

设施辣椒连作对土壤理化性状、酶活性及微生物区系的影响

韩海蓉, 李 屹, 陈来生, 杜中平, 熊荣波, 赵怡文, 韩 睿*

(青海大学农林科学院, 青海省蔬菜遗传与生理重点实验室, 青海 西宁 810016)

摘 要:以青海省尖扎县设施辣椒连作土壤为对象, 研究不同连作年限土壤理化性状、酶活性及微生物区系的变化。结果表明, 土壤理化性状、酶活性、微生物数量及微生物量均表现出明显的连作效应。随着连作年限的增加, 土壤容重和电导率呈上升趋势, pH 呈下降趋势, 有机质、全氮、有效磷和速效钾呈先上升后下降趋势。土壤碱性磷酸酶、蔗糖酶、淀粉酶和过氧化氢酶随连作年限的增加均呈下降趋势, 脲酶和碱性蛋白酶呈先上升后下降趋势。与对照相比, 连作导致土壤细菌与真菌数量的比值降低, 土壤微生物量碳与微生物量氮比值升高, 土壤微生物群落结构由“细菌型”转变为“真菌型”。

关键词:辣椒; 连作; 理化性状; 酶活性; 微生物区系

连作障碍又称再植病, 是指同一作物在同一块土地连续种植两茬或者两茬以上之后, 土壤失去支持不同作物生长能力的现象^[1-2]。连作会导致土壤出现次生盐渍化、作物根系分泌物和盐分积累、养分失衡、土传病害加重及生态环境恶化等一系列问题, 形成对作物生长不良的逆环境, 导致作物品质和产量降低^[3-5]。连作障碍形成的原因复杂, 是土壤系统内多种因子综合作用的结果^[6]。Gao 等^[7]研究表明, 土壤微生物与甘薯常见的连作障碍有一定的关系。Nicola 等^[8]发现苹果的连作障碍是由影响微生物代谢及其与寄主相互作用的某些主要环境条件引起的。Li 等^[9]通过研究穿心莲的连作现象后表明, 连作会抑制参与代谢产物生物合成途径基因的表达水平, 导致其活性的合成下降。

辣椒为茄科辣椒属一年或多年生草本植物, 也是不宜连作的蔬菜作物之一, 因其独特的辣味和丰富的营养价值深受世界各国消费者的欢迎^[10]。辣椒是青海省种植面积最大的蔬菜作物之一, 也是青海省农业结构调整中重要的经济增长点。近年来, 随着菜篮子工程的实施和农业产业结构的调整, 辣

椒的栽培面积不断扩大, 现已达到 1.81 万 hm^2 , 占青海省蔬菜栽培总面积的 35%。特别是设施辣椒面积, 现已达到青海设施栽培蔬菜总面积的 50%。然而, 由于辣椒种植基地较为集中且连作较为普遍, 从而导致土壤退化, 土传病害增加, 产量和品质下降。连作障碍严重影响和制约着青海辣椒产业的可持续发展, 成为辣椒栽培亟需解决的问题。因此, 本研究通过开展青海设施辣椒连作对土壤理化性状、酶活性及微生物区系的影响, 探索设施辣椒连作障碍与土壤理化性状、酶活性及微生物区系之间的关系, 为解决青海省设施辣椒连作障碍问题提供理论基础和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验取材于尖扎县农业科技园区——青海省省级农业科技园区 ($101^{\circ}52'41.37''\text{E}$, $36^{\circ}6'2.06''\text{N}$) 种植辣椒的日光温室。尖扎县位于青海省东南部, 属于高原大陆性气候, 光照充足, 昼夜温差大, 年均气温较青海省部分地区高, 适宜辣椒的栽培。

1.2 样品采集

试验选取的日光温室长 68 m, 宽 10 m, 辣椒采用起垄覆膜种植, 一垄双行。每年基肥施用量为: 商品有机肥 10000 kg/hm^2 , 过磷酸钙 750 kg/hm^2 , 复合肥 ($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=15:15:15$) 375 kg/hm^2 , 氯化钾 112.5 kg/hm^2 。于 2016 ~ 2019 年每年 8 月中旬连续采样, 采集连作 1、2、3 和 4 年辣椒根际土壤的

收稿日期: 2020-03-08; 录用日期: 2020-07-21

基金项目: 青海省应用基础研究计划项目 (2019-ZJ-7052); 青海省科技成果转化专项 (2019-NK-116); 青海省科技合作专项 (2019-HZ-816); 青海省科技厅重点实验室项目 (2020-ZJ-Y02)。

作者简介: 韩海蓉 (1998-), 女, 青海门源人, 本科在读, 主要学习植物保护。E-mail: 1246702682@qq.com。

通讯作者: 韩睿, E-mail: hanrui11473@163.com。

土样, 分别用 SC1、SC2、SC3 和 SC4 表示。同时, 连作第 0 年的土样于 2016 年 1 月下旬辣椒定植前采集, 记为对照, 用 CK 表示。按照 5 点取样法采集辣椒根际 0 ~ 20 cm 的土壤, 取 3 个重复, 置于无菌袋内带回实验室, 过 2 mm 土筛后于 -80℃ 保存, 用于酶活性的测定。同时按照 5 点取样法另取同样的土壤样品装于无菌 12# 自封袋 (34 cm × 45 cm), 每个样品取 3 袋, 4℃ 保存, 过 2 mm 土筛后用于土壤理化性状和微生物区系的测定。

1.3 土壤理化性状测定

土壤容重采用环刀法测定; 电导率采用浸提法测定; 全氮采用半微量凯氏法测定; 全磷采用碳酸氢钠溶液浸提 - 钼锑抗比色法测定; 全钾采用氢氧化钠熔融 - 火焰光度法测定; 碱解氮采用碱解扩散法测定; 有效磷采用碳酸氢钠浸提 - 钼锑抗比色法测定; 速效钾采用火焰光度法测定; 有机质采用外加热重铬酸钾容量法测定; pH 采用电位法测定。

1.4 土壤酶活性测定

采用脲酶试剂盒测定脲酶, 结果以 24 h 后 1 g 土样中产生铵态氮的毫克数表示; 用过氧化氢酶试剂盒测定过氧化氢酶, 结果以 24 h 后 1 g 土样催化过氧化氢降解的微摩尔数表示; 用碱性磷酸酶试剂盒测定碱性磷酸酶, 结果以 24 h 后 1 g 土样释放酚的微摩尔数表示; 用蔗糖酶试剂盒测定蔗糖酶, 结果以 24 h 后 1 g 土样中产生还原糖的毫克数表示; 用淀粉酶试剂盒测定淀粉酶, 结果以 24 h 后 1 g 土样中产生还原糖的毫克数表示; 用碱性蛋白酶试剂盒测定碱性蛋白酶, 结果以 24 h 后 1 g 土样中产生酪氨酸的毫克数表示。

1.5 土壤微生物数量测定

微生物数量采用稀释平板法测定, 其中细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基, 真菌采用马丁氏培养基, 放线菌采用改良高氏 1 号培养基。

1.6 土壤微生物量测定

土壤微生物量碳 (MBC) 和微生物量氮 (MBN) 均采用氯仿熏蒸浸提法测定; 土壤微生物熵 (qMB) 按照 Anderson 等^[11] 的方法计算, 即微生物量碳与有机碳的比值。

1.7 数据处理

采用 DPS 7.05 数据处理系统中的 Tukey 法进行方差分析; 利用 Origin 2018 制图。

2 结果与分析

2.1 连作对设施辣椒产量及土壤理化性状的影响

由表 1 可知, 设施辣椒总产量 (629 m² 生产面积) 和小区 (约 210 m²) 产量随连作年限增加均呈显著下降趋势, SC4 的总产量和小区产量分别较 SC1 下降 52.74% 和 52.57%。连作对设施辣椒土壤理化性状的影响见表 2。随着连作年限的增加, 土壤容重和电导率呈上升趋势, pH 呈下降趋势; SC4 相比 CK, 容重和电导率分别显著增加了 1.86 和 2.45 倍, pH 显著减少了 10.79%; 随连作年限的增加土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾呈先上升后下降的趋势; 有机质、全氮和速效钾的峰值均在 SC1 时出现, SC4 较 SC1 分别下降了 31.65%、23.81% 和 58.19%, 而有效磷峰值在 SC2 时出现, SC4 较 SC2 下降了 84.65%。不同连作年限对全磷、全钾和碱解氮影响不显著。

表 1 连作对设施辣椒产量的影响

连作年限	总产量 (kg)	小区产量 (kg)
SC1	6218.5 ± 1.32a	2042.0 ± 2.65 a
SC2	4403.0 ± 3.47b	1697.0 ± 1.73 b
SC3	4256.5 ± 2.67c	1384.5 ± 2.16c
SC4	2939.0 ± 1.73d	968.5 ± 0.20d

注: 表中数据为平均值 ± 标准差, 同一列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

表 2 不同连作年限土壤理化性状的变化

连作 年限	容重 (g/cm ³)	电导率 (μS/cm)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH
CK	2.36 ± 0.20d	82.2 ± 2.65d	3.34 ± 0.61c	0.70 ± 0.13b	3.05 ± 0.13a	22.83 ± 1.33a	48 ± 1.97a	5.7 ± 0.75d	103 ± 2.39d	8.89 ± 0.24a
SC1	2.44 ± 0.20d	83.4 ± 2.89d	11.66 ± 0.72a	1.26 ± 0.13a	3.15 ± 0.12a	24.63 ± 1.18a	50 ± 2.07a	45.8 ± 2.24b	287 ± 58.36a	8.62 ± 0.25ab
SC2	3.37 ± 0.31c	140.4 ± 2.44c	10.99 ± 1.41a	1.24 ± 0.13a	3.18 ± 0.14a	22.82 ± 1.39a	47 ± 1.82a	78.2 ± 1.73a	206 ± 2.32b	8.59 ± 0.07ab
SC3	4.49 ± 0.25b	161.6 ± 2.35b	9.41 ± 0.74ab	1.19 ± 0.25a	3.20 ± 0.16a	24.73 ± 0.98a	45 ± 2.10a	46.6 ± 2.17b	179 ± 1.45bc	8.12 ± 0.16bc
SC4	6.75 ± 0.15a	284.0 ± 3.1a	7.97 ± 1.29b	0.96 ± 0.11ab	3.34 ± 0.16a	24.84 ± 1.57a	49 ± 1.27a	12.0 ± 0.96c	120 ± 3.38cd	7.93 ± 0.25c

2.2 设施辣椒连作对土壤酶活性的影响

连作对设施辣椒土壤酶活性的影响见图1。随着连作年限增加,土壤碱性磷酸酶、蔗糖酶、淀粉酶和过氧化氢酶均呈下降趋势,SC4较CK分别显著下降了75.10%、66.68%、53.23%和33.77%(图

1A、B、C、D)。土壤脲酶和碱性蛋白酶随连作年限增加呈先上升后下降趋势,其中脲酶峰值(SC3)分别较CK和SC4显著增加25.95%和24.10%;碱性蛋白酶峰值(SC2)分别较CK和SC4显著增加132.08%和134.10%(图1E、F)。

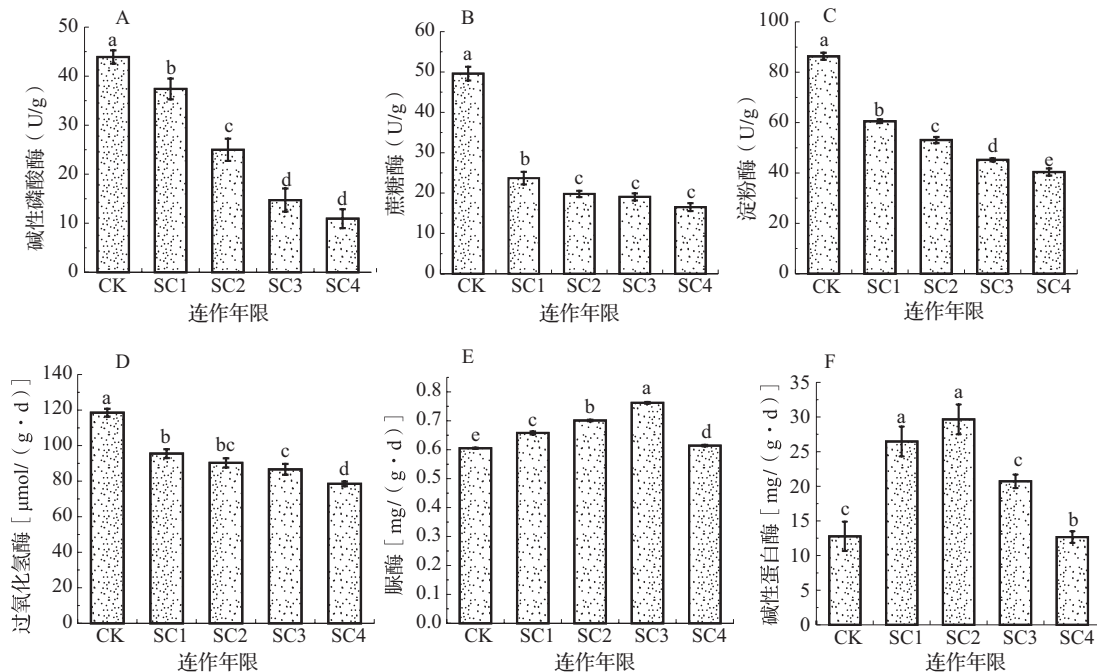


图1 设施辣椒连作对土壤酶活性的影响

注: 图中的不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 设施辣椒连作对土壤微生物数量的影响

微生物数量是反映土壤肥力的重要指标, 直接影响土壤的生物化学活性和土壤养分的组成和转化。由表3可知, 各连作年限土壤样品的细菌和真菌数量均与CK呈显著性差异, 而放线菌数量与CK无显著性差异。随着连作年限的增加, 细菌数量先增加后减少, 其中SC1细菌数量最多, 达到 20.15×10^6 cfu/g, 显著高出CK 6.33%; SC4数量最少, 显著低于CK 4.27%。真菌数量随连作年限的增加逐渐增加, 其中SC4最高, 达到 13.65×10^3 cfu/g,

显著高出CK 68.10%。从土壤微生物总数及其组成上来看, 微生物总数与细菌变化规律一致, 其中SC1总数最多, 为 20.31×10^6 cfu/g, 比CK和SC4分别多6.28%和10.98%。

细菌与真菌数量的比值(B/F)是衡量细菌型土壤和真菌型土壤的一个主要标志。随着连作年限的增加, B/F值明显降低, SC4较CK显著下降了43.06%(表3)。土壤微生物发生了从“细菌型”向“真菌型”的转变, 而真菌数量的升高则会增加土传病害发生的概率, 从而引起辣椒的连作障碍。

表3 设施辣椒连作对土壤微生物数量的影响

连作年限	细菌 ($\times 10^6$ cfu/g)	真菌 ($\times 10^3$ cfu/g)	放线菌 ($\times 10^4$ cfu/g)	微生物总数 ($\times 10^6$ cfu/g)	细菌/真菌 (B/F)
CK	$18.95 \pm 0.24a$	$8.12 \pm 0.02a$	$15.53 \pm 0.12a$	$19.11 \pm 0.01b$	$2333.74 \pm 0.03a$
SC1	$20.15 \pm 0.04b$	$8.95 \pm 0.21b$	$15.47 \pm 0.04a$	$20.31 \pm 0.12a$	$2251.40 \pm 0.12b$
SC2	$19.83 \pm 0.02c$	$9.26 \pm 0.03b$	$15.28 \pm 0.08a$	$19.99 \pm 0.06a$	$2141.47 \pm 0.01b$
SC3	$19.02 \pm 0.02c$	$11.32 \pm 0.04b$	$15.01 \pm 0.24a$	$19.18 \pm 0.02b$	$1680.21 \pm 0.02b$
SC4	$18.14 \pm 0.01c$	$13.65 \pm 0.15b$	$14.88 \pm 0.11a$	$18.30 \pm 0.01c$	$1328.94 \pm 0.11b$

2.4 设施辣椒连作对土壤微生物量的影响

土壤微生物量碳 (MBC)、微生物量氮 (MBN) 和微生物熵 (qMB) 是反映土壤肥力及土壤对环境响应的指示指标, 而微生物量碳氮比 (MBC/MBN) 的值能够反映土壤中主要的微生物类群。据相关报道, MBC/MBN 若为 3 ~ 5 时, 比值较低, 则土壤微生物种类以细菌为主; 反之则以真菌为主, 其 MBC/MBN 通常为 5.5 ~ 15^[12]。

由表 4 可知, 各连作年限土壤样品的 MBC、MBN 和 qMB 与 CK 呈显著性差异。随着连作年限的增加, MBC、MBN 和 qMB 均呈下降趋势, SC4 较 CK 分别下降了 47.99%、89.74% 和 32.94%。说明连作使设施辣椒根际土壤的肥力下降, 土壤微生物对碳、氮等物质的利用率下降。同时, MBC/MBN 显著升高, 在 SC3 时, 比值为 8.82, 土壤微生物群落结构由“细菌型”转变为“真菌型”。

表 4 设施辣椒连作对微生物量的影响

连作年限	微生物量碳 (mg/kg)	微生物量氮 (mg/kg)	微生物熵 (%)	微生物量碳氮比
CK	138.73 ± 1.49a	62.4 ± 0.23a	0.85 ± 0.05a	2.22 ± 0.26e
SC1	104.69 ± 0.37b	35.4 ± 0.36b	0.70 ± 0.08ab	2.95 ± 0.23d
SC2	94.74 ± 1.34c	19.0 ± 0.72c	0.68 ± 0.05ab	4.98 ± 0.23c
SC3	80.32 ± 1.12d	9.1 ± 0.79d	0.62 ± 0.08b	8.82 ± 0.14b
SC4	72.15 ± 1.60e	6.4 ± 0.55e	0.57 ± 0.06b	11.27 ± 0.19a

3 讨论与结论

3.1 连作对设施辣椒土壤理化性状的影响

土壤水溶性盐含量是表征土壤盐化的一个重要指标, 土壤的电导率和水溶性盐存在明显的相关关系, 目前国内主要以测定土壤电导率来反映土壤水溶性盐含量的多少, 即土壤盐分越高, 电导率就越高^[13]。土壤容重是反映土壤结构、透气性、入渗性能、透水性能以及持水能力高低的指标, 容重数值本身可以作为土壤肥力的重要指标之一, 容重越小表明土壤透气透水性能越好^[14-15]。本研究表明随连作年限的增加, 土壤容重和电导率呈上升趋势, 说明连作会使土壤盐分过度积累, 导致土壤含水率下降, 紧实度增加, 透气透水性能降低。这可能是导致辣椒产量及品质急剧下降的关键因素之一, 即在紧实土壤中可能产生辣椒根伸长速度减慢、根变短变粗等现象, 从而导致辣椒产量急剧下降。大量研究发现, 长期连作会造成土壤 pH 值显著下降, 引起土壤酸化, 甚至改变土壤有效成分, 引起植株养分吸收异常, 进而影响蔬菜生长^[16]。土壤 pH 是研究精细农业不可缺少的重要参数, 设施辣椒连作会导致土壤 pH 显著下降, 说明土壤出现了酸化趋势^[17]。曹胜等^[18]研究表明, 调节土壤酸碱性有利于柑橘生长。连作年限的增加会使土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾差异显著, 且呈先上升后下降的趋势。土壤营养基质化学

变化是影响土壤质量和健康的重要因素之一。Jones 等^[19]研究发现土壤氮素稳定性对土壤肥力和结构有较大影响。

3.2 连作对设施辣椒土壤酶活性的影响

土壤酶活性的研究是土壤生物化学中重要的研究课题之一, 土壤中养分转化、累积和分解几乎都是通过酶的作用来完成的。因此, 土壤酶活性是评价土壤生态环境质量的重要指标^[20-21]。土壤磷酸酶是一类催化土壤有机磷化合物矿化的酶, 其活性的高低直接影响着土壤中有机磷的分解转化及其生物有效性。土壤蔗糖酶可以反映土壤中有机碳的转化和呼吸强度^[22]。淀粉酶是催化淀粉水解的一类酶, 土壤中的淀粉酶主要来自于微生物。土壤过氧化氢酶的积累会对生物和土壤产生毒害作用, 过氧化氢酶能酶促过氧化氢分解为水和氧气, 解除过氧化氢的毒害作用^[23]; 脲酶是土壤中主要的水解酶类之一, 对尿素在土壤中的水解及作物对尿素氮的利用有重要的影响^[22]; 土壤蛋白酶参与土壤中氨基酸、蛋白质以及其它含氮有机化合物的转化。本研究中, 随连作年限的增加, 土壤蔗糖酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶及淀粉酶活性降低, 脲酶活性和碱性蛋白酶活性先增加后降低。这和前人的研究结果相符, 刘素慧等^[24]发现大蒜土壤过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶和蔗糖酶活性随连作年限的增加均呈先上升后下降的趋势; 周艳丽等^[25]的研究表明, 随着连作年限增加, 甜瓜土壤脲酶含量呈先上升后下

降的趋势,而蔗糖酶呈下降趋势;马云华等^[26]研究黄瓜连作对土壤酶活性的影响时发现多数土壤酶活性随连作年限增加呈先升高后降低的变化趋势;刘姣姣等^[27]发现,随着连作年限的增加,花椒根际土壤酶活性总体表现为先降低后缓慢升高的趋势。

3.3 连作对设施辣椒土壤微生物区系的影响

土壤微生物对土壤环境因子的变化极为敏感,土壤微小变动均会引起其活性变化,可作为评价土壤质量的重要指标,成为近年来土壤学界研究的热点^[28]。土壤微生物量碳反映了土壤微生物的活动状态,受土壤温度、水分、营养状况等因素的影响。土壤微生物量氮的含量是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的综合反映^[29]。

细菌是土壤微生物中数量最多的一个微生物类群,主要参与有机质的分解和氨化作用^[30];真菌是土壤中氮、碳循环不可缺少的动力,但真菌与作物土传病害的发生直接相关,放线菌与土壤肥力以及有机质转化密切相关^[31]。MBC对于土壤变化非常敏感,其大小反映了微生物利用土壤碳源的能力^[32];MBN反映土壤氮素的有效性^[33];qMB是微生物量碳与总有机碳的比值,它充分反映了土壤中活性有机碳所占的比例及土壤肥力状况。因为熵是一个比值,它能够避免在使用绝对量或对不同有机质含量的土壤进行比较时出现的一些问题^[34]。通常情况下,连作会导致B/F降低,MBC/MBN升高^[20, 35]。本研究发现,设施辣椒连作对土壤微生物数量和微生物量影响显著,连作4年,细菌数量显著降低了4.27%,真菌数量显著增加了68.10%,B/F明显下降;MBC、MBN和qMB均呈下降趋势,MBC/MBN明显升高,说明土壤质量逐渐下降,土壤微生物群落由“细菌型”变为“真菌型”。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Reim S, Siewert C, Winkelmann T, et al. Evaluation of *Malus* genetic resources for tolerance to apple replant disease (ARD) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 256: 1-9.
- [3] 李兰君. 设施番茄土壤理化性质微生物与酶活性变化研究[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2017.
- [4] He Y S, Zhang M D, Zhou W X, et al. Transcriptome analysis reveals novel insights into the continuous cropping induced response in *Codonopsis tangshen*, a medicinal herb [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2019, 141: 279-290.
- [5] 张立恒, 杨凤英, 马海峰, 等. 果树连作障碍研究进展[J]. 落叶果树, 2019, 51(3): 28-31.
- [6] Xin A Y, Li X Z, Jin H, et al. The accumulation of reactive oxygen species in root tips caused by autotoxic allelochemicals-A significant factor for replant problem of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels [J]. *Industrial Crops & Products*, 2019, 138: 1-8.
- [7] Gao Z Y, Han M K, Hu Y Y, et al. Effects of continuous cropping of sweet potato on the fungal community structure in rhizospheric soil [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2019(2): 1-11.
- [8] Nicola L, Insam H, Pertot I, et al. Reanalysis of microbiomes in soils affected by apple replant disease (ARD): Old foes and novel suspects lead to the proposal of extended model of disease development [J]. *Applied Soil Ecology*, 2018, 129: 24-33.
- [9] Li J R, Chen X Z, Zhan R T, et al. Transcriptome profiling reveals metabolic alteration in *Andrographis paniculata* in response to continuous cropping [J]. *Industrial Crops & Products*, 2019, 137: 585-596.
- [10] 郑力文, 徐义军, 张勇, 等. 辣椒需水量研究概述[J]. 农业科学研究, 2018, 39(4): 64-67.
- [11] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1989, 21(4): 471-479.
- [12] 陈安强, 付斌, 鲁耀, 等. 有机物料输入稻田提高土壤微生物碳氮及可溶性有机碳氮[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 160-167.
- [13] 谭海燕, 周文星, 童江云, 等. 昆明地区耕地土壤电导率和水溶性盐的关系及土壤盐化情况分析[J]. 云南农业科技, 2018(1): 4-6.
- [14] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明. 黄河三角洲地区土壤容重空间变异性分析[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(4): 11-15.
- [15] 周金星, 漆良华, 张旭东, 等. 不同植被恢复模式土壤结构特征与健康评价[J]. 中南林学院学报, 2006, 26(6): 32-37.
- [16] 毛亦卉, 谭亮萍. 蔬菜连作障碍及其防控措施[J]. 科技与产业, 2011(16): 26-27.
- [17] 郭红伟, 郭世荣, 黄保健. 大棚辣椒不同连作年限土壤理化性质研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(5): 452-455.
- [18] 曹胜, 欧阳梦云, 周卫军, 等. 湖南省柑橘园土壤pH和主要养分特征及其相互关系[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1): 31-38.
- [19] Jones A R, Orton T G, Dalal R C. The legacy of cropping history reduces the recovery of soil carbon and nitrogen after conversion from continuous cropping to permanent pasture [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 216: 166-176.
- [20] 何志刚, 王秀娟, 董环, 等. 日光温室辣椒连作不同年限土壤微生物种群变化及酶活性研究[J]. 中国土壤与肥料, 2013(1): 38-42.
- [21] 李国, 易强, 许世武, 等. 微生物菌剂对新疆棉花连作障碍的消减研究[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1): 202-207.
- [22] 张雪艳, 高丽红, 李元, 等. 栽培模式对黄瓜连作温室土壤酶活性及相关养分的影响[J]. 内蒙古农业大学学报, 2007, 28(3): 113-117.

- [23] 吴凤芝, 孟立君, 王学征. 设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 554–558.
- [24] 刘素慧, 刘世琦, 张自坤, 等. 大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(5): 1000–1006.
- [25] 周艳丽, 乔宏宇, 高红春, 等. 甜瓜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2015, 39(19): 158–161.
- [26] 马云华, 魏珉, 王秀峰. 日光温室连作黄瓜根区微生物区系及酶活性的变化[J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1005–1008.
- [27] 刘姣姣, 何静, 陈伟, 等. 花椒连作对土壤化学性质及酶活性的影响[J]. 分子植物育种, 2019, 17(22): 7545–7550.
- [28] 薛菁芳, 高艳梅, 汪景宽. 长期施肥与地膜覆盖对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007(3): 55–58.
- [29] 焦晓光, 魏丹, 隋跃宇. 长期培肥对农田黑土土壤微生物量碳、氮的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(3): 1–3.
- [30] 孙艳艳, 蒋桂英, 刘建国, 等. 加工番茄连作对农田土壤酶活性及微生物区系的影响[J]. 生态学报, 2010(13): 3599–3607.
- [31] 杨敏, 裴卫华, 董家红, 等. 魔芋连作对根际土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2018(23): 110–115.
- [32] 郭成藏, 李鲁华, 黄金花, 等. 秸秆还田对长期连作棉田土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(3): 296–304.
- [33] 王光华, 金剑, 韩晓增, 等. 不同土地管理方式对黑土土壤微生物量碳和酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1275–1280.
- [34] 任天志. 持续农业中的土壤生物指标研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(1): 68–75.
- [35] 肖新, 朱伟, 杜超, 等. 轮作与施肥对滁菊连作土壤微生物特性的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1779–1784.

Effects of continuous pepper cultivation on soil physical and chemical properties, enzyme activity and microbial flora

HAN Hai-rong, LI Yi, CHEN Lai-sheng, DU Zhong-ping, XIONG Rong-bo, ZHAO Yi-wen, HAN Rui* (Qinghai Key Laboratory of Vegetable Genetics and Physiology, Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining Qinghai 810016)

Abstract: Using the continuous cropping soil for pepper production as the research object, the dynamic changes of soil physical and chemical properties, enzyme activity and microbial flora of different continuous cropping years in Jianzha county of Qinghai province were analyzed. The results showed significant effects of continuous cropping in terms of physical and chemical properties, enzyme activity, microbial population and microbial biomass. With the increased years of continuous cropping, the bulk density and electrical conductivity of soil were increased, the pH value of the soil was declined. Moreover, the amounts of organic matters, total nitrogen, available phosphorus, and available potassium were increased at first and then decreased, whereas the concentrations of soil alkaline phosphatase, sucrase, amylase, and catalase showed a downward trend. The content of urease and alkaline protease increased at first and then decreased. In comparison with the control group, continuous cropping resulted in a decrease in the ratio of soil bacteria to fungi, and an increase in the ratio of soil microbial biomass carbon to microbial biomass nitrogen. The microbial community structure of soil has been transformed from “bacterial type” to “fungal type”.

Key words: pepper; continuous cropping; physical and chemical properties; enzyme activity; microflora