

连作对玉米制种田土壤养分和土壤酶活性的影响^①

程红玉, 肖占文*, 秦嘉海, 王 瑞

(河西学院农业与生物技术学院, 甘肃张掖 734000)

摘 要:通过对河西走廊玉米制种田不同连作年限土壤样品的采集和测试分析, 研究了连作对玉米制种田土壤养分及土壤酶活性的影响。结果表明:随着连作年限的延长, 灌淤旱耕人为土和盐积潮湿变性土 pH 均在升高, 而有机质含量均呈先下降后上升的趋势, 碱解氮含量均呈增加趋势, 而速效磷含量先上升后下降并且两类土均在连作 5 年达到最大值, 速效钾含量均呈下降趋势;灌淤旱耕人为土和盐积潮湿变性土脲酶活性均呈先上升后下降的趋势, 两类土分别在连作 5 年和 3 年达到最大值;蔗糖酶活性先下降后上升, 两类土分别在连作 5 年和 3 年降为最低, 而过氧化氢酶活性在灌淤旱耕人为土上先下降后上升, 在盐积潮湿变性土上呈缓慢上升趋势;同一连作年限, 灌淤旱耕人为土脲酶活性、过氧化氢酶活性高于盐积潮湿变性土;相关性分析表明, 灌淤旱耕人为土脲酶活性与速效磷含量, 蔗糖酶活性与有机质含量呈显著正相关;盐积潮湿变性土过氧化氢酶活性与碱解氮含量呈极显著正相关, 与速效磷和速效钾含量呈显著负相关。

关键词:连作;玉米制种田;土壤养分;酶活性

中图分类号:S153.6;S154.2

甘肃省河西走廊是我国玉米杂交制种的优势生产基地, 常年制种面积稳定在 6~7 万 hm^2 , 年产种子占全国玉米用种量的近 50%, 目前, 玉米制种已成为当地农业增效、农民增收的主导产业^[1]。但随着制种面积的逐年增加, 土壤连作程度加重, 据调查, 河西走廊制种玉米连作年限普遍在 8~10 年, 长的达 15 年以上。长期连作导致土壤肥力下降, 农田生态失衡, 玉米病害发生频繁, 严重影响了玉米制种的产量和品质^[2]。众多学者开展了关于连作对土壤生态功能影响的研究, 认为连作后土壤结构遭到严重破坏, 表现为土壤比重、体积质量增大, 孔隙度和良好团聚体的比例下降^[3];连作还导致土壤养分含量不均衡, 土壤有机质、钾含量下降, 而氮、磷含量增加^[4];另外, 连作使生物多样性水平降低, 造成细菌型土壤向真菌型土壤转化^[5-7]。土壤酶是土壤生物学活性的重要组成部分, 它催化土壤有机物的矿化并释放无机养分, 参与土壤腐殖质的形成和分解, 反映了土壤各种生物化学过程的动向和强度, 其活性与土壤的理化性质和其他生物学特征紧密相关, 近年来成为研究连作对土壤质量影响的重要内容。刘建国等人^[4]通过对新疆棉花连作研究, 发现土壤脲酶、过氧化

氢酶、转化酶、蛋白酶和中性磷酸酶活性随着连作年限增加呈先下降后上升趋势, 过氧化物酶活性随着连作时间延长而增加。目前, 有关连作对玉米制种田土壤酶活性的研究尚未见报道。本研究以河西走廊灌淤旱耕人为土和盐积潮湿变性土两种类型土壤为研究对象, 通过定位试验方法, 研究不同连作年限对玉米制种田土壤养分和土壤酶活性的影响, 为河西走廊玉米制种产业的持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2010 年 9 月在甘肃省张掖市甘州区沙井镇沙井村二社和乌江镇东湖村三社进行, 土壤类型分别为灌淤旱耕人为土和盐积潮湿变性土, 分别在上述两个土类上选择连作 1、3、5、9、11 年的玉米制种田, 采用交叉线五点法, 采集玉米植株根际 0~30 cm 土样, 用四分法混合缩分土样, 带回室内风干过筛后, 测定土壤养分和土壤酶活性。

1.2 测定项目与方法

土壤 pH 采用酸度计法(水:土 = 5:1);有机质

①基金项目:甘肃省科技支撑项目(1011NKCG081)和甘肃省高校河西走廊特色资源利用重点实验室面上项目(XZ0701)资助。

* 通讯作者(xzw2868@163.com)

作者简介:程红玉(1982—), 女, 甘肃徽县人, 硕士, 讲师, 主要从事土壤肥料及植物生理生态的教学和科研工作。E-mail: chenghy722@126.com

采用重铬酸钾法；碱解氮采用碱解扩散法；速效磷采用 NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法；速效钾采用中性 NH_4Ac 浸提-火焰光度法测定^[8]。脲酶采用靛酚比色法测定，结果以 24 h 后 1 g 土壤中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的毫克数表示；蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸法，结果以 24 h 后 1 g 土壤中葡萄糖的毫克数表示；过氧化氢酶采用 KMnO_4 滴定法，其活性以 1 g 土所消耗 0.1 mol/L KMnO_4 的毫升数表示^[9]。

2 结果与分析

2.1 连作对土壤养分的影响

土壤的 pH 对植物的生长发育、土壤微生物数量、活性以及土壤养分有效性影响很大^[10]。由表 1 可以看出，两种类型土壤 pH 均随连作年限的增长而逐年增加，盐积潮湿变性土 pH 8.1 ~ 8.4，灌淤旱耕人为土 pH 8.3 ~ 8.6，后者高于前者。随着连作年限增长土壤有机质含量呈先下降后上升的趋势，灌淤

旱耕人为土和盐积潮湿变性土均在连作 5 年降为最低值，分别为 10.88、12.14 g/kg；两种类型土壤碱解氮含量均随连作年限的增长而增加，连作 3、5、9、11 年后，灌淤旱耕人为土分别比连作 1 年增加 8.68%、28.57%、29.08%、46.95%，盐积潮湿变性土分别比连作 1 年增加 12.54%、23.39%、32.77%、37.27%；土壤速效磷含量随连作年限的增长呈先上升后下降趋势，灌淤旱耕人为土和盐积潮湿变性土均在连作 5 年达到最大值，分别比连作 1 年增加 42.59% 和 23.28%；土壤速效钾含量随着连作年限增长逐渐下降，灌淤旱耕人为土连作 3 年与连作 1 年相比差异不显著，连作 5 年以后速效钾含量显著下降，连作 5、9 和 11 年速效钾含量分别是连作 1 年的 87.27%、67.78% 和 48.15%；盐积潮湿变性土连作 3 年与连作 5 年相比差异不显著，连作 5 年后显著下降，连作 3、5、9 和 11 年速效钾含量分别是连作 1 年的 90.65%、88.11%、70.67%、45.94%。

表 1 不同连作年限玉米制种田土壤养分
Table 1 Soil nutrients of corn-seed field soils under different years of continuous cropping

土壤类型	年限(a)	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	pH
灌淤旱耕人为土	1	21.21 a A	69.97 d C	33.27 c B	216.50 a A	8.3 c C
	3	16.24 b B	76.04 c C	43.90 b A	202.20 ab AB	8.4 bc B
	5	10.88 c B	89.96 b B	47.44 a A	188.95 b B	8.5 ab AB
	9	13.80 b BC	90.32 b B	30.51 c B	146.75 c C	8.5 ab AB
	11	15.29 b C	102.82 a A	16.92 d C	104.25 d D	8.6 a A
盐积潮湿变性土	1	17.50 a A	60.23 d D	28.56 b B	172.81 a A	8.1 d D
	3	14.65 b AB	67.78 c C	33.42 a A	156.65 b B	8.2 c C
	5	12.14 c B	74.32 b B	35.21 a A	152.27 b B	8.3 b B
	9	16.56 ab A	79.97 a A	19.13 c C	122.13 c C	8.3 b B
	11	16.79 ab A	82.68 a A	7.49 d D	79.39 d D	8.4 a A

注：表中同列数据后不同大、小写字母分别表示不同处理差异在 $P<0.01$ 、 $P<0.05$ 水平显著。

2.2 连作对土壤酶活性的影响

2.2.1 土壤脲酶 脲酶能促进土壤中含氮有机化合物尿素分子酰胺肽键的水解，生成的氨是植物氮素营养来源之一，人们常用土壤脲酶活性表征土壤的氮素情况^[11-12]。由图 1 可以看出，灌淤旱耕人为土随着玉米制种种植年限的增加，呈先升高后降低的趋势，连作 5 年时脲酶活性达到最高，连作 9 年和 11 年显著降低。盐积潮湿变性土脲酶活性变化与灌淤旱作为土相似，不同的是盐积潮湿变性土在连作 3 年时脲酶活性达到最高，之后脲酶活性处于较低水平。同一连作年限，灌淤旱耕人为土脲酶活性高于盐积潮湿变性土，就脲酶活性而言，盐积潮湿变性土比灌淤旱耕人为土对玉米制种的连作障碍的响应相对要快些。脲

酶活性的降低将会降低对尿素的转化作用，氮素供应减少严重影响制种玉米的生长发育和产量。

2.2.2 土壤蔗糖酶 蔗糖酶可促进蔗糖分解成葡萄糖和果糖，提高土壤的生物活性，是表征土壤生物学活性的重要酶，可以反映土壤的熟化程度和肥力水平，其活性并不始终与土壤中的微生物数目一致，具有相对的稳定性^[13-14]。由图 2 可以看出，两种类型土壤蔗糖酶活性均随连作年限增长呈先下降后上升趋势，其中灌淤旱耕人为土连作 5 年时活性降为最低，而盐积潮湿变性土连作 3 年时活性降为最低。盐积潮湿变性土连作 1 年与 11 年无显著差异，但与连作 3、5、9 年差异均达极显著水平($P<0.01$)；灌淤旱作为土连作 1 年与 3、5、9、11 年差异均达极显著水平 ($P<0.01$)。

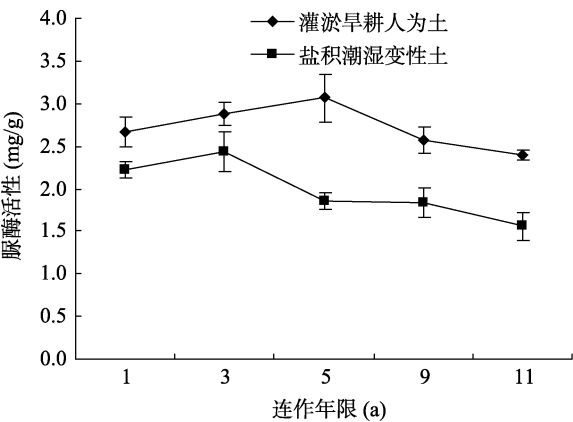


图 1 不同连作年限土壤脲酶活性
Fig. 1 The urease activity of soil under different years of continuous cropping

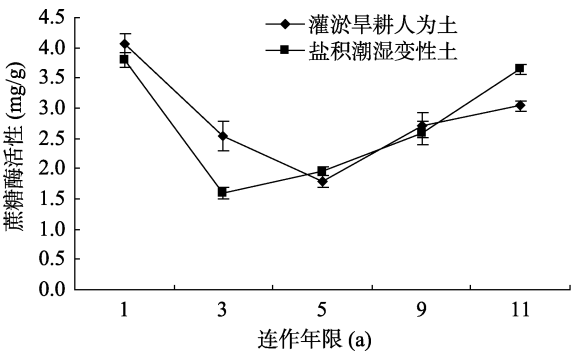


图 2 不同连作年限土壤蔗糖酶活性
Fig. 2 The sucrase activity of soil under different years of continuous cropping

2.2.3 土壤过氧化氢酶 土壤过氧化氢酶能破坏土壤生化反应中生成的 H_2O_2 ，减轻对植物的危害^[12]，同时也能在 H_2O_2 存在条件下酶促土壤有机物(如酚、胺类等)氧化生成醌并参与腐殖质的合成过程^[15]。由图 3 可以看出，灌淤旱耕人为土过氧化氢酶活性随连作年限的增长呈先下降后缓慢上升的趋势，连作 1 年>11 年>9 年>5 年>3 年；而盐积潮湿变性土过

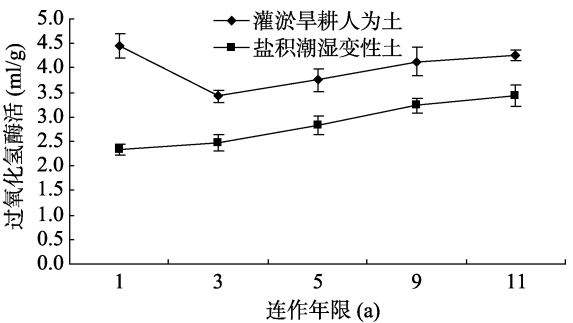


图 3 不同连作年限土壤过氧化氢酶活性
Fig. 3 The catalase activity of soil under different years of continuous cropping

氧化氢酶的活性随连作年限的增加而升高，连作 11 年>9 年>5 年>3 年>1 年，同一连作年限，灌淤旱耕人为土过氧化氢酶活性显著高于盐积潮湿变性土，并且酶活性一直处于较高水平。过氧化氢酶活性的提高说明土壤中氧化作用增强，根际微生物代谢活跃，过氧化氢分解加快，减弱了对根系的毒害作用^[16]，这在一定程度上缓解了玉米制种连作障碍，尤其是灌淤旱耕人为土表现得更为显著。

2.3 土壤酶活性与土壤养分的关系

2.3.1 灌淤旱耕人为土酶活性与土壤养分的关系

灌淤旱耕人为土不同连作年限土壤酶活性与土壤养分相关性分析表明(表 2)，土壤脲酶活性与土壤速效磷含量呈极显著正相关，土壤蔗糖酶活性与土壤有机质呈显著正相关，而过氧化氢酶与土壤化学性状无显著相关关系，土壤碱解氮、速效钾含量和 pH 与灌淤旱耕人为土土壤酶活性也无显著相关关系。

2.3.2 盐积潮湿变性土酶活性与土壤养分的关系

盐积潮湿变性土不同连作年限土壤酶活性与土壤养分相关性分析表明(表 3)，土壤过氧化氢酶活性与土壤碱解氮含量呈极显著正相关，与土壤速效磷、速效钾含量呈显著负相关，与土壤 pH 呈显著正相关，而

表 2 连作灌淤旱耕人为土酶活性与土壤养分的关系

Table 2 Relationship between enzyme activities and soil nutrients of Siltigi-Orthic Anthrosols in corn-seed field of continuous cropping

	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾	pH
脲酶	-0.373	-0.399	0.975**	0.705	-0.341
蔗糖酶	0.939*	-0.420	-0.521	0.117	-0.513
过氧化氢酶	0.477	0.115	-0.712	-0.294	-0.417

注：* 表示在 $P<0.05$ 水平显著相关，** 表示在 $P<0.01$ 水平极显著相关，下表同。

表 3 连作盐积潮湿变性土酶活性与土壤养分的相关性

Table 3 Relationship between enzyme activities and soil nutrients of Sali-Aquic Vertosols in corn-seed field of continuous cropping

	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾	pH
脲酶	-0.060	0.846	0.765	0.825	-0.839
蔗糖酶	0.785	0.025	-0.498	-0.319	-0.034
过氧化氢酶	0.125	0.974**	-0.882*	-0.937*	0.935*

土壤脲酶和蔗糖酶活性与盐积潮湿变性土化学性状间无显著相关关系。因此, 过氧化氢酶活性可作为表征盐积潮湿变性土土壤化学性状变化的重要指标。

3 结论与讨论

研究表明, 河西走廊玉米制种田随着连作年限的延长, 土壤 pH 升高, 土壤有机质含量呈先下降后上升趋势, 碱解氮含量呈增长趋势, 速效磷含量先上升后下降, 速效钾含量下降, 研究结果与王洋等人^[17]研究结果基本一致。分析其原因可能与农户长期使用氮肥, 磷钾肥使用量不足的施肥习惯有关。其中在灌淤旱耕人为土和盐积潮湿变性土速效钾连作 5 年后显著下降, 速效磷均在连作 5 年达到最大值, 说明玉米连作 5 年以下可行的, 但要加强地力培肥。

土壤酶活性是表征土壤肥力的重要指标^[9,18]。玉米长期连作土壤脲酶活性呈先上升后下降的趋势, 其主要原因是连作年限延长, 土壤营养元素状况、熟化程度、肥力水平等不利于微生物活动与繁殖, 长期连作土壤氮素存在严重流失问题, 从而导致酶活性降低。玉米长期连作土壤蔗糖酶活性呈先下降后上升的趋势, 这可能与传统农田的耕作方式和大量施用化肥等有关, 还有待于进一步探讨。土壤过氧化氢酶活性灌淤旱耕人为土呈先下降后上升的趋势, 盐积潮湿变性土呈缓慢上升的趋势, 原因是由于玉米根系产生分泌物过多残留和积累, 产生了自身的毒害作用以及土壤微生物种群的变化, 从而抑制了土壤酶的活性, 而随着连作年限的延长, 由于生物在变化环境中具有协调和适应过程, 而土壤酶在逆境环境条件下具有一定的抗逆性即相对稳定的保护容量, 因而随着连作年限的延长, 生物适应性增强, 使土壤酶的保护容量在新环境下逐步恢复^[9]。

将土壤酶与土壤养分进行相关性分析可以看出, 灌淤旱耕人为土土壤脲酶活性与土壤速效磷含量, 土壤蔗糖酶活性与土壤有机质含量呈显著正相关。盐积潮湿变性土过氧化氢酶活性与土壤碱解氮含量呈极显著正相关, 与 pH 呈显著正相关, 与土壤速效磷和速效钾含量呈显著负相关, 说明改善土壤酶有利于提高土壤养分利用, 但不同土类中土壤酶的种类对土壤养分的影响不同, 其原因也需深入研究。

参考文献:

- [1] 肖占文, 闫吉治, 王多成, 赵致禧. 河西走廊玉米制种产业现状分析及可持续发展对策[J]. 中国种业, 2006(6): 9-11
- [2] 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
- [3] 柴仲平, 梁智, 王雪梅, 贾宏涛. 连作对棉田土壤物理性质的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(8): 192-195
- [4] 刘建国, 张伟, 李彦斌, 孙艳艳, 卞新明. 新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 725-733
- [5] 范君华, 龚明福, 刘明, 孙红专, 张利莉. 棉花连作对土壤养分、微生物及酶活性的影响[J]. 塔里木大学学报, 2008, 20(3): 73-76
- [6] 盘莫谊, 张杨珠, 肖嫩群, 谭周进. 烟草连作对旱地土壤微生物及酶活性的影响[J]. 世界科技研究与发展, 2008, 30(3): 295-297
- [7] 刘金波, 许艳丽. 我国连作大豆土壤微生物研究现状[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(1): 132-136
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 263-270
- [9] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 260-360
- [10] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 徐晶, 张夫道. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 406-410
- [11] 王恒飞, 张永清, 吴忠红, 周进财, 乔莎莎. 长期免耕对褐土理化性质和酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 29(2): 136-141
- [12] 张为政, 祝廷成, 张镇媛, 杨靖春. 作物茬口对土壤酶活性和微生物的影响[J]. 土壤肥料, 1993(5): 12-14
- [13] Dick RP, Myrold DD, Kerle EA. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted and rehabilitated skid trail soils[J]. Soil Science, 1998, 52: 512-516
- [14] 贺丽娜, 梁银丽, 高静, 熊亚梅, 周茂娟, 韦泽秀. 连作对设施黄瓜产量和品质及土壤酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(5): 155-159
- [15] Bohme L, Langer U, Bohme F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments[J]. Ecosystems and Environment, 2005, 109(1): 141-152
- [16] 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 朱永官. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 901-913
- [17] 王洋, 齐晓宁, 刘兆永, 李泽兴. 黑土区长期连作玉米农田土壤肥力变化及其评价——以德惠市为例[J]. 土壤, 2008, 40(3): 495-499
- [18] 张翼, 张长华, 王振民, 黄建国. 连作对烤烟生长和烟地土壤酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(12): 211-215

Effects of Continuous Cropping on Soil Nutrient and Enzyme Activities of Corn-seed Field Soil

CHENG Hong-yu, XIAO Zhan-wen^{*}, QIN Jia-hai, WANG Rui

(College of Agriculture and Biotechnology, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: The effects of soil nutrients and enzyme activities under continuous cropping were investigated by collecting and analyzing soil samples from corn-seed fields in Hexi Corridor. The results showed that with the increase of continuous cropping time, the pH of both Siltigi-Orthic Anthrosols (SOA) and Sali-Aquic Vertosols (SAV) increased, organic matter decreased first and then increased, available nitrogen increased, available phosphorus increased first and then decreased and it reached the maximum in the 5a, available potassium decreased. The urease activity increased first and then decreased, it reached the maximum in the 5a for SOA and in the 3a for SAV; the sucrase activity decreased first and then increased, it reduced to the minimum in the 5a for SOA and in the 3a for SAV; the catalase activity of SOA decreased first and then increased while that of SAV increased slowly. In same continuous cropping years, the activities of urease and catalases of SOA were higher than those of SAV. There were significant positive correlation between urease activity and available phosphorus, sucrase activity and organic matter of SOA, extremely significant positive correlation between catalase activity and available nitrogen, but negative correlation between catalase activity and available phosphorus, available potassium of SAV.

Key words: Continuous cropping, Corn seed production, Soil Nutrient, Enzymes activities