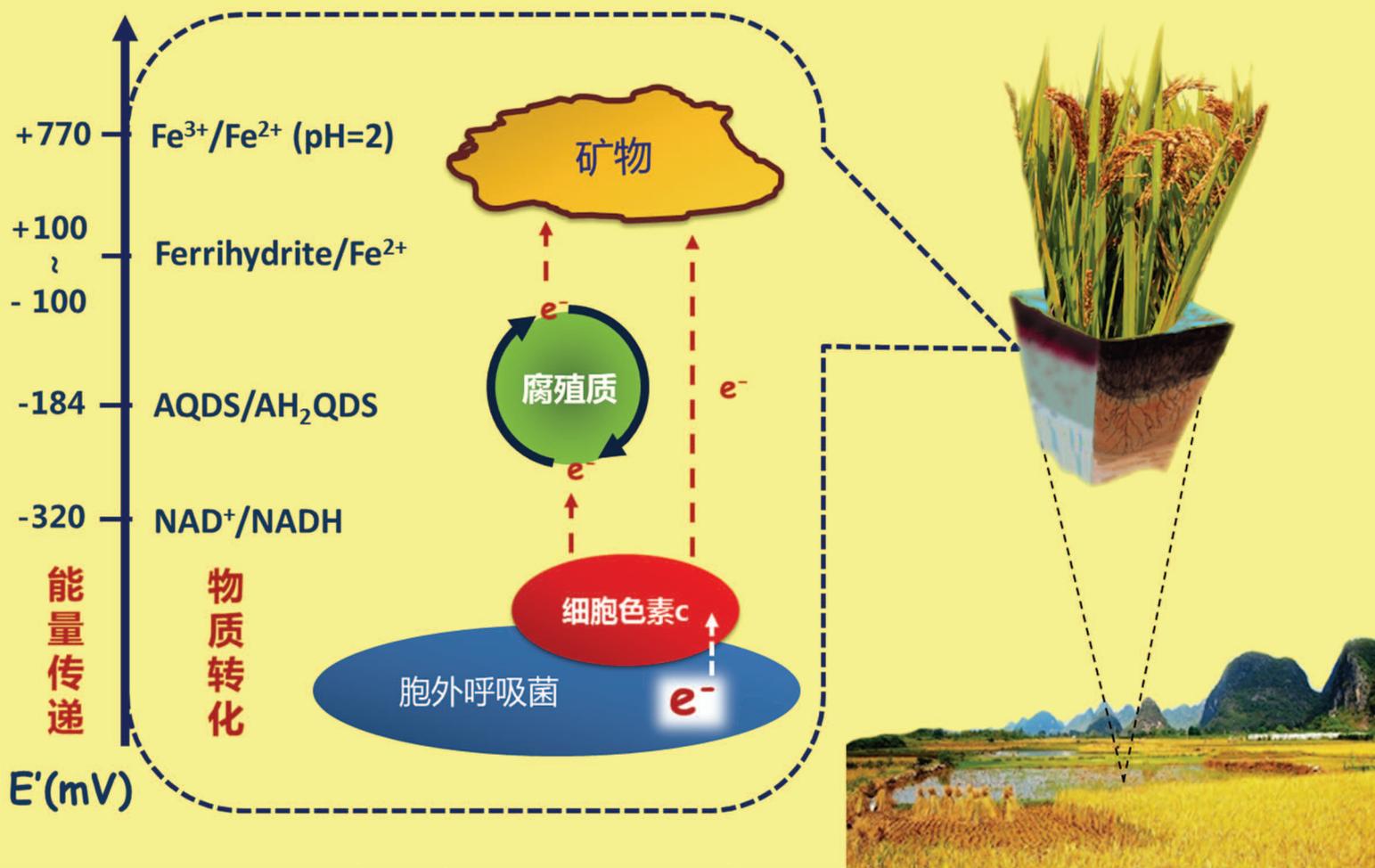


# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

2016

第53卷 第2期

Vol.53 No.2



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

## 目 次

### 综述与评论

- 土壤微生物—腐殖质—矿物间的胞外电子传递机制研究进展····· 吴云当 李芳柏 刘同旭 (277)  
长期施肥对农田土壤氮素关键转化过程的影响····· 王 敬 程 谊 蔡祖聪等 (292)

### 新视角与前沿

- 土壤学不应忽视对作物土传病原微生物的研究····· 蔡祖聪 黄新琦 (305)

### 研究论文

- 西安少陵塬黄土—古土壤序列 $S_3$ 剖面元素迁移及古气候意义····· 楚纯洁 赵景波 (311)  
基于盲源分离的稀疏植被区土壤含盐量反演····· 刘 娅 潘贤章 石荣杰等 (322)  
基于地类分层的土壤有机质光谱反演校正样本集的构建····· 刘艳芳 卢延年 郭 龙等 (332)  
基于多分辨率遥感数据与随机森林算法的土壤有机质预测研究····· 王茵茵 齐雁冰 陈 洋等 (342)  
鄂东南崩岗剖面土壤水分特征曲线及模拟····· 邓羽松 丁树文 蔡崇法等 (355)  
放水冲刷对红壤坡面侵蚀过程及溶质迁移特征的影响····· 马美景 王军光 郭忠录等 (365)  
汶川震区滑坡堆积体坡面土壤侵蚀率及水动力学参数研究····· 王仁新 何丙辉 李天阳等 (375)  
咸水冻融灌溉对重度盐渍土壤水盐分布的影响····· 张 越 杨劲松 姚荣江 (388)  
基于不同估算方法的贵州省土壤温度状况····· 陆晓辉 董宇博 涂成龙 (401)  
拉萨灌丛草甸区土壤温度变化特征····· 巩玉玲 王兆锋 张懿锂等 (411)  
砂土和黏土的颗粒差异对土壤斥水性的影响····· 杨 松 吴珺华 董红艳等 (421)  
AQDS加速红壤性水稻土中DDT厌氧脱氯效应研究····· 刘翠英 王 壮 徐向华等 (427)  
激发式秸秆深还对土壤养分和冬小麦产量的影响····· 赵金花 张丛志 张佳宝 (438)  
臭氧污染对麦田土壤不同活性有机碳库的影响····· 寇太记 程相涵 张东亮等 (450)  
黑土区水稻土有机氮组分及其对可矿化氮的贡献····· 丛耀辉 张玉玲 张玉龙等 (457)  
水土保持措施对红壤缓坡地土壤活性有机碳及酶活性的影响····· 黄尚书 成艳红 钟义军等 (468)  
祁连山青海云杉林叶片—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征····· 赵维俊 刘贤德 金 铭等 (477)  
基于核酸DNA/RNA同位素示踪技术的水稻土甲烷氧化微生物研究····· 郑 燕 贾仲君 (490)  
适应玉米的溶磷细菌筛选及其对玉米生长的影响····· 梅新兰 闪安琪 蒋 益等 (502)  
旱地红壤线虫群落对不同耕作年限的响应及指示意义····· 王明伟 刘雨迪 陈小云等 (510)  
西藏“玉米田养鹅”模式下养分吸收与养分平衡特征····· 沙志鹏 张宇阳 王 超等 (523)  
加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响····· 康亚龙 景 峰 孙文庆等 (533)

### 研究简报

- CTMAB对BS-12修饰膨润土的复配修饰模式····· 余 璐 孟昭福 李文斌等 (543)  
不同机械改土方式对白浆土物理特性及酶活性的影响····· 孟庆英 张春峰 贾会彬等 (552)

### 信息

- 《土壤学报》2015年度审稿专家名录····· (560)

封面图片: 微生物胞外电子传递: 能量传递与物质转化 (由吴云当、李芳柏、刘同旭提供)

# 加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响\*

康亚龙<sup>1,2</sup> 景峰<sup>1</sup> 孙文庆<sup>1</sup> 谈建鑫<sup>1</sup> 冉辉<sup>1</sup> 蒋桂英<sup>1†</sup>

(1 石河子大学新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832003)

(2 巴州农业技术推广中心, 新疆库尔勒 841000)

**摘要** 通过在石河子大学农学院试验站开展加工番茄连作定点微区试验, 研究了不同连作处理 (种植 1 a、连作 3 a、5 a 和 7 a) 对新疆加工番茄土壤理化性状、微生物生物量和酶活性的影响。结果表明, 随着连作年限的延长, 土壤 pH 升高, 全磷、速效磷及全钾含量呈先升后降的趋势, 土壤容重无明显变化。连作 7 a 时土壤有机质、全氮及速效钾含量较对照分别下降了 8%、21% 和 29% ( $p < 0.05$ )。土壤微生物量碳 (SMBC)、微生物量氮 (SMBN) 和微生物商 (qMB) 呈显著下降趋势, 与对照相比分别降低了 52.3%、78.8% 和 48.2% ( $p < 0.01$ ); 微生物量磷 (SMBP) 呈先升后降趋势, 连作 3a 时, SMBP 含量达到最大值, 是对照的 1.65 倍 ( $p < 0.01$ )。土壤过氧化氢酶活性呈显著升高趋势, 而脲酶、蔗糖酶、多酚氧化酶及磷酸酶活性的变化则相反。连作导致加工番茄产量显著下降, 连作 7 a 时产量下降达 34% ( $p < 0.01$ )。相关分析表明, pH、微生物量、qMB、酶活性及养分之间相关性极为密切, 说明土壤微生物量和酶活性相结合, 可以反映土壤质量的变化。加工番茄连作导致土壤 pH 和电导率升高, 显著抑制了土壤微生物活性, 降低了土壤肥力, 最终造成产量下降, 连作障碍明显。

**关键词** 加工番茄; 连作; 土壤养分; 土壤酶; 土壤微生物量; 微生物商

**中图分类号** S311; S314 **文献标识码** A

新疆加工番茄已形成区域化布局、产业化生产的局面, 导致连作现象普遍发生, 连作障碍问题已成为限制加工番茄稳产、高产的主要原因。因此, 研究加工番茄连作条件下, 土壤微生物量、微生物商和土壤质量的变化规律及其相关性, 对进一步揭示连作障碍的成因及由此造成的土壤肥力下降具有重要作用。

作物长期连作容易破坏土壤结构, pH 升高, 土壤含盐量不断富集, 次生盐渍化现象明显, 土壤肥力下降, 根系分泌物的自毒作用增强, 病原微生物数量增加, 致使作物产量降低<sup>[1-2]</sup>。土壤微生物量和土壤酶活性可反映土壤微生物活性的大小及土壤养分能力的强弱, 表征土壤质量的变化及对土壤

肥力的影响<sup>[3-4]</sup>。前人通过对生姜、棉花等作物长期连作的研究发现, 土壤微生物量碳 (SMBC)、微生物量氮 (SMBN) 及微生物量磷 (SMBP) 含量, 随连作年限的延长呈显著下降趋势<sup>[5-6]</sup>。土壤酶活性受作物连作影响的结论不一。有研究认为随着连作年限的增加, 土壤脲酶和蔗糖酶活性呈先升后降的趋势, 土壤过氧化氢酶和磷酸酶活性呈下降趋势<sup>[7]</sup>; 也有研究表明土壤脲酶、过氧化氢酶和磷酸酶活性, 随着连作年限增加呈先降后升趋势<sup>[1]</sup>, 磷酸酶 (碱性) 的活性未发生显著变化, 甚至有研究发现脲酶、蔗糖酶及多酚氧化酶活性均不断升高<sup>[8]</sup>。总之, 作物长期连作会导致土壤微生物群落结构发生变化、土壤生物活性下降并最终

\* 国家自然科学基金项目 (31260142) 资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 31260142)

† 通讯作者 Corresponding author: 蒋桂英 (1967—), 女, 新疆石河子人, 副教授, 主要从事农田生态环境与作物生理研究。

E-mail: jgy67@126.com

作者简介: 康亚龙 (1988—), 男, 甘肃定西人, 硕士研究生, 研究方向: 作物生理生态。E-mail: 1175015468@qq.com

收稿日期: 2015-07-24; 收到修改稿日期: 2015-09-21

表现为土壤养分失衡等系列问题<sup>[9]</sup>。

目前,加工番茄连作障碍的研究已从土壤养分失衡、生物学环境变化及植株的化感作用等不同角度进行了报道<sup>[10-12]</sup>,认为土壤微生物种群结构失衡是导致加工番茄土壤质量下降、减产的主要原因。土壤微生物量作为反映土壤质量的灵敏的生物学指标,能够对作物耕作方式、田间施肥等技术措施做出迅速地响应。然而,有关加工番茄连作后土壤微生物量、微生物商的变化以及微生物量是否是导致加工番茄土壤质量变差、产量降低,进而引发连作障碍的原因缺乏相关报道。因此,本研究通过选取加工番茄种植1 a、连作3 a、5 a和7 a的定点微区根际土壤,研究加工番茄连作对土壤微生物量、微生物商、酶活性及土壤理化性质的影响,旨在明确连作对加工番茄土壤微生态环境及土壤质量的影响,为改善加工番茄土壤肥力及可持续生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在新疆石河子大学农学院试验站(44°18'58"N, 85°59'50"E)的加工番茄长期连作定点微区试验田进行。海拔437~450 m,年日照时数为2 721~2 818 h,无霜期为168~171 d,≥10℃的活动积温为3 570~3 729℃,年平均降水量为208 mm,平均蒸发量为1 660 mm。属于典型的大陆性气候,光照充足但干燥少雨,昼夜温差大,适合灌溉农业生产。土壤类型为典型灌耕灰漠土(Calcaric fluvisal),土壤质地为砂壤土。

### 1.2 试验设计

2007年4月在石河子大学农学院实验站选取3 a以上休闲空地,长12 m,宽5 m,南北走向,总面积为60 m<sup>2</sup>。将该空地划分成3个小区做3次重复,每区面积均20 m<sup>2</sup>。同时,开始种植加工番茄,番茄主栽品种“里格尔87-5”,种植密度为4.8万hm<sup>-2</sup>。采用机采模式,一膜两行直播种植,宽窄行配置80 cm+40 cm,株距35 cm。7~8 d滴水一次,共计10次,生育期内滴水5 250 m<sup>3</sup> hm<sup>-2</sup>。随水滴肥,生育期内滴施纯氮(N) 207 kg hm<sup>-2</sup>,磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 84.86 kg hm<sup>-2</sup>,钾(K<sub>2</sub>O) 56.18 kg hm<sup>-2</sup>。其他管理同大田生产。自2007年10月至2014年10月加工番茄收获,连续分别形成了种植1 a

(CK)、连作1、2、3、4、5、6、7 a 7个加工番茄连作处理。取CK(2007年)、连作3 a(2010年)、5 a(2012年)和7 a(2014年)4个加工番茄根区土壤,分析土壤理化性质和土壤微生物量等指标。

### 1.3 土壤样品采集及预处理

于2007年、2010年、2012年和2014年10月初加工番茄收获后,利用内径2 cm的土钻,采用五点法在采样地点以“S”型路线在样地上分别采集0~20 cm根区耕层土壤,将所得5个土样制成混合土样,仔细剔除植物残体、石头和其他杂物,带回实验室。一份土壤采集后立即过1 mm筛并存放于4℃冰箱保鲜,用于土壤微生物量碳、氮、磷含量和土壤酶活性的测定;另一份土壤样品使其自然风干,风干过程中要保证土壤团粒结构不被破坏,磨细后先过20目尼龙筛,再过100目尼龙筛,最后装袋密封用于土壤理化性质测定。

### 1.4 测定项目与方法

土壤理化性质测定:参照关松荫<sup>[13]</sup>的方法,土壤有机碳采用K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>消煮、FeSO<sub>4</sub>容量法测定;速效钾采用中性NH<sub>4</sub>OAc浸提、火焰光度法测定;全钾采用NaOH熔融、火焰光度法测定;土壤容重采用环刀法测定;土壤电导率采用电导率仪(DDSJ-308A型)测定;全氮采用凯氏定氮法测定;全磷采用HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>法测定;速效磷采用0.5 mol L<sup>-1</sup> NaHCO<sub>3</sub>法测定;土壤pH采用1:5土水质量比浸提、酸度计(PH211型)法测定。

土壤酶活性的测定:参照关松荫<sup>[13]</sup>的方法,蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定,以24 h后1 g土重的0.1 mol L<sup>-1</sup>硫代硫酸钠溶液的毫升数表示;脲酶采用靛酚比色法测定,以24 h后1 g土壤中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的质量(mg)表示;磷酸酶活性采用磷酸苯二钠法测定,以24 h后1 g土壤中释放出酚的毫克数表示;多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法测定,其活性以2 h后1 g土壤中生成的紫色没食子素的质量(mg)表示;过氧化氢酶活性采用KMnO<sub>4</sub>滴定法测定,以1 g土所消耗0.1 mol L<sup>-1</sup> KMnO<sub>4</sub>的毫升数表示。

土壤微生物量和微生物商的测定:采用氯仿灭菌-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>提取法测定土壤微生物量碳、氮的含量<sup>[14]</sup>,土壤微生物量磷的测定采用氯仿灭菌-NaHCO<sub>3</sub>提取法<sup>[15]</sup>,其含量计算用熏蒸和未熏蒸样品的碳、氮和磷含量之差除以回收系数

$K_{EC}=0.38$ 、 $K_{EN}=0.45$ 和 $K_{EP}=0.40$ 。微生物商按照 Anderson等<sup>[16]</sup>的方法计算,即微生物量碳与有机碳的比值。

加工番茄产量的测定:于2007年、2010年、2012年和2014年加工番茄成熟期,从各处理小区随机选3行(边行除外),每行选取5株典型样株,进行测产。加工番茄产量的计算公式:

$$\text{产量} = \text{单位面积株数} \times \text{每株有效果数} \times \text{单果重} \times \text{测产系数} \quad (1)$$

式中,测产系数0.85<sup>[17]</sup>。

### 1.5 数据分析

采用Excel 2010和SPSS 19.0统计分析软件进行数据处理及分析,采用 Duncan法进行处理间差异的多重比较。

## 2 结 果

### 2.1 土壤主要理化性质

加工番茄连作导致土壤有机质、全氮及速效磷含量降低,而全磷、速效磷及全钾含量先增加后减少(表1)。其中,连作7 a时,有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷及速效钾含量较对照降低幅度分别达4.8%、33.6%、27%、6.9%、15%和40.3%,

差异显著( $p < 0.05$ )。可见,长期连作导致加工番茄土壤肥力下降。

种植加工番茄后,土壤pH、电导率和C/N显著升高,而容重变化很小(表1)。其中,pH、电导率和C/N随着种植年限延长而提高,升高幅度分别为5.2%、29.7%和38.7%,差异显著( $p < 0.05$ )。说明加工番茄土壤容重具有较好的稳定性,长期连作对其造成的影响很小。但是,土壤C/N的增大意味着连作可能改变了土壤微生物群落结构<sup>[18]</sup>,从而引发连作障碍,表现在土壤有机质和全氮含量因损失而逐渐下降。

### 2.2 土壤微生物量

加工番茄连作导致SMBC、SMBN、qMB和SMBN/TN显著降低,而SMBC/SMBN显著增大(表2)。其中,连作7 a时,SMBC、SMBN、qMB和SMBN/TN较对照分别降低达52.3%、78.8%、48.2%和51.7%,而SMBC/SMBN是对照的2.25倍,差异极显著( $p < 0.01$ )。

通常情况下,SMBC/SMBP的高低直接关系到土壤微生物磷的利用。因而,将SMBP和SMBC/SMBP结合起来分析,有助于了解土壤磷的变化<sup>[19]</sup>。由表2可知,SMBP受连作年限的影响呈先升后降的趋势,而SMBC/SMBP的变化则相反。

表1 加工番茄连作对土壤理化性质的影响

Table 1 Effects of continuous cropping of processing tomato on physicochemical properties of the soil

连作年限 Years of continuous cropping (a)	pH	容重 Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	电导率 Electrical conductivity (mS cm <sup>-1</sup> )	有机质 Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N (g kg <sup>-1</sup> )
CK	7.17 ± 0.10b	1.31 ± 0.05a	0.15 ± 0.00c	16.54 ± 0.37a	1.22 ± 0.07a
3	7.34 ± 0.16ab	1.27 ± 0.08a	0.17 ± 0.00b	16.33 ± 0.74a	1.11 ± 0.07ab
5	7.42 ± 0.11ab	1.31 ± 0.07a	0.17 ± 0.00ab	15.26 ± 0.28b	0.96 ± 0.09b
7	7.54 ± 0.17a	1.28 ± 0.07a	0.19 ± 0.01a	15.22 ± 0.24b	0.81 ± 0.04c
连作年限 Years of continuous cropping (a)	全磷 Total P (g kg <sup>-1</sup> )	全钾 Total K (g kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K (mg kg <sup>-1</sup> )	碳氮比 C/N
CK	1.00 ± 0.03a	9.56 ± 0.49a	43.78 ± 1.26ab	56.6 ± 6.6a	7.86 ± 0.14c
3	1.03 ± 0.04a	10.06 ± 1.14a	47.88 ± 6.68a	47.3 ± 7.4ab	8.53 ± 0.25b
5	0.78 ± 0.04b	9.29 ± 1.31a	39.78 ± 0.88b	43.5 ± 4.7b	9.22 ± 0.19bc
7	0.73 ± 0.03b	7.66 ± 0.49b	37.40 ± 3.40b	40.2 ± 3.5b	10.90 ± 0.05a

注:表中不同大小写字母表示不同连作处理间差异显著( $p < 0.05$ ) Note: Different lowercase letters within the same column indicate significant differences between different treatments (i.e., years of continuous cropping) at  $p < 0.05$

表2 加工番茄不同连作年限对土壤微生物量碳氮磷含量的影响

Table 2 Effects of continuous cropping of processing tomato on soil microbial biomass C, N, and P

连作年限 Years of continuous cropping (a)	SMBC (mg kg <sup>-1</sup> )	SMBN (mg kg <sup>-1</sup> )	SMBP (mg kg <sup>-1</sup> )	qMB (%)	SMBN/TN (%)	土壤微生物 量碳氮比 SMBC/SMBN	土壤微生物量 磷比 SMBC/SMBP
CK	73.86 ± 1.54aA	15.26 ± 0.58aA	22.95 ± 0.17cC	7.70 ± 0.01aA	7.83 ± 0.02aA	4.84 ± 0.08dC	3.22 ± 0.09bB
3	66.22 ± 1.80bB	10.17 ± 0.64bB	37.83 ± 0.50aA	6.99 ± 0.09aA	5.52 ± 0.14bB	6.51 ± 0.23bcB	1.75 ± 0.06dC
5	50.79 ± 0.74cC	6.78 ± 0.55cC	27.07 ± 0.15bB	5.79 ± 0.18aAB	3.78 ± 0.12cC	7.60 ± 0.71bB	1.89 ± 0.02cC
7	35.25 ± 1.29dD	3.24 ± 0.27dD	10.35 ± 0.21dD	3.99 ± 0.08bB	2.10 ± 0.12dD	10.88 ± 0.51aA	3.40 ± 0.07aA

注: SMBC、SMBN和SMBP分别为土壤微生物量碳、氮和磷; qMB为微生物商, SMBN/TN为土壤微生物量氮与土壤全氮的比值, SMBC/SMBN为土壤微生物量碳氮比, SMBC/SMBP为土壤微生物量碳磷比。同列中数值后面的不同大小写字母表示不同连作处理间差异显著 ( $p < 0.05$ ) 或差异极显著 ( $p < 0.01$ )。下同 Note: SMBC, SMBN, and SMBP mean soil microbial biomass C, soil microbial biomass N, soil microbial biomass P, respectively; qMB means microbial quotient, SMBN/TN means ratio of SMBN to Total N, SMBC/SMBN means ratio of SMBC to SMBN, SMBC/SMBP means ratio of SBMC to SMBP. Different lowercase and uppercase letters within the same column indicate significant differences between treatments different in history of continuous cropping at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ , respectively. The same as below

其中, 连作3 a时, SMBP含量达到最大值, 是对照的1.65倍, SMBC/SMBP降至最小值, 较对照减小45.7%, 差异极显著 ( $p < 0.01$ ); 连作7 a时, SMBP含量较对照降低达54.9%, SMBC/SMBP是对照的1.06倍, 差异极显著 ( $p < 0.01$ )。

### 2.3 土壤主要酶活性

研究主要选取与碳(蔗糖酶)、氮(脲酶)、磷(磷酸酶)循环紧密相关的酶进行分析, 从土壤生物活性强弱的角度反映加工番茄连作条件下土壤代谢过程。土壤磷酸酶、脲酶、多酚氧化酶及蔗糖酶等4种酶活性随着加工番茄连作年限的延长均呈下降趋势(表3)。连作7 a时, 土壤磷酸酶、脲酶、多酚氧化酶及蔗糖酶活性降至最低值, 较对照分别降低了46.5%、65.7%、53.9%、82.2%, 差异极显著 ( $p < 0.01$ )。土壤中过氧化氢酶活性随加工番茄连作年限的增加呈显著升高趋势(表3), 其中连作3 a、5 a的过氧化氢酶活性是对照的1.5倍和1.7倍, 但二者之间差异不显著; 连作7 a时过氧化氢酶活性达到最大值2.10 mg g<sup>-1</sup>, 较对照增加了52.4%, 差异极显著 ( $p < 0.01$ )。

### 2.4 加工番茄产量

从表4可以看出, 加工番茄成熟期果数、果重和产量均随着连作年限的增加呈显著降低趋势, 且产量与连作年限之间呈极显著负相关,  $y = -3449.5x + 68378$  ( $r = 0.9746^{**}$ )。其中, 连作7 a时果数、果重和产量较对照分别降低达17%、20%

和34%, 差异极显著 ( $p < 0.01$ )。

### 2.5 加工番茄产量与土壤微生物活性的关系

土壤理化性质与土壤生物活性之间存在密切的关系。相关性分析表明, pH与土壤微生物量不存在相关性, 但对土壤脲酶活性有显著的抑制作用, 对过氧化氢酶活性有极显著的促进作用 ( $p < 0.01$ ); 除过氧化氢酶活性, 土壤有机质、全氮、全磷及速效钾与土壤微生物量和土壤酶活性呈显著或极显著正相关。土壤生物活性之间也存在密切的相关性, 其中, SMBC、SMBN及qMB与土壤脲酶、蔗糖酶、多酚氧化酶和磷酸酶活性呈极显著正相关, 而与过氧化氢酶活性呈极显著负相关 ( $p < 0.01$ )。

由表5可知, 加工番茄产量与SMBC、SMBN及qMB极显著正相关 ( $p < 0.01$ ), 与土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶、多酚氧化酶活性呈显著或极显著正相关。可见, 土壤微生物量和酶活性的降低不利于加工番茄产量的增加。

### 2.6 主成分指标及其贡献

采用主成分分析法进一步探讨土壤养分、微生物量和酶活性对土壤肥力的贡献。由表6可知, 第一主成分的方差贡献率占86.34%, 对土壤肥力起着主要作用, 可基本反映土壤肥力系统的变异信息。从分权系数看(表7), 若以载荷因子大于0.75计, 第一主成分包括土壤pH、有机质、全氮、速效钾、SMBC、SMBN、脲酶、蔗糖酶、过氧化

表3 不同连作加工番茄土壤酶活性变化

Table 3 Effects of continuous cropping of processing tomato on soil enzyme activity

连作年限 Years of continuous cropping (a)	UA (NH <sub>3</sub> -N mg g <sup>-1</sup> soil)	SA (mg g <sup>-1</sup> soil)	CA (0.1 mol L <sup>-1</sup> KMnO <sub>4</sub> )	PoA (mg g <sup>-1</sup> soil)	PhA (mg phenol g <sup>-1</sup> soil)
CK	5.13 ± 0.08aA	40.67 ± 4.23aA	1.00 ± 0.13cC	1.65 ± 0.10aA	0.071 ± 0.002aA
3	3.43 ± 0.07bB	18.72 ± 3.46bB	1.50 ± 0.14bB	1.10 ± 0.15bB	0.065 ± 0.003bB
5	2.22 ± 0.09cC	10.42 ± 3.62cBC	1.70 ± 0.09bB	0.93 ± 0.20bcB	0.049 ± 0.002cC
7	1.76 ± 0.06dD	7.24 ± 3.42cC	2.10 ± 0.08aA	0.76 ± 0.11cB	0.038 ± 0.001dD

注: UA为脲酶活性; SA为蔗糖酶活性; PhA为磷酸酶活性; PoA为多酚氧化酶活性; CA为过氧化氢酶活性。同列中数值后面的不同大小写字母表示不同连作处理间差异显著 ( $p < 0.05$ ) 或差异极显著 ( $p < 0.01$ )。下同 Note: UA, SA, PhA, PoA and CA stand for urease activity, sucrase activity, phosphatase activity, polyphenoloxidase activity and catalase activity, respectively. Different lowercase and uppercase letters within the same column indicate significant differences between treatments different in history of continuous cropping at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ , respectively. The same below

表4 连作对加工番茄产量的影响

Table 4 Effects of continuous cropping on processing tomato yield

连作年限 Years of continuous cropping (a)	株数 Plants number (m <sup>-2</sup> )	单株果数 Fruit number per plant	单果重 Fruit weight (g)	小区产量 Yield (kg hm <sup>-2</sup> )
CK	3.16	57.4 ± 1.3aA	41.5 ± 1.4aA	64 014 ± 3 505aA
3	3.16	54.2 ± 1.6bAB	39.8 ± 1.2abAB	57 973 ± 3 337bAB
5	3.16	53.3 ± 0.8bB	37.7 ± 1.1bB	53 989 ± 2 406bB
7	3.16	47.6 ± 1.2cC	33.1 ± 1.2cC	42 345 ± 2 581cC

表5 加工番茄产量与土壤微生物活性的相关性

Table 5 Relationship between processing tomato yield and soil microbial activity

	SMBC	SMBN	gMB	UA	SA	PhA	PoA
产量 Yield	0.980**	0.961**	0.992**	0.901**	0.853*	0.961**	0.893*

注: \*和\*\*表示在0.05和0.01水平上的差异显著性 Note: \* and \*\* indicate significance of difference at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ , respectively

氢酶、多酚氧化酶和磷酸酶等11个指标, 第二主成分主要综合了全钾、速效磷和SMBP等3个指标。可见, 这14个指标可以反映土壤肥力的高低。

### 3 讨论

#### 3.1 加工番茄连作对土壤理化性状的影响

本研究表明, 在试验的年限范围内, 土壤容重的变化不大, 土壤pH处于7.1~7.5之间, 总体趋势是加工番茄连作后土壤pH有所升高, 这与刘建国等的研究结果相似<sup>[1]</sup>, 原因是新疆耕层土壤类型

属于灰漠土, 其碳酸盐含量较高, pH较高, 对酸的缓冲性强, 因此土壤pH较稳定, 表现在连作3a后土壤pH的升高并不显著。

研究发现, 加工番茄长期连作后土壤电导率明显升高, 而新疆属于干旱盐渍区, 土壤含盐量是土壤电导率值的3.84倍<sup>[20]</sup>, 说明土壤有潜在次生盐渍化的现象。这是因为新疆加工番茄在生产上采用膜下滴灌技术, 改变了自然状态下的水分平衡, 加之年年实行“少量多次”的滴灌原则, 使得水分过度集中于耕层根区土壤, 同时新疆气候干旱、蒸发量大, 特殊的自下而上的水分运移过程, 促使盐分

表6 供试土壤的土壤养分和微生物量与酶活性的主成分分析

Table 6 Principal component analysis of soil nutrient content, microbial biomass and enzyme activities

项目名称 Item	第一主成分 PC1	第二主成分 PC2
特征根 Characteristic root	14.68	1.90
方差贡献率 Variance contribution (%)	86.34	11.16
累积方差贡献率 Accumulative contribution rate to variance (%)	86.34	97.51

注：特征根指的是累积方差贡献 Note: Characteristic root means accumulative variance contribution

表7 供试土壤主成分的特征向量

Table 7 Eigenvectors of principal components of the test soil

测定指标 Determining quota	第一主成分 PC1	载荷-1 (%) Load value-1	第二主成分 PC2	载荷-2 (%) Load value-2
pH	-0.150	-0.962	0.103	-0.275
有机质Organic matter	0.049	0.772	0.043	0.553
全氮Total N	0.053	0.814	0.044	0.579
全磷Total P	-0.021	0.624	0.141	0.729
全钾Total K	-0.109	0.386	0.256	0.898
速效钾Available K	0.149	0.960	-0.101	0.280
速效磷Available P	-0.111	0.366	0.257	0.889
SMBC	0.030	0.769	0.076	0.638
SMBN	0.103	0.900	-0.030	0.433
SMBP	-0.205	0.037	0.367	0.991
qMB	0.020	0.743	0.089	0.658
SMBC/SMBN	-0.037	-0.764	-0.062	-0.599
UA	0.134	0.942	-0.079	0.327
SA	0.176	0.984	-0.145	0.177
CA	-0.106	-0.898	0.036	-0.415
PoA	0.162	0.973	-0.123	0.228
PhA	0.032	0.773	0.073	0.633

注：载荷-1、载荷-2分别指各主成分上承载的各因子的方差百分率 Note: Load value-1 and Load value-2 means the percentage of variance carried on each of the main components of each factor

在土壤表层聚集，最终表现为长期连作加工番茄土壤有次生盐渍化的趋势。

加工番茄连作明显导致土壤有机质、全氮及速效钾下降，而全磷、全钾及速效磷在连作3 a内有所增加，当连作3 a后均显著减少，这与程红玉等<sup>[2]</sup>研究玉米制种田连作对土壤质量影响的结果相一致，说明连作导致土壤氮、磷、钾损失，土壤质量下降。虽然，多年来一直在大量施用尿素、磷钾

肥，但由于新疆加工番茄生产中基肥一般以化肥为主，不施或少施有机肥，加之加工番茄成熟后将所有秸秆及果实移除田外很难保留足够的腐殖质等，造成土壤养分的亏缺。

### 3.2 加工番茄连作对土壤生物活性的影响

土壤酶活性和微生物量关系到土壤肥力状况是否良好，它们之间存在显著相关性<sup>[6, 21]</sup>。本研究结果表明，除过氧化氢酶活性外，加工番茄长期

连作导致土壤酶活性、微生物量碳氮显著降低，与土壤主要养分及产量的变化相一致，这与前人的研究结果相似<sup>[5, 10, 22]</sup>。说明加工番茄长期连作一方面不利于土壤有机物质的代谢和土壤有效养分的转化，加之收获时将秸秆等移除田外，减少了微生物碳源、氮源供给，使土壤生物活性下降，导致土壤肥力下降；另一方面，根系分泌的酚酸类物质和土壤生化反应过程中形成的过氧化氢含量不断积累，使植物体受害作用加重，最终引起加工番茄产量的下降，表现出严重的连作障碍。

微生物量磷在加工番茄连作3 a时达到最大值，是对照的1.65倍（ $p < 0.01$ ），这与全磷、速效磷变化相一致。原因可能是每年向土壤中施加磷肥，增加了进入微生物生物量的磷含量，被土壤吸附固定的磷不断减少，从而增大了土壤活性磷库，提高了土壤供磷能力<sup>[23]</sup>，表现在全磷、速效磷在连作3 a内有所增加。但是，当连作超过3 a后，由于土壤中根系分泌的自毒物质过度累积，抑制了植株正常的生长发育，使得植株吸收土壤养分的能力减弱；同时，磷肥的施用使进入微生物生物量的磷含量达到饱和，被土壤吸附固定的磷增加，减小了土壤活性磷库，降低了土壤供磷能力<sup>[23]</sup>，最终表现为全磷、速效磷的下降。

研究认为<sup>[24]</sup>，土壤微生物量氮占全氮的比例范围约为2%~8%， $q_{MB}$ 范围约在0.27%~7%之间。本研究结果表明， $q_{MB}$ 为3.4%~7.7%，微生物量氮占全氮的比值为2%~7.8%，基本均在报道范围内。Jenkinson<sup>[14]</sup>研究认为，土壤微生物量碳、氮、磷含量的变化只有在人为因素干扰的情况下才能完全反映土壤中微生物活性的大小、结构及功能。因此，要想从微生物学的角度揭示土壤生物学性状是如何受作物长期连作影响而变化的，除了分析土壤微生物量的绝对量外，还应考虑土壤微生物量占全量的比例。

一般情况下，碳氮质量比在10:1左右，说明土壤中真菌是优势种群；碳氮质量比在6:1左右，意味着放线菌在土壤微生物中占优势；而当碳氮质量比5:1左右时，表明土壤细菌是优势群落<sup>[25]</sup>。本研究结果表明，SMBC/SMBN在加工番茄长期连作条件下呈增大趋势，变化范围为4.8~10.9之间。可见，加工番茄连作年限越长，土壤由细菌型向真菌型转化，导致地力衰竭，这与孙艳艳等的研究结果相一致<sup>[10]</sup>。王茹华等<sup>[26]</sup>研究也认为作物

根系分泌物的种类、数量会改变根际土壤微生物区系组成，使得根际土壤微生物种群平衡遭到破坏，有害菌大量繁殖，有益菌明显减少，最终表现出连作障碍。

### 3.3 加工番茄土壤理化性状与土壤生物活性间的关系

本研究发现，除过氧化氢酶活性外，有机质、全氮、全磷及速效钾与土壤微生物量和土壤酶活性呈显著（ $p < 0.05$ ）或极显著正相关（ $p < 0.01$ ）。说明土壤微生物量与酶活性相结合是评价土壤肥力水平高低的重要指标。有关土壤微生物量和土壤酶活性关系的报道结果存在分歧。马晓霞等<sup>[27]</sup>研究认为磷酸酶、脲酶活性与SMBC、SMBN相关性显著，而蔗糖酶活性与SMBC、SMBN相关不显著。本试验结果表明，SMBC、SMBN与过氧化氢酶活性呈极显著负相关，与磷酸酶、蔗糖酶和脲酶活性呈极显著正相关（ $p < 0.01$ ）。这说明土壤微生物量与土壤酶活性之间的关系相当复杂。因此，要想从根本上弄清土壤酶活性的降低是由其自身活性基因减少引起的还是由分泌此种酶的微生物数量减少引起的，今后需要将具体的某一种土壤酶与分泌这些酶的微生物类群或种群对应起来研究才能有所突破。

### 3.4 连作对加工番茄产量的影响

土壤肥力的高低直接关系到作物产量的提高与否，而土壤微生物量和土壤酶活性又是评价土壤肥力的重要指标。因此，土壤微生物量和土壤酶活性的变化可以通过土壤肥力进而影响到加工番茄的品质及产量。马冬云等<sup>[28]</sup>研究发现小麦产量的增加是由于土壤酶活性和土壤微生物数量的增加引起的，且彼此存在正的相关关系。张向前等<sup>[29]</sup>研究认为玉米产量及其籽粒品质不仅与土壤中脲酶、脱氢酶活性显著正相关，而且与土壤微生物数量之间也存在显著正相关。本研究结果也表明，加工番茄产量与土壤微生物量、土壤酶活性呈显著或极显著正相关<sup>[30]</sup>，说明连作导致加工番茄产量下降的原因之一是连作改变了土壤微生物区系，抑制了土壤生物活性。

## 4 结 论

本试验的年限范围内，加工番茄连作会降低土壤有机质、氮、磷、钾等含量，提高土壤pH和

电导率,抑制土壤生物活性,不利于土壤养分的转化和利用,导致加工番茄产量下降。为维持土壤肥力,提高加工番茄产量,在农业生产中实行加工番茄与禾本科作物合理轮作倒茬,应避免连作年限不要超过3年,且连作期间及时清除田间病株残体,尽早秋耕冬灌,加强膨大期至成熟期时田间病害的防治。

## 参考文献

- [ 1 ] 刘建国,张伟,李彦斌,等.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.中国农业科学,2009,42(2):725—733  
Liu J G, Zhang W, Li Y B, et al. Effects of long-term continuous cropping system of cotton on soil physical-chemical properties and activities of soil enzyme in oasis in Xinjiang (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(2): 725—733
- [ 2 ] 程红玉,肖占文,秦嘉海,等.连作对玉米制种田土壤养分和土壤酶活性的影响.土壤,2013,45(4):623—627  
Chen H Y, Xiao Z W, Qin J H, et al. Effects of continuous cropping on soil nutrient and enzyme activities of corn-seed field soil (In Chinese). *Soils*, 2013, 45(4): 623—627
- [ 3 ] Nicolas F, Stephan H, Nathalie F. Litter fingerprint on microbial biomass, activity, and community structure in the underlying soil. *Plant and Soil*, 2014, 379(1): 79—91
- [ 4 ] Cristina A, Luis M, Victoria G R, et al. Soil nutrients and microbial biomass in three contrasting Mediterranean forests. *Plant and Soil*, 2014, 380: 57—72
- [ 5 ] 刘瑜,梁永超,褚贵新,等.长期棉花连作对北疆棉区土壤生物活性与酶学性状的影响.生态环境学报,2010,19(7):1586—1592  
Liu Y, Liang Y C, Chu G X, et al. Effects of long-term cotton monocropping on soil biological characteristics and enzyme activities in Northern Xinjiang (In Chinese). *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(7): 1586—1592
- [ 6 ] 王旭熙,吴福忠,杨万勤,等.栽植生姜对不同种植模式下紫色土微生物生物量及水解酶活性的影响.应用生态学报,2012,23(2):433—438  
Wang X X, Wu F Z, Yang W Q, et al. Variations of microbial biomass and hydrolase activities in purple soil under different cropping modes as affected by ginger planting (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(2): 433—438
- [ 7 ] 马海燕,徐瑾,郑成淑,等.非洲菊连作对土壤理化性状与生物性状的影响.中国农业科学,2011,44(18):3733—3740  
Ma H Y, Xu J, Zhen C S, et al. Effects of continuous cropping system on the soil physical-chemical properties and biological properties of *Gerbera jamesonii* (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(18): 3733—3740
- [ 8 ] 陈慧,郝慧荣,熊君,等.地黄连作对根际微生物区系及土壤酶活性的影响.应用生态学报,2007,18(12):2755—2759  
Chen H, Hao H R, Xiong J, et al. Effects of successive cropping *Rehmannia glutinosa* on rhizosphere soil microbial flora and enzyme activities (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2755—2759
- [ 9 ] Li P D, Dai C C, Wang X X, et al. Variation of soil enzyme activities and microbial community structure in peanut monocropping system in subtropical China. *African Journal of Agricultural Research*, 2012, 7(12): 1870—1879
- [ 10 ] 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.生态学报,2010,30(13):3599—3607  
Sun Y Y, Jiang G Y, Liu J G, et al. Effects of continuous cropping tomato for processing on soil enzyme activities and microbial flora (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(13): 3599—3607
- [ 11 ] 岳冰冰,李鑫,张会慧,等.连作对黑龙江烤烟土壤微生物功能多样性的影响.土壤,2013,45(1):116—119  
Yue B B, Li X, Zhang H H, et al. Soil microbial diversity and community structure under continuous tobacco cropping (In Chinese). *Soils*, 2013, 45(1): 116—119
- [ 12 ] 周德平,褚长彬,范洁群,等.不同种植年限设施芦笋土壤微生物群落结构与功能研究.土壤,2014,46(6):1076—1082  
Zhou D P, Chu C B, Fan J Q, et al. Microbial community structure and function in greenhouse soils of asparagus (In Chinese). *Soils*, 2014, 46(6): 1076—1082
- [ 13 ] 关松荫.土壤酶及其研究法.北京:农业出版社,1986:260—360  
Guan S Y. Soil enzyme and its research methods (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986: 260—360
- [ 14 ] Jenkinson D S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soils//Wilson J R. *Advances in*

- nitrogen cycling in agricultural ecosystems. Wallingford, UK: CAB International, 1988: 368—386
- [ 15 ] He Z L, Wu J, O'Donnell A G, et al. Measurement of microbial biomass phosphorus in low pH. *Soil Biology & Biochemistry*, 1997, 24: 358—363
- [ 16 ] Anderson J P E, Domsch K H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 1978, 10: 215—221
- [ 17 ] 全国粮食高产创建测产验收办法(试行). 中华人民共和国农业部公报, 2008(6): 37—40
- Measures for checking and accepting estimated yields of demonstration fields for higher grain production nationwide (In Chinese). *Gazette of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China*, 2008(6): 37—40
- [ 18 ] 高寒, 王宏燕, 李传宝, 等. 玉米秸秆不同腐解处理还田对黑土碳氮比的影响研究. *土壤通报*, 2013, 44(6): 1392—1397
- Gao H, Wang H Y, Li C B, et al. Effects of different maize straw returning modes on C/N ratios in mollisol (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2013, 44(6): 1392—1397
- [ 19 ] Sharma P, Rai S C, Sharma R, et al. Effects of land-use change on soil microbial C, N and P in a Himalayan watershed. *Pedobiologia*, 2004, 48(1): 83—92
- [ 20 ] 蔡阿兴, 陈章英, 蒋正琦, 等. 我国不同盐渍地区盐分含量与电导率的关系. *土壤*, 1997, 29(1): 54—57
- Cai A X, Chen Z Y, Jiang Z Q, et al. Relations between different regions of saline salt content and conductivity in China (In Chinese). *Soils*, 1997, 29(1): 54—57
- [ 21 ] 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. *土壤学报*, 2002, 39(1): 89—96
- Xu Y C, Shen Q R, Ran W. Effect of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N and P (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(1): 89—96
- [ 22 ] 高扬, 高小丽, 张东旗, 等. 连作对荞麦产量、土壤养分及酶活性的影响. *土壤*, 2014, 46(6): 1091—1096
- Gao Y, Gao X L, Zhang D Q, et al. Effects of continuous cropping on buckwheat yield, soil nutrient and enzyme activities (In Chinese). *Soils*, 2014, 46(6): 1091—1096
- [ 23 ] 郭晓霞, 刘景辉, 张星杰, 等. 免耕对旱作燕麦田耕层土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响. *土壤学报*, 2012, 49(3): 575—582
- Guo X X, Liu J H, Zhang X J, et al. Effects of non-tillage on soil microbial C, N and P in plough layer of oat field (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(3): 575—582
- [ 24 ] 臧逸飞, 郝明德, 张丽琼, 等. 26年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响研究. *生态学报*, 2015, 35(5): 1—10
- Zang Y F, Hao M D, Zhang L Q, et al. Effects of wheat cultivation and fertilization on soil microbial biomass carbon, soil microbial biomass nitrogen and soil basal respiration in 26 years (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(5): 1—10
- [ 25 ] Paul E A, Clark F E. Components of the soil biota//Paul E A, Clark F E. *Soil microbiology and biochemistry*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1996: 71—107
- [ 26 ] 王茹华, 张启发, 周宝利, 等. 浅析植物根分泌物与根际微生物的相互关系. *土壤通报*, 2007, 38(1): 167—172
- Wang R H, Zhang Q F, Zhou B L, et al. Analysis on the Interaction between root exudates and rhizosphere microbes (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Sciences*, 2007, 38(1): 167—172
- [ 27 ] 马晓霞, 王莲莲, 黎青慧, 等. 长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响. *生态学报*, 2012, 32(17): 5502—5511
- Ma X X, Wang L L, Li Q H, et al. Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(17): 5502—5511
- [ 28 ] 马冬云, 郭天财, 宋晓, 等. 尿素施用量对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响. *生态学报*, 2007, 27(12): 5222—5228
- Ma D Y, Guo T C, Song X, et al. Effects of urea application rate on the quantity of microorganisms and activity of enzymes in wheat rhizosphere (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5222—5228
- [ 29 ] 张向前, 黄国勤, 卞新民, 等. 间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响. *生态学报*, 2012, 32(22): 7082—7090
- Zhang X Q, Huang G Q, Bian X M, et al. Effects of intercropping on quality and yield of maize grain, microorganism quantity, and enzyme activities in soils (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(22): 7082—7090
- [ 30 ] 罗世琼, 黄建国, 袁玲. 野生黄花蒿土壤的养分状况与微生物特征. *土壤学报*, 2014, 51(4): 868—879
- Luo S Q, Huang J G, Yuan L. Nutrients and microorganisms in soil with wild *Artemisia annua* L (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(4): 868—879

## Effects of Continuous Cropping of Processing Tomato on Physical-chemical Properties of and Microbial Biomass in the Soil

KANG Yalong<sup>1, 2</sup> JING Feng<sup>1</sup> SUN Wenqing<sup>1</sup> TAN Jianxin<sup>1</sup> RAN Hui<sup>1</sup> JIANG Guiying<sup>1†</sup>

(1 Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Bingtuan, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

(2 Bavaria Agricultural Technology Promotion Center, Kuerle, Xinjiang 841000, China)

**Abstract** The Xinjiang Uyghur Autonomous Region is the main processing tomato production area of China. So production of processing tomatoes is the backbone of the local economy. To meet the demand for processing tomatoes of the market, continuous cropping or monocropping is widely adopted for the production of processing tomatoes, but unfortunately it has become the main factor limiting stable production and high yield of the crop in the region. It is, therefore, important to understand the mechanism of continuous tomato cropping regulating soil microbial activity. The objective of this study was to explore effects of continuous tomato cropping on physical, chemical and biological properties of the soil, in a view to providing a theoretical basis for sustainable development of the processing tomato industry in Xinjiang. A mono-cropping field experiment started in 2007 at the experiment station of the Agriculture College, Shihezi University. The cultivar of processing tomato used in the experiment was “Ligeer 87-5”. Soil samples were collected for analysis from plots different in cultivation history, 3, 5, and 7 yr of continuous cropping and from the control plot which had been undergoing fallow for 3 years before tomato was planted in 2014. Results show that with continuous cropping going on soil pH increased and soil total P, available P and total K increased first and then decreased; soil bulk density did not change much. After 7 years of continuous cropping, soil organic matter content, total N, and readily available K decreased by 8, 21 and 29%, respectively. Moreover, soil microbial biomass C (SMBC), soil microbial biomass N (SMBN), and the microbial quotient ( $q_{MB}$ ) all displayed declining trends as continuous cropping went on and decreased by 52, 79, and 48%, respectively, after 7 years of continuous cropping. Soil microbial biomass P (SMBP) increased during the first three years of continuous cropping, peaking up to 1.6 times as high as that in the control and then decreased. Continuous cropping significantly increased the activity of soil catalase, but reduced the activities of urease, sucrase, polyphenoloxidase, and phosphatase. And what is more important, it led to a significant drop, as much as 34%, in yield of processing tomato, ( $p < 0.01$ ) in the treatment of 7 years as against the control. Correlation analysis shows significant correlations between soil pH, soil microbial biomass,  $q_{MB}$ , soil enzyme activity and soil nutrient content. All the findings indicate that variations of soil microbial biomass and microbial activity may reflect changes in soil quality and thus can be used as biological indicators in evaluating soil fertility. Continuous cropping of processing tomato significantly increases soil pH and electrical conductivity and inhibites the activity of soil microbes, thus lowering soil fertility, and eventually yield of the crop. So the negative effects of continuous cropping are obvious. To maintain soil fertility and improve processing tomato production, it is essential to rotate processing tomato with cereal crops. In regions where farmland is limited in area, it is advisable to cultivate the crop continuously no more than three years.

**Key words** Processing tomato; Continuous cropping; Soil nutrient; Soil enzymes; Soil microbial biomass; Microbial quotient

(责任编辑: 汪叔生)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

- Mechanism of Extracellular Electron Transfer among Microbe-Humic-Mineral in Soils: A Review ..... WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu ( 290 )  
 Effects of Long-term Fertilization on Key Processes of Soil Nitrogen Cycling in Agricultural Soil: A Review ..... WANG Jing, CHENG Yi, CAI Zucong, et al. ( 303 )

**Insights and Perspectives**

- Soil-borne Pathogens Should not Be Ignored by Soil Science ..... CAI Zucong, HUANG Xinqi ( 310 )

**Research Articles**

- Element Migration in S<sub>3</sub> Profile of the Shaolingyuan Loess-Paleosol Sequence in Xi'an and Its Paleoclimatic Implication ..... CHU Chunjie, ZHAO Jingbo ( 320 )  
 Estimation of Soil Salt Content over Partially Vegetated Areas Based on Blind Source Separation ..... LIU Ya, PAN Xianzhang, SHI Rongjie, et al. ( 330 )  
 Construction of Calibration Set based on the Land Use Types in Visible and Near-Infrared ( VIS-NIR) Model for Soil Organic Matter Estimation ..... LIU Yanfang, LU Yannian, GUO Long, et al. ( 340 )  
 Prediction of Soil Organic Matter based on Multi-resolution Remote Sensing Data and Random Forest Algorithm ..... WANG Yinyin, QI Yanbing, CHEN Yang, et al. ( 353 )  
 Characteristic Curves and Model Analysis of Soil Moisture in Collapse Mound Profiles in Southeast Hubei ..... DENG Yusong, DING Shuwen, CAI Chongfa, et al. ( 363 )  
 Research on Sediment and Solute Transport on Red Soil Slope under Simultaneous Influence of Scouring Flow ..... MA Meijing, WANG Junguang, GUO Zhonglu, et al. ( 373 )  
 Research on Soil Erosion Rate and Hydrodynamic Parameters of Landslide Accumulation Slope in Wenchuan Earthquake Area ..... WANG Renxin, HE Binghui, LI Tianyang, et al. ( 386 )  
 Effects of Saline Ice Water Irrigation on Distribution of Moisture and Salt Content in Coastal Saline Soil ..... ZHANG Yue, YANG Jingsong, YAO Rongjiang ( 399 )  
 Soil Temperature Regime in Guizhou Province Relative to Assessment Method ..... LU Xiaohui, DONG Yubo, TU Chenglong ( 409 )  
 Characteristics of Variation of Soil Temperature in Shrub Meadow Area of Lhasa ..... GONG Yuling, WANG Zhaofeng, ZHANG Yili, et al. ( 419 )  
 Soil Water Repellency of Sands and Clay as Affected by Particle Size ..... YANG Song, WU Junhua, DONG Hongyan, et al. ( 426 )  
 Effect of AQDS Accelerating Anaerobic Dechlorination of DDT in Hydragric Acrisols ..... LIU Cuiying, WANG Zhuang, XU Xianghua, et al. ( 436 )  
 Effect of Straw Returning via Deep Burial Coupled with Application of Fertilizer as Primer on Soil Nutrients and Winter Wheat Yield ..... ZHAO Jinhua, ZHANG Congzhi, ZHANG Jiabao ( 448 )  
 Effects of Ozone Pollution on Different Active Organic Carbon Stocks in Wheat Farmland Soil ..... KOU Taiji, CHENG Xianghan, ZHANG Dongliang, et al. ( 455 )  
 Soil Organic Nitrogen Components and Their Contributions to Mineralizable Nitrogen in Paddy Soil of the Black Soil Region ..... CONG Yaohui, ZHANG Yuling, ZHANG Yulong, et al. ( 466 )  
 Effects of Soil and Water Conservation Measures on Soil Labile Organic Carbon and Soil Enzyme Activity in Gentle Slope Land of Red Soil ..... HUANG Shangshu, CHENG Yanhong, ZHONG Yijun, et al. ( 475 )  
 Ecological Stoichiometric Characteristics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Leaf-Litter-Soil System of *Picea Crassifolia* Forest in the Qilian Mountains ..... ZHAO Weijun, LIU Xiande, JIN Ming, et al. ( 488 )  
 The Application of Biomarker Genes for DNA/RNA-Stable Isotope Probing of Active Methanotrophs Responsible for Aerobic Methane Oxidation in Six Paddy Soils ..... ZHENG Yan, JIA Zhongjun ( 500 )  
 Screening of Phosphate-solubilizing Bacteria Adaptable to Corn and Effects of the Bacteria on the Growth of Corn ..... MEI Xinlan, SHAN Anqi, JIANG Yi, et al. ( 508 )  
 Response of Soil Nematode Community to Cultivation in Upland Red Soil Relative to Cultivation History and Its Significance as Indicator ..... WANG Mingwei, LIU Yudi, CHEN Xiaoyun, et al. ( 521 )  
 Nutrient Absorption and Nutrient Balance in an Agro-pastoral Compound Production Pattern of "Raising Geese in Corn Fields" in Tibet ..... SHA Zhipeng, ZHANG Yuyang, WANG Chao, et al. ( 531 )  
 Effects of Continuous Cropping of Processing Tomato on Physical-chemical Properties of and Microbial Biomass in the Soil ..... KANG Yalong, JING Feng, SUN Wenqing, et al. ( 542 )

**Research Notes**

- Mechanism of CTMAB Modifying BS-12 Modified Bentonite ..... YU Lu, MENG Zhaofu, LI Wenbin, et al. ( 550 )  
 Effects of Mechanical Soil Amelioration Method on Physical Properties of and Enzyme Activity in Planosol ..... MENG Qingying, ZHANG Chunfeng, JIA Huibin, et al. ( 559 )

**Cover Picture:** Microbial Extracellular Electron Transfer: Energy Transfer and Substance Transformation ( by WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu )

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 卢 萍 檀满枝 陈荣府

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 53 No. 2 Mar., 2016

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Oversea distributed by China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一连续出版物号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

