 2007 (5): 26-28.

[5] 付崇毅, 张秀芳, 王玉静, 等. 施用有机肥和硫磺粉对北方日光温室南丰蜜橘生长及石灰性土壤化学性质的影响 [J].

中国土壤与肥料, 2013 (2): 17-21.

- [6] 张济世, 于波涛, 张金凤, 等. 不同改良剂对滨海盐渍土壤理化性质和小麦生长的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23 (3): 704-711.
- [7] 曾维爱, 曾敏, 周航, 等. 腐殖酸和硫酸铁配施改良偏碱烟田土壤的研究 [J]. 水土保持学报, 2013, 27 (3): 170-173.
- [8] Valentin F, Nortes P A, Dominguez A, et al. Comparing evapotranspiration and yield performance of maize under sprinkler, superficial and subsurface drip irrigation in a semi-arid environment [J]. Irrigation Science, 2020, 38 (6): 105-115.
- [9] 于晓东, 郭新送, 陈士更, 等. 腐殖酸土壤调理剂对黄河三角洲盐碱土化学性状及小麦产量的影响 [J]. 农学学报, 2020, 10 (11): 25-31.
- [10] 朱会调, 高登涛, 白茹, 等. 黄腐酸对土壤养分、葡萄品质和产量的影响 [J]. 新疆农业科学, 2021, 58 (4): 672-681.
- [11] 吴军虎, 李玉晨, 邵凡凡, 等. 生化黄腐酸对土壤物理性质及水分运动特性的影响 [J]. 水土保持学报, 2021, 35 (4): 159-164, 171.
- [12] 丁俊杰, 刘凯, 姚亮亮, 等. 微生物菌剂及硅肥对盐碱地水稻生长发育及土壤环境的影响 [J]. 中国稻米, 2022, 28 (1): 63-66.
- [13] 高向南. 生物菌肥在农业生产中的价值和作用 [J]. 化工管理, 2022 (1): 51-53.
- [14] 程红玉, 肖占文, 秦嘉海, 等. 几种抗重茬剂在制种玉米上的应用效果初探 [J]. 种子, 2012, 31 (10): 97-99.
- [15] 马世军, 闫治斌, 秦嘉海, 等. 功能性肥料对制种玉米田物理性质和微生物数量的影响及最佳施肥量的研究 [J]. 土壤, 2013, 45 (6): 1076-1081.
- [16] 张春梅, 闫治斌, 秦嘉海, 等. 营养型改土剂对土壤理化性质和持水量及制种玉米经济效益的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32 (4): 140-144.
- [17] 李栋, 闫治斌, 王学, 等. 多功能改土剂配方筛选及对河西内陆灌区制种玉米田的改土培肥效应 [J]. 水土保持通报, 2017, 37 (2): 89-95.
- [18] 刘玉环, 闫治斌, 王学, 等. 功能型土壤改良剂对灰棕荒漠土的改良效果 [J]. 土壤通报, 2018, 49 (1): 150-158.
- [19] 景鹏成, 王树林, 陈乙实. 不同剂量多功能调理剂对土壤物理性质和制种玉米经济效益的影响 [J]. 新疆农业科学, 2017, 54 (2): 234-242.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [21] 陆欣. 土壤肥料学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 50-52.
- [22] 王贺祥. 农业微生物学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 364-366.
- [23] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986: 260-360.
- [24] 郭金瑞, 宋振伟, 高洪军, 等. 玉米大豆长期轮作对土壤物理特性与水热特征的影响 [J]. 大豆科学, 2017, 36 (2): 226-232.
- [25] 刘娟, 梁俊梅, 段玉, 等. 有机硅土壤调理剂和功能肥对



- 盐碱地的改良及向日葵产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2022, 38 (23): 77-81.
- [26] 张蕾, 吴文强, 王维瑞, 等. 土壤调理剂及其配施微生物菌肥对设施菜田次生盐渍化土壤改良效果研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2021 (3): 264-271.
- [27] 王光飞, 高晓东, 马艳, 等. 生物有机类复合调理剂在设施叶菜障碍土壤上的应用效果 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (2): 56-65.
- [28] 魏岚, 杨少海, 邹献中, 等. 不同土壤调理剂对酸性土壤的改良效果 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2010, 36 (1): 77-81.
- [29] 马林, 师伟杰, 丁亮, 等. 土壤调理剂对盐化潮土理化性状及玉米产量的影响 [J]. 土壤与作物, 2017, 6 (3): 180-184.
- [30] 司海丽, 纪立东, 李磊, 等. 生物有机肥对宁夏盐碱地土壤养分和生物学特性的影响 [J]. 土壤, 2022, 54 (6): 1124-1131.
- [31] 陈鑫, 张杰, 刘燕燕, 等. 氮磷钾配施生物有机肥对旱作农业区玉米产量和品质的影响 [J]. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2021, 52 (6): 903-910.
- [32] 郭之乐, 杨宸, 孙朝阳, 等. 生物有机肥在作物品质改良和土壤修复中的研究进展 [J]. 湖南农业科学, 2022 (11): 101-106.
- [33] 苏洁琼, 李新荣, 鲍婧婷. 施氮对荒漠化草原土壤理化性质及酶活性的影响 [J]. 应用生态学报, 2014, 25 (3): 664-670.
- [34] 薛立, 陈红跃, 邝立刚. 湿地松混交林地土壤养分、微生物和酶活性的研究 [J]. 应用生态学报, 2003, 14 (1): 157-159.
- [35] Dou F, Wright A L, Hons F M. Depth distribution of soil organic C and N after long-term soybean cropping in Texas [J]. Soil & Tillage Research, 2007, 94 (2): 530-536.
- [36] 张凌云. 土壤改良剂研究概况 [J]. 农业开发与装备, 2013 (7): 98.
- [37] 黄益宗, 冯宗炜, 张福珠. 化感物质对土壤硝化反应影响的研究 [J]. 土壤与环境, 1999, 8 (3): 203-207.
- [38] 邢会琴, 肖占文, 闫吉智, 等. 玉米连作对土壤微生物和土壤主要养分的影响 [J]. 草业科学, 2001, 28 (10): 1777-1780.
- [39] 马阳, 郑卫红, 张培, 等. 不同调控措施对甜瓜土壤性质、细菌多样性和产量的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2022, 45 (1): 48-54.
- [40] 吴云艳. 生物菌肥对玉米根系特性及土壤酶活性的影响 [J]. 辽东学院学报 (自然科学版), 2020, 27 (4): 229-233.

The ecological restoration effect of organic fertilizer combined with soil conditioner and biological fertilizer on continuous cropping soil of maize seed production under chemical fertilizer reduction

XIAO Zhan-wen¹, ZHAO Zhi-xi^{2, 3}, ZHAO Yun-chen¹, CHENG Hong-yu^{1*}, MA Yin-shan¹, PU Chao¹, FU Yu-ye³
 (1. College of Agriculture and Ecological Engineering, Hexi University/The Engineering Technology Center of Corn Seed in Hexi Corridor/key Laboratory of Hexi Corridor Resources Utilization of Gansu Province, Zhangye Gansu 734000; 2. Zhangye Academy of Agricultural Sciences, Zhangye Gansu 734000; 3. Zhangye Zhongtian Agricultural Technology Co. Ltd., Zhangye Gansu 734000)

Abstract: The influence of continuous cropping obstacles on maize seed production fields in Hexi Corridor is increasing year by year. How to effectively alleviate the continuous cropping obstacles and improve the quality and productivity of cultivated land was an urgent problem to be solved. In this study, a randomized block design was adopted in a maize planting field with continuous cropping for 18 years. Based on 100% conventional fertilizer (N 375.0 kg/hm², P₂O₅ 150.0 kg/hm², K₂O 120.0 kg/hm²) + organic fertilizer 15000.0 kg/hm², four treatments were set up: CK (70% fertilizer + organic fertilizer), T1 (70%chemical fertilizer + organic fertilizer + soil conditioner), T2 (70% chemical fertilizer + organic fertilizer + bio-fertilizer) and T3 (70% chemical fertilizer + organic fertilizer + soil conditioner + bio-fertilizer), and their effects on the physicochemical properties, microbial population changes, soil enzyme activity, and yield of continuous cropping soil in maize seed fields were studied. The results showed that different treatments had different ecological restoration effects on long-term continuous cropping soil of maize. Compared with CK, T1, T2 and T3 treatments had no obvious effect on soil alkaline hydrolysis nitrogen, available phosphorus and available potassium. Compared with CK, the soil bulk density and pH of T2 and T3 treatments were decreased significantly, soil total porosity, aggregate and saturated water capacity were increased significantly, soil organic matter, organic carbon and carbon supply were increased significantly, soil cation exchange capacity, sucrase, urease, phosphatase and catalase activity were increased significantly, fungi was decreased significantly, and bacteria and actinomycetes were increased significantly. Compared with CK, T1, T2 and T3 treatments had certain effects on stem diameter, grain number and 1000-seed weight of maize. The stem diameter of T2 and T3 treatments were increased by 13.28% and 17.84%, the grain number were increased by 13.32% and 17.22%, 1000-seed weight were increased by 3.53% and 4.07%, and the yield were increased significantly by 9.91% and 11.45%, respectively. Under the conditions of this experiment, T3 treatment had the best effects on ecological restoration and yield increase in maize seed continuous cropping soil.

Key words: continuous cropping field for maize seed production; chemical fertilizer reduction; biological fertilizer; soil conditioner; ecological restoration