



# 农业资源与环境学报

中文核心期刊  
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

## 3种改良剂对连作川党参生长及土壤生化性质的影响

周武先, 刘翠君, 何银生, 吴海棠, 段媛媛, 魏海英, 艾伦强, 张美德

引用本文:

周武先, 刘翠君, 何银生, 等. 3种改良剂对连作川党参生长及土壤生化性质的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(1): 43-52.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0201>

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 3种改良剂对滨海盐碱地土壤理化性状及玉米生长的影响

王德领, 诸葛玉平, 杨全刚, 姜燕宏, 张行, 王会, 潘红

农业资源与环境学报. 2021, 38(1): 20-27 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0143>

### 施用腐植酸和生物肥对草莓品质、产量及土壤农化性状的影响

刘继培, 刘唯一, 周婕, 李桐, 赵跃, 张蒙

农业资源与环境学报. 2015(1): 56-61 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0205>

### 增施有机肥对稻田亚耕层土壤的培肥效应

韩上, 武际, 张祥明, 胡鹏, 杨友兵, 李敏, 王慧, 唐杉

农业资源与环境学报. 2018, 35(4): 334-341 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0319>

### 枯草芽孢杆菌D9生物有机肥对连作芦蒿扦插苗枯萎病病害防控研究

陈立华, 常义军, 王长春, 邵孝侯, 缪其松

农业资源与环境学报. 2016, 33(1): 66-71 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0150>

### 我国不同区域粮食作物产量对有机肥施用的响应差异

任科宇, 徐明岗, 张露, 段英华, 王伯仁

农业资源与环境学报. 2021, 38(1): 143-150 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0150>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

周武先, 刘翠君, 何银生, 等. 3种改良剂对连作川党参生长及土壤生化性质的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(1): 43-52.  
ZHOU Wu-xian, LIU Cui-jun, HE Yin-sheng, et al. Effects of three amendments on the growth of *Codonopsis tangshen* and soil biochemical properties in a continuous cropping system[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(1): 43-52.



开放科学 OSID

## 3种改良剂对连作川党参生长及土壤生化性质的影响

周武先<sup>1</sup>, 刘翠君<sup>1\*</sup>, 何银生<sup>1</sup>, 吴海棠<sup>2</sup>, 段媛媛<sup>1</sup>, 魏海英<sup>3</sup>, 艾伦强<sup>1</sup>, 张美德<sup>1\*</sup>

(1.湖北省农业科学院中药材研究所, 湖北 恩施 445000; 2.湖北民族大学生物科学与技术学院, 湖北 恩施 445000; 3.恩施土家族苗族自治州中心医院, 湖北 恩施 445000)

**摘要:**为评价土壤改良剂对川党参连作障碍的消减作用,以有机肥、微生物肥和硅钙钾镁肥为改良材料,研究不同改良剂对连作川党参生长及土壤生化性质的影响。结果表明,有机肥、微生物肥和硅钙钾镁肥显著提升了川党参叶片SPAD值,增幅分别为41.2%、20.7%和47.4%。有机肥和硅钙钾镁肥显著增加川党参产量,增幅分别为20.2%和13.8%。有机肥和微生物肥显著提高川党参多糖百分含量,分别增加9.3个百分点和6.2个百分点。微生物肥显著增加川党参炔苷含量,增幅为18.3%。3种改良剂对川党参根际土壤生化性质影响差异较大,与对照相比,有机肥和硅钙钾镁肥处理显著提高了土壤pH,分别提高0.28个和0.14个单位;显著降低土壤交换性铝含量,降幅分别为8.7%和19.9%。微生物肥显著降低土壤有机质,降幅为12.0%。有机肥、微生物肥和硅钙钾镁肥均显著增加土壤速效钾含量,增幅分别为107.5%、23.2%和32.6%。硅钙钾镁肥显著增加细菌丰度,降低真菌丰度,细菌/真菌比例较对照处理提高5 038倍。综上,3种改良剂均可提高川党参光合作用能力,但不同改良剂对连作川党参生长及土壤生化性质的影响存在差异。有机肥和硅钙钾镁肥显著提高川党参产量,微生物肥显著提升川党参炔苷含量。综合效应分析表明,3种改良剂(施用量)对连作川党参土壤的改良效果依次为有机肥(4 500 kg·hm<sup>-2</sup>)>微生物肥(750 kg·hm<sup>-2</sup>)>硅钙钾镁肥(750 kg·hm<sup>-2</sup>)。

**关键词:**改良剂;连作;川党参;生长;土壤生化性质

中图分类号:S567.53;S156.2 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2021)01-0043-10 doi: 10.13254/j.jare.2020.0201

### Effects of three amendments on the growth of *Codonopsis tangshen* and soil biochemical properties in a continuous cropping system

ZHOU Wu-xian<sup>1</sup>, LIU Cui-jun<sup>1\*</sup>, HE Yin-sheng<sup>1</sup>, WU Hai-tang<sup>2</sup>, DUAN Yuan-yuan<sup>1</sup>, WEI Hai-ying<sup>3</sup>, AI Lun-qiang<sup>1</sup>, ZHANG Mei-de<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Chinese Herbal Medicines, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Enshi 445000, China; 2. College of Biological Science and Technology, Hubei Minzu University, Enshi 445000, China; 3. Central Hospital of Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture, Enshi 445000, China)

**Abstract:** A field experiment with four treatments (control (CK), organic manure (OM), microbial fertilizer (MF), and silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer (SCPM)) was conducted to investigate the effects of three amendments on the growth and rhizospheric soil biochemical properties of *Codonopsis tangshen* in a continuous cropping system to provide scientific basis and technical support for alleviating the continuous cropping obstacle of *C. tangshen*. Results showed that the SPAD values of the *C. tangshen* leaf under the OM, MF, and SCPM treatments were enhanced by 41.2%, 20.7%, and 47.4%, respectively, compared with the control. The OM and SCPM treatments significantly increased *C. tangshen* yield by 20.2% and 13.8%, respectively. The OM and MF treatments remarkably increased

收稿日期: 2020-04-16 录用日期: 2020-06-08

作者简介: 周武先(1991—), 男, 助理研究员, 主要从事药用植物连作障碍修复研究。E-mail: zhou\_wx222@163.com

\*通信作者: 刘翠君 E-mail: 704040135@qq.com; 张美德 E-mail: emailtoecho@163.com

基金项目: 湖北省中央引导地方科技发展专项资金(2018ZYD013, 2019ZYD064); 湖北省农业科学院青年科学基金项目(2019NKYJJ13)

**Project supported:** Technical Innovation Program of Hubei Province(2018ZYD013, 2019ZYD064); Youth Science Foundation Project of Hubei Academy of Agricultural Sciences(2019NKYJJ13)

the polysaccharide content by 9.3 and 6.2 percent points, and the MF treatment significantly increased the lobetyolin content by 18.3%. The three amendments had different effects on the rhizospheric soil biochemical properties of *C. tangshen*. After the application of OM and SCPM, the soil pH was increased by 0.28, 0.14 units, and the exchangeable aluminum content of the soil was decreased by 8.7% and 19.9%, respectively, compared with the control. The MF treatment significantly decreased the soil organic matter content by 12.0% compared with the control. The available potassium content of the soil was increased by 107.5%, 23.2%, and 32.6% under the OM, MF, and SCPM treatments, respectively, compared with the control. The SCPM treatment remarkably increased bacterial abundance and decreased fungal abundance of the rhizospheric soil of *C. tangshen*; the ratio of bacteria/fungi abundance was increased by 5038 times compared with the control. All the three amendments generally enhanced the photosynthetic capacity of *C. tangshen* and had different effects on plant growth and rhizospheric soil biochemical properties. The OM and SCPM treatments improved *C. tangshen* yield, whereas the MF treatment increased the lobetyolin content of *C. tangshen*. The comprehensive analysis showed that the improvement effect of the three amendments on *C. tangshen* growth followed the order of OM(4500 kg·hm<sup>-2</sup>) > MF(750 kg·hm<sup>-2</sup>) > SCPM(750 kg·hm<sup>-2</sup>).

**Keywords:** soil amendment; continuous cropping; *Codonopsis tangshen*; growth; soil biochemical property

川党参(*Codonopsis tangshen* Oliv.)为桔梗科多年生藤本植物,其干燥根是党参药材来源之一,具有健脾益肺、养血生津之功效<sup>[1]</sup>。连作障碍,是指连续在同一土壤上栽培同种作物或近缘作物引起作物生长发育异常的现象。其产生的主要原因是连作打破了土壤原有的生物和化学循环,引起土壤酸化<sup>[2]</sup>、养分失调<sup>[3]</sup>、微生物群落结构紊乱<sup>[4]</sup>等一系列变化,进而导致作物生长受到抑制,产量和品质下降<sup>[4-5]</sup>。以往的研究表明,甜瓜<sup>[6]</sup>、花生<sup>[7]</sup>和马铃薯<sup>[8]</sup>等经济作物均存在严重的连作障碍。He等<sup>[9]</sup>研究表明,川党参在栽培过程中也存在着严重的连作障碍。因此,有效克服连作障碍对农业可持续发展具有重要意义。

张福建等<sup>[10]</sup>研究表明,土壤改良剂可通过改良土壤的生物和化学性质,使其更适宜植物生长,从而提高作物产量和品质。目前使用较为广泛、技术相对成熟的改良剂包括有机肥、微生物肥和硅钙钾镁肥等。土壤一般处于碳缺乏状态,有机肥含有大量的有机质,能矿化分解为碳和其他微生物生长所需的营养物质<sup>[11]</sup>,进而提高土壤pH、微生物多样性和活性<sup>[12]</sup>。刘金光等<sup>[13]</sup>研究表明,有机肥可提高连作花生根际土壤微生物活性,使有益微生物种群在连作花生根际定殖,提升连作花生的抗病能力,从而减少连作花生土传病害的发生。微生物肥作为一种新型肥料,含有益微生物菌群,有效菌群在植物根际得以定殖,能创造一个良好的土壤微生态环境,可以明显提高土壤中养分的含量<sup>[14]</sup>。刘涛等<sup>[15]</sup>研究表明,连作条件下再植桃苗的生长受到明显抑制,但施入微生物肥能有效缓解连作产生的抑制作用,促进再植桃苗的生长。硅钙钾镁肥是磷石膏、钾长石在高温下煅烧而形成的碱性肥料,含有硅、钙、镁、磷、钾等营养元素,可有效提升土壤pH值,增加耕层土壤盐基离子含量,降低土壤交换

性铝含量<sup>[6]</sup>。冀建华等<sup>[17]</sup>研究表明,硅钙钾镁肥能显著提高土壤pH值,有效促进盐基离子在土壤中的累积,降低土壤中的交换性酸,合理施用硅钙钾镁肥对维持土壤养分平衡、缓解作物连作障碍和促进农业可持续发展具有积极意义。

综上所述,有机肥、微生物肥和硅钙钾镁肥对改善土壤环境均具有较好的效果,可用于党参连作土壤的改良,但不同改良剂修复土壤的作用效果和机制存在差异,且目前有关改良剂修复大田连作川党参土壤的研究鲜见报道。因此本研究选择有机肥、微生物肥和硅钙钾镁肥作为土壤改良剂,探索3种改良剂对连作川党参生长及土壤生化性质的影响,以期为消减川党参连作障碍和促进中药材产业可持续发展提供科学依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验所用党参为1年生幼苗,购自湖北省恩施市板桥镇新田村农户,经湖北省农业科学院中药材研究所由金文研究员鉴定为川党参(*Codonopsis tangshen* Oliv.)。土壤改良剂分别为丰疆有机肥(pH=7.80,原料为牛粪、菜饼和米糠等,有机质≥45%,N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O≥5%)、金正大金菌冠微生物肥(pH=8.21,有机质≥45%,含解淀粉芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌等有效活菌5×10<sup>8</sup> cfu·g<sup>-1</sup>)、金正大硅钙钾镁肥(pH=10.45,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O≥5%,SiO<sub>2</sub>≥20.0%,CaO≥30.0%,MgO≥2.0%),均购自金正大国际利川团堡直销店。

### 1.2 试验设计

川党参连作试验基地(30°32′16″N,109°12′45″E,海拔1738 m)位于湖北省恩施市板桥镇新田村,试验土壤为泥质页岩发育的黄棕壤,前茬作物为川党参,

基本理化性质见表1。试验共设置3个改良剂处理,按照厂家建议施用量施用,分别为有机肥 $4\ 500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (OM)、微生物肥 $750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (MF)和硅钙钾镁肥 $750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (SCPM),在川党参移苗前一周一次性均匀施入土壤,以不施任何改良剂为对照处理(CK)。每个处理3个重复(小区),每个小区 $6\text{ m}^2$ ,小区采用随机区组设计,各小区间起沟(间隔 $30\text{ cm}$ )防止土壤改良剂互渗。川党参的施氮量为 $165.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O(质量比)=1:0.43:0.72,分别使用尿素、过磷酸钙和硫酸钾作为氮、磷、钾肥,所有处理通过调节基肥配比保持氮、磷、钾施用量一致,于2017年11月,一次性施入50%氮肥、100%磷肥和100%钾肥作为基肥,于川党参苗期和花期分别追施30%和20%氮肥。将生长发育较为一致的川党参幼苗于2017年12月移栽到试验地,保持种植密度一致,种植行株距为 $25\text{ cm}\times 7\text{ cm}$ ,田间管理统一参照当地进行。2018年7月于川党参花期测定叶片叶绿素相对含量(SPAD)。2018年9月采收川党参根部并收集根际土壤,用于测定党参形态、产量、品质和土壤生化性质等相关指标。

### 1.3 指标测定与方法

每个小区采用五点取样法随机取10株川党参测定其根形态。根长采用直尺进行测定,根直径使用游标卡尺(MNT-150)测定。每个小区的川党参全部挖出,使用金旺电子秤(HY-809)进行测产。每个小区采用五点取样法随机取10株川党参叶片,采用手持叶绿素测定仪(TYS-A,浙江托普云农科技股份有限公司)测定其SPAD值。所有处理均取其对应3个小区测定数据的平均值。

参照胡佳栋等<sup>[18]</sup>的方法测定川党参多糖含量和炔苷含量。党参多糖的测定:蒽酮-浓硫酸法测定川党参总糖含量,3,5-二硝基水杨酸(DNS)法测定还原糖含量,多糖质量分数=总糖质量分数-还原糖质量分数。党参炔苷的测定:党参样品烘干后粉碎,过65目筛。精密称取党参样品 $2.0\text{ g}$ ,置于 $100\text{ mL}$ 具塞锥形瓶中,加入 $50\text{ mL}$ 乙醇,超声( $500\text{ W}$ )提取 $30\text{ min}$ ,过滤,浓缩滤液并使用甲醇溶解,定容至 $10\text{ mL}$ ,采用高效液相色谱法进行测定<sup>[18]</sup>;色谱条件:Agilent C18

色谱柱( $4.6\text{ mm}\times 150\text{ mm}, 5\ \mu\text{m}$ );流动相水:乙腈=75:25;流速 $1\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ;柱温:室温( $25\text{ }^\circ\text{C}$ );检测波长为 $267\text{ nm}$ ;进样量 $20\ \mu\text{L}$ 。

土壤pH(土水比1:2.5)的测定采用胡慧蓉等<sup>[19]</sup>的《土壤学实验指导教程》进行测定。交换性铝(Exchangeable Al)的测定参照崔朋辉等<sup>[20]</sup>的方法进行。土壤理化性质的测定参考鲍士旦<sup>[21]</sup>的《土壤农化分析》进行,土壤碱解氮使用碱解扩散法测定;土壤速效钾使用 $\text{NH}_4\text{OAc}$ 浸提、火焰光度法测定;土壤有效磷使用 $\text{NaHCO}_3$ 浸提、钼锑抗比色法测定。土壤可培养微生物数量采用涂布平板法测定<sup>[22]</sup>。

### 1.4 数据处理

参照周武先等<sup>[23]</sup>的方法计算川党参对3种改良剂处理的生理生长响应指数(Physiological growth response index, PGRI)以及改良剂对川党参生理生长的综合效应(Comprehensive effect, CE),即:

$$\text{PGRI} = \begin{cases} 1 - C/T & (T \geq C) \\ T/C - 1 & (T < C) \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{CE} = (\text{PGRI}_1 + \text{PGRI}_2 + \text{PGRI}_3 + \dots + \text{PGRI}_n) / n \quad (2)$$

式中:C为对照值;T为处理值。PGRI>0表示对某一生理生长指标具有促进作用;PGRI=0表示没有影响;PGRI<0表示具有抑制作用,绝对值的大小表示作用强度。CE使用对应处理下川党参生理生长等正向指标的PGRI算术平均值表示。CE>0表示具有促进作用,值越大表明促进作用越强;CE=0表示没有影响(相对);CE<0表示具有抑制作用,绝对值越大表示抑制作用越强。n表示生理生长指标的个数。

采用Excel 2007、SPSS 20.0软件对数据进行统计分析和单因素方差分析(One-way ANOVA),并用新复极差(Duncan)法进行多重比较( $\alpha = 0.05$ )。利用Origin 8.1软件作图。图表中数据为平均值±标准差。

## 2 结果与分析

### 2.1 改良剂对连作川党参形态特征、叶绿素相对含量和产量的影响

如图1所示,3种改良剂对川党参的根长和根直径没有显著影响。有机肥、微生物肥和硅钙钾镁肥处

表1 供试土壤基本理化性质

Table 1 The basic physical and chemical properties of the experimental soil

容重 Bulk density/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	pH	有机质 Organic matter(OM)/ ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	碱解氮 Alkali-hydrolyzed nitrogen(AN)/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	有效磷 Available phosphorus(AP)/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	速效钾 Available potassium(AK)/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
1.15	4.12	30.49	155.24	28.90	152.76

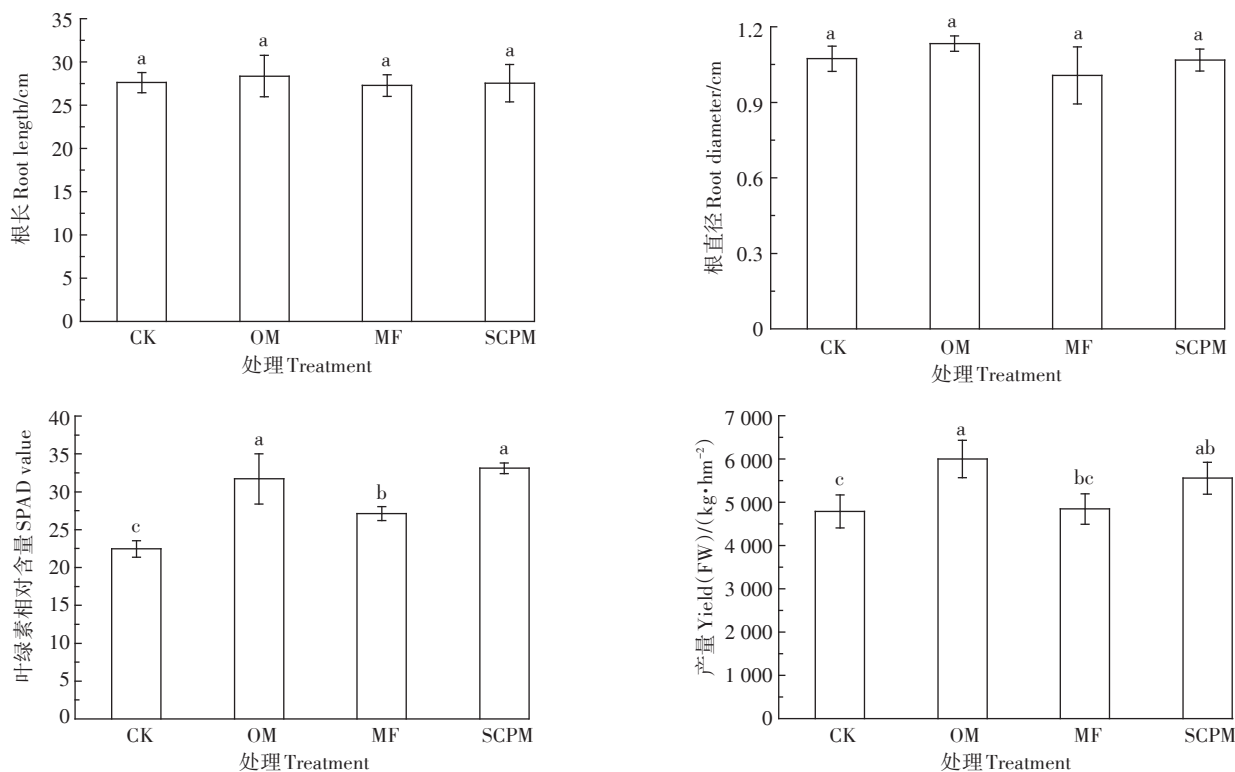


图1 改良剂对连作川党参形态特征、叶绿素相对含量以及产量的影响

Figure 1 Effects of amendments on the morphological characteristics, SPAD value and yield of continuous cropping *C. tangshen*

理均显著提高了川党参叶绿素相对含量,增幅分别为41.2%、20.7%和47.4% ( $P < 0.05$ )。有机肥和硅钙钾镁肥处理显著提高了川党参产量 ( $P < 0.05$ ),分别为6000.0 kg·hm<sup>-2</sup>和5555.6 kg·hm<sup>-2</sup>,增幅分别为20.2%和13.8%。微生物肥处理的川党参产量为4844.4 kg·hm<sup>-2</sup>,与对照相比无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 改良剂对连作川党参品质的影响

从图2可知,相比于对照组,有机肥和微生物肥处理显著提高了川党参的多糖百分含量 ( $P < 0.05$ ),分

别增加了9.3个百分点和6.2个百分点。硅钙钾镁肥处理的川党参多糖百分含量与对照相比无显著差异 ( $P > 0.05$ )。微生物肥显著提升了川党参炔苷含量 ( $P < 0.05$ ),增幅为18.3%。其他处理川党参炔苷含量与对照组相比无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

### 2.3 改良剂对土壤理化性质的影响

图3显示,有机肥和硅钙钾镁肥处理显著提高了土壤pH ( $P < 0.05$ ),相比于对照分别提高了0.28个和0.14个单位,微生物肥对土壤pH无显著影响 ( $P >$

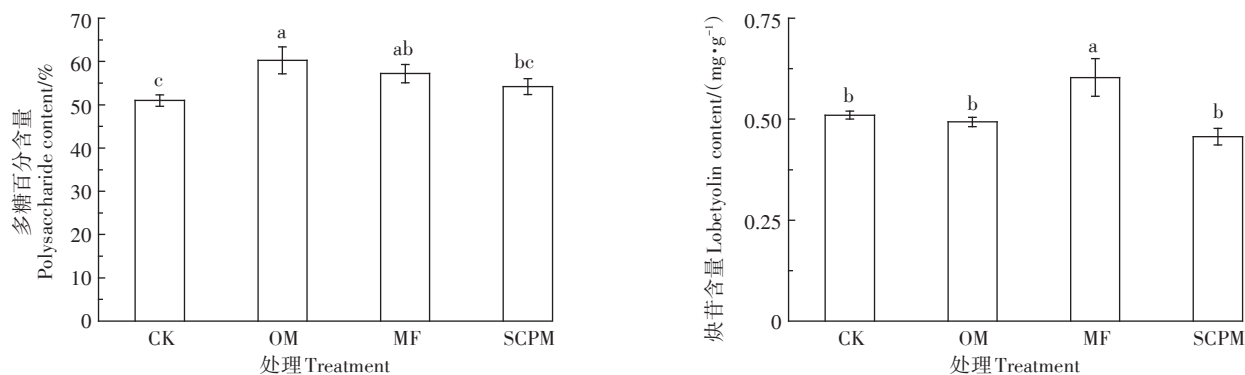


图2 改良剂对连作川党参品质的影响

Figure 2 Effects of amendments on the polysaccharide and lobetyolin content of continuous cropping *C. tangshen*

0.05)。3种改良剂中,硅钙钾镁肥和有机肥处理的交换性铝含量显著低于对照( $P<0.05$ ),土壤交换性铝含量分别为  $4.18 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $4.77 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,降幅分别为 19.9% 和 8.7%。微生物肥处理土壤交换性铝含量为  $5.36 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,与对照相比无显著差异( $P>0.05$ )。

从图4可以看出,3种改良剂中,微生物肥处理的土壤有机质含量最低,显著低于对照组( $P<0.05$ ),降幅为 12.0%。其他处理与对照相比无显著差异( $P>0.05$ )。3种改良剂对连作川党参土壤的碱解氮和有

效磷含量没有显著影响,但显著提高了连作川党参土壤中的速效钾含量( $P<0.05$ ),有机肥、微生物肥和硅钙钾镁肥处理增幅分别为 107.5%、23.2% 和 32.6%。

#### 2.4 改良剂对连作土壤微生物数量和群落结构的影响

如图5所示,硅钙钾镁肥处理的土壤细菌丰度显著高于其他处理,相比于对照处理增幅为 24.7%。有机肥和微生物肥处理土壤中细菌丰度与对照相比均无显著差异( $P>0.05$ )。有机肥和微生物肥处理的土壤真菌丰度与对照相比无显著差异,硅钙钾镁肥处理

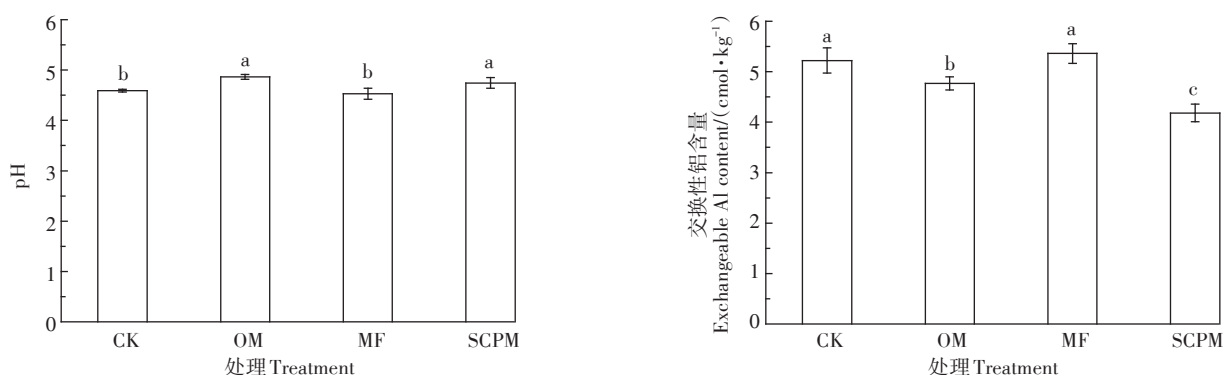


图3 改良剂对连作土壤 pH 和交换性铝含量的影响

Figure 3 Effects of amendments on the pH and exchangeable aluminum content in continuous cropping soil

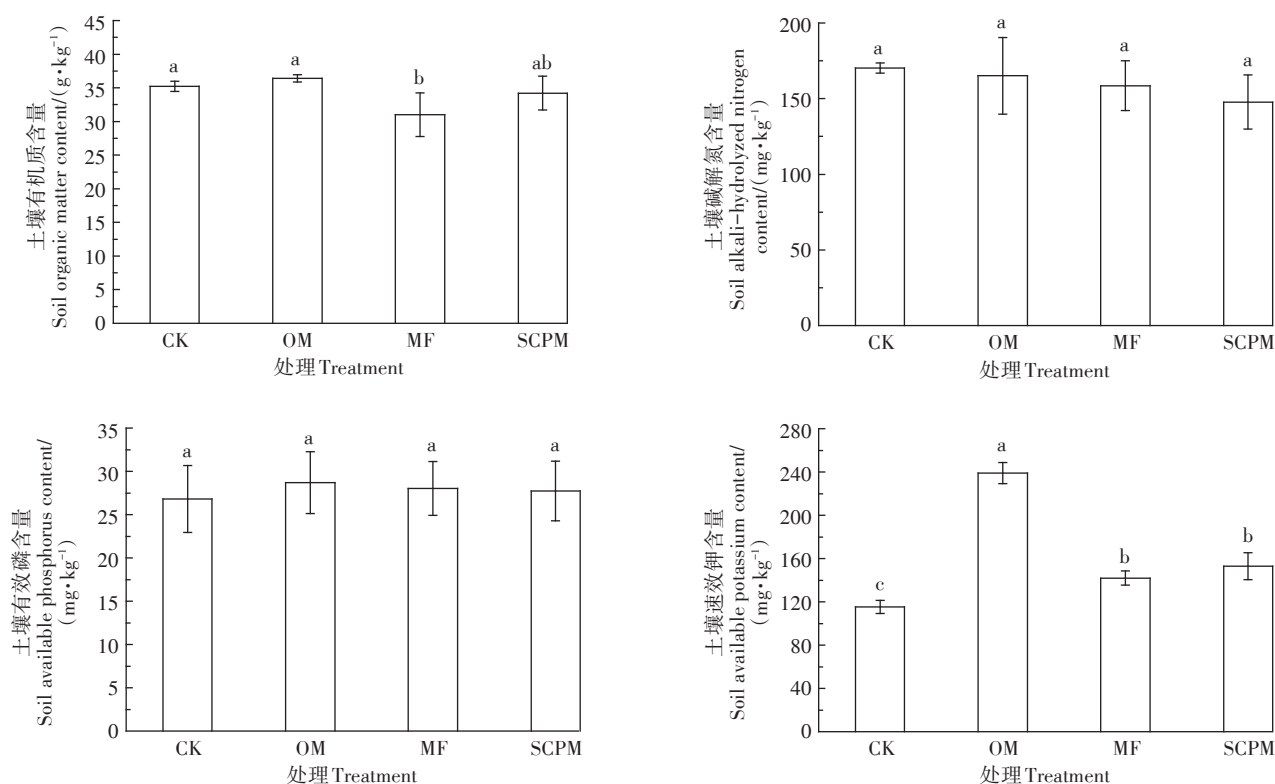


图4 改良剂对连作土壤理化性质的影响

Figure 4 Effects of amendments on the physical and chemical properties of continuous cropping soil

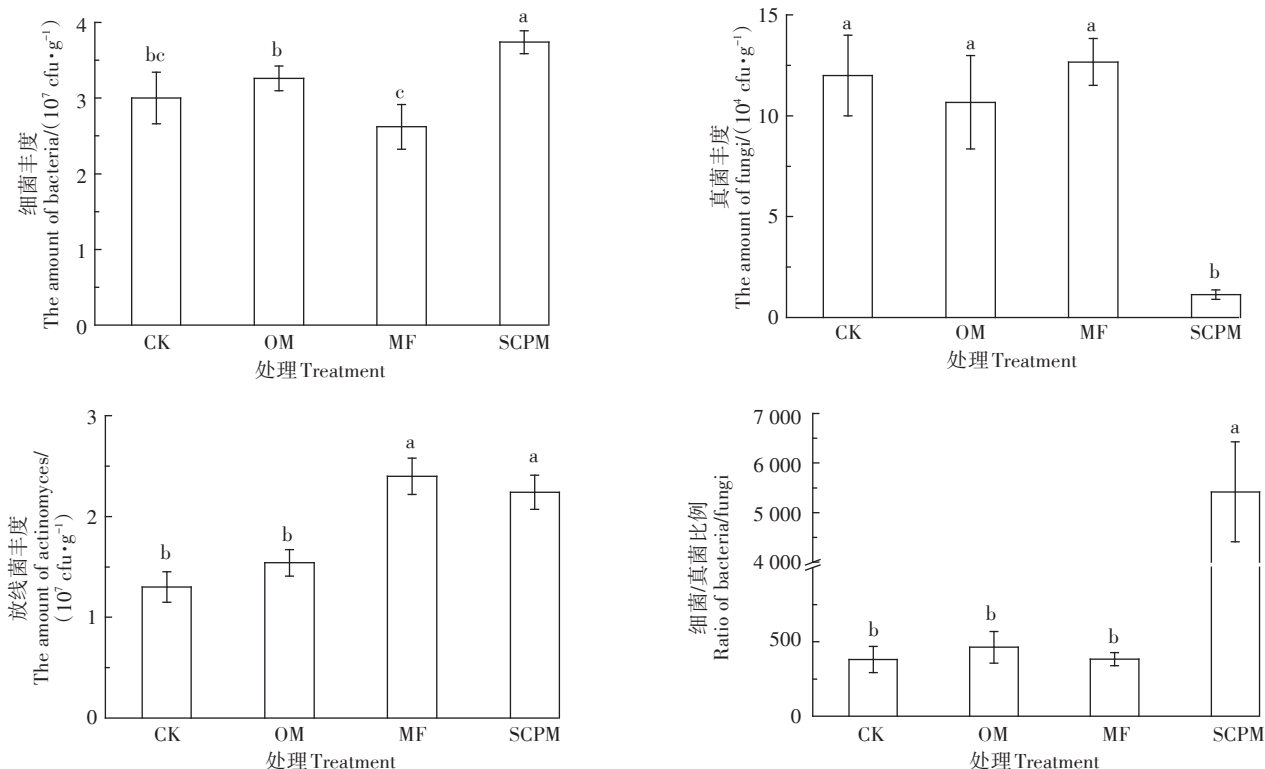


图5 改良剂对连作土壤微生物丰度的影响

Figure 5 Effects of amendments on the abundance of microorganisms in continuous cropping soil

的土壤真菌丰度显著低于对照处理( $P < 0.05$ ),降幅达90.6%。微生物肥和硅钙钾镁肥处理显著提高了土壤中放线菌的丰度,增幅分别为84.6%和72.3%。有机肥处理的土壤放线菌丰度与对照相比无显著差异( $P > 0.05$ )。硅钙钾镁肥处理的细菌(含放线菌)丰度是真菌丰度的5 419倍,对照处理细菌丰度是真菌丰度的381倍,硅钙钾镁肥处理的细菌/真菌比例较对照处理高出5 038倍。有机肥和微生物肥处理的细菌/真菌比例与对照相比无显著差异( $P > 0.05$ )。

### 2.5 改良剂对川党参生理生长的综合效应

产量和品质是决定党参价值和经济效益的主要因素,二者又以品质为主,因此本研究选择党参的产量、多糖和炔苷含量(三者权重相同)作为改良剂作用效果的考核指标。表2显示,3种改良剂对川党参产量和多糖含量均表现为促进作用,除了微生物肥对川党参炔苷含量具有促进作用外,有机肥和硅钙钾镁肥对川党参炔苷含量均表现为抑制作用。总体来看,3种改良剂对川党参生长品质均具有促进作用。

### 2.6 川党参生理生长与土壤生化性质的相关性

从表3可知,川党参根长和根直径与土壤pH、有机质、有效磷、速效钾和细菌丰度呈正相关( $P >$

表2 川党参对改良剂的生理生长响应指数和改良剂对川党参的综合效应

Table 2 The physiological growth response index and comprehensive effects of amendments on continuous cropping

处理 Treatment	生理生长响应指数 PGRI			综合效应 CE
	产量Yield	多糖 Polysaccharide	炔苷 Lobetyolin	
CK	—	—	—	—
OM	0.202	0.154	-0.033	0.108
MF	0.011	0.109	0.155	0.092
SCPM	0.138	0.059	-0.105	0.031

0.05)。川党参叶片SPAD值与土壤pH、速效钾以及细菌/真菌比例显著正相关( $P < 0.05$ ),与土壤交换性铝、碱解氮和真菌丰度显著负相关( $P < 0.05$ )。川党参产量与土壤pH和土壤速效钾含量极显著正相关( $P < 0.01$ )。多糖含量与土壤速效钾含量显著正相关( $P < 0.05$ )。炔苷含量与土壤pH显著负相关( $P < 0.05$ ),与土壤交换性铝含量显著正相关( $P < 0.05$ )。说明川党参的产量和品质与土壤生化性质存在密切联系。

表3 川党参生理生长指标与土壤生化性质的相关性分析( $r$ )Table 3 Analysis of the correlation between physiological growth index of *C. tangshen* and soil biochemical properties( $r$ )

指标 Index	pH	交换性铝 Exchangeable Al	有机质 OM	碱解氮 AN	有效磷 AP	速效钾 AK	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	细菌/真菌 Bacteria/Fungi
根长 Root length	0.124	-0.166	0.348	-0.119	0.401	0.182	0.259	-0.086	-0.076
根直径 Root diameter	0.492	-0.264	0.250	-0.330	0.157	0.379	0.354	-0.079	-0.045
叶绿素 SPAD	0.595*	-0.705*	0.054	-0.595*	0.258	0.614*	0.567	-0.581*	0.582*
产量 Yield	0.793**	-0.554	0.520	-0.160	0.565	0.765**	0.565	-0.327	0.219
多糖 Polysaccharide	0.463	-0.047	0.007	0.082	0.055	0.694*	-0.059	0.096	-0.235
炔苣 Lobetyolin	-0.647*	0.625*	-0.338	0.019	0.057	-0.304	-0.57	0.493	-0.430

注:\*\*表示在0.01水平上显著相关;\*表示在0.05水平上显著相关。

Note:\*\* and \* indicated significant correlation at 0.01 and 0.05 level, respectively.

### 3 讨论

#### 3.1 改良剂对川党参生长、产量和品质的影响

连作会导致下茬作物生长受到抑制,叶绿素含量降低,光合作用能力下降<sup>[24]</sup>,从而影响作物的产量。本试验结果显示,3种改良剂对川党参根形态特征没有显著影响,但显著提升了川党参叶片 SPAD 值,说明3种改良剂均可促进川党参的光合代谢。研究结果显示,川党参产量和叶片 SPAD 值均与土壤 pH 和速效钾含量呈显著正相关,与土壤交换性铝含量呈负相关。有机肥和硅钙钾镁肥处理能显著提高川党参产量,这与其显著提高川党参叶片 SPAD 值、土壤 pH 和速效钾含量以及降低土壤交换性铝含量的结果相符,说明有机肥和硅钙钾镁肥可以有效促进连作川党参的生长,这与孙利萍等<sup>[25]</sup>研究有机肥对番茄产量影响和涂玉婷等<sup>[26]</sup>研究硅钙钾镁肥对香蕉产量影响的结果类似。刘涛等<sup>[15]</sup>的研究表明,微生物肥能有效缓解再植桃苗的连作障碍并显著促进其生长。本研究中,微生物肥处理对川党参产量没有显著影响,对比微生物肥、有机肥和硅钙钾镁肥处理的土壤理化性质,发现微生物肥处理的土壤速效钾含量虽然有所增加,但土壤酸胁迫和铝胁迫并没有得到缓解,说明川党参的生长与土壤 pH 和铝胁迫<sup>[27]</sup>密切相关。多糖和炔苣含量是评价川党参品质的重要指标。党参多糖可通过增强网状内皮系统吞噬功能、升高脾指数以及促进溶血素的生成发挥其免疫调节的作用,适量的党参多糖可提高体液免疫和细胞免疫<sup>[28]</sup>。炔苣作为党参的指标性成分,具有抗癌、抗菌、抗炎等作用,也可用于抗胃黏膜急性损伤<sup>[29]</sup>。研究发现,川党参多糖含量与土壤速效钾含量呈显著正相关,这与刘晓侠等<sup>[30]</sup>发现枸杞多糖与土壤速效钾显著正相关有类似之处。

本研究3种改良剂中,有机肥和微生物肥处理显著提升了川党参多糖含量,这可能与有机肥和微生物肥处理提升了土壤速效钾含量有关。硅钙钾镁肥处理也显著提升了土壤速效钾含量,但多糖含量的提升没有达到显著水平,说明川党参多糖含量除了与土壤速效钾含量密切相关外,可能也与其他外界条件有关。研究还表明,川党参炔苣含量与土壤交换性铝含量显著正相关,微生物肥处理没有缓解川党参的酸胁迫和铝胁迫,但显著增加了川党参炔苣含量,推测在一定条件下,逆境胁迫有利于次级代谢产物的形成<sup>[31]</sup>。

#### 3.2 改良剂对土壤理化性质的影响

交换性铝是酸性土壤中常见的交换性阳离子,对土壤交换性酸度和 pH 值起决定性作用。本研究中,施用有机肥和硅钙钾镁肥处理均显著提高了土壤 pH 值,降低了土壤中的交换性铝含量。这可能是因为有机肥含有一定量的碱性物质<sup>[32]</sup>,可以中和土壤中的一部分酸;另外有机肥含有丰富的有机质,可以大大提高土壤的酸缓冲容量,从而增强土壤的抗酸化能力。硅钙钾镁肥因本身含有一定量的 CaO,可以与土壤中的 H<sub>2</sub>O 发生化学反应产生 Ca(OH)<sub>2</sub>,并电离出 OH<sup>-</sup> 导致土壤 pH 上升。同时产生的 OH<sup>-</sup> 与土壤中的 Al<sup>3+</sup> 反应生成难溶的 Al(OH)<sub>3</sub>,从而降低土壤中的 Al<sup>3+</sup> 含量,减少 Al<sup>3+</sup> 水解产生的 H<sup>+</sup>;同时硅钙钾镁肥会释放大量的盐基离子,与表层土壤交换性酸进行交换反应,降低土壤中的 Al<sup>3+</sup> 含量,提高土壤 pH<sup>[16,33]</sup>。微生物肥处理对土壤 pH 和交换性铝含量没有显著影响,说明微生物肥对川党参连作土壤的酸碱度影响不大。

土壤养分是植物营养的主要来源,它与植物的生长发育密切相关。3种改良剂中,有机肥处理略微增加了土壤中的有机质( $P>0.05$ ),这可能与有机肥含有



大量的有机质,施入土壤后直接增加了土壤有机质有关<sup>[34]</sup>。孙勇等<sup>[35]</sup>研究表明,微生物菌肥显著增加了玉米和大豆土壤的有机质含量;尹志荣等<sup>[36]</sup>研究表明,微生物肥可显著提升枸杞土壤的有机质含量。本研究中的微生物肥处理显著降低了川党参土壤的有机质含量,这与前人的研究结果不一致,可能是由于微生物菌种和土壤类型不同所致。3种改良剂均显著提升了土壤中速效钾的含量,推测有机肥施入土壤后,在腐解过程中活化了土壤中的矿质营养元素<sup>[37]</sup>;微生物肥可能是因为活化了土壤中的解钾菌,从而提高土壤中的速效钾含量<sup>[38]</sup>;硅钙钾镁肥则可能因其具有较强的阳离子代换能力,将土壤中被固持的钾元素释放出来<sup>[17]</sup>。

### 3.3 改良剂对土壤微生物群落结构的影响

土壤微生物是土壤生态环境中的重要组成部分,参与了地上和地下物质的交换与转化,在土壤矿物质、养分转化和循环中起重要作用<sup>[39]</sup>。一般认为,真菌型土壤向细菌型土壤转变是土壤肥力提高的一个标志<sup>[40]</sup>,土壤中真菌丰度的增加意味着病原菌增加,生态系统的稳定性降低,植物的抗病能力下降<sup>[41]</sup>。Dong等<sup>[42]</sup>研究表明,连作会显著降低西洋参根际土壤细菌和真菌的丰度,减少细菌多样性,增加真菌多样性,改变微生物群落结构。本研究结果显示,有机肥处理对川党参根际土壤中细菌、真菌和放线菌丰度没有显著影响。刘金光等<sup>[13]</sup>研究表明,通过持续施用腐熟猪粪制成的有机肥可提高连作花生根际细菌、真菌和放线菌丰度,这与本研究结果不一致,可能是由作物品种、有机肥原料和土壤生化性质差异所致。耿士均等<sup>[43]</sup>研究表明,施用微生物肥增加了连作辣椒根际土壤的细菌和放线菌丰度,降低了真菌丰度,改善了连作辣椒根际土壤的微生物区系。本研究中微生物肥处理对川党参根际土壤细菌和真菌丰度没有显著影响,但显著增加了土壤中放线菌的丰度,这可能是由于作物品种、有益活性菌种类以及土壤性质具有差异,同时也说明使用含解淀粉芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌的微生物肥对土壤放线菌的活性具有促进作用。硅钙钾镁肥处理显著提高了土壤中细菌和放线菌的丰度,降低了真菌的丰度,并显著提高了细菌/真菌比例,这与本研究小组前期研究生石灰和钙镁磷肥对酸化连作川党参土壤微生物群落结构影响的结果类似<sup>[23]</sup>,可能是因为硅钙钾镁肥处理显著提高了土壤pH,降低了铝的毒副作用,改善了川党参根区生态环境。

## 4 结论

(1)三种改良剂主要通过提高川党参光合代谢能力和调节土壤生化环境达到消减川党参连作障碍的效果。有机肥和硅钙钾镁肥有利于提高川党参产量,微生物肥则有利于提升川党参品质。

(2)三种改良剂(施用量)对连作川党参土壤的改良效果由大到小依次为有机肥(4 500 kg·hm<sup>-2</sup>)>微生物肥(750 kg·hm<sup>-2</sup>)>硅钙钾镁肥(750 kg·hm<sup>-2</sup>)。

### 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社, 2015, 281. Chinese Pharmacopoeia Commission. Chinese pharmacopoeia: Part I [M]. Beijing: CHMC, 2015, 281.
- [2] 刘来. 连作土壤酸化及改良对土壤性状和辣椒生理代谢的影响[D]. 南京:南京农业大学, 2013. LIU Lai. Effect of continuous cropping properties of soil and growth, physiological metabolism of pepper [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013.
- [3] 石程仁, 禹山林, 杜秉海, 等. 连作花生土壤理化性质的变化特征及其与土壤微生物相关性分析[J]. 花生学报, 2018, 47(4): 1-6, 18. SHI Cheng-ren, YU Shan-lin, DU Bing-hai, et al. The characteristics variation of soil physical and chemical properties and its correlation with soil microorganisms under continuous peanut cropping[J]. *Journal of Peanut Science*, 2018, 47(4): 1-6, 18.
- [4] 李奉国, 马龙传, 孔勇, 等. 连作对大蒜土壤养分、微生物结构和酶活的影响[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(1): 141-147. LI Feng-guo, MA Long-chuan, KONG Yong, et al. Effect of continuous garlic cropping on soil nutrients, microbial structure and enzyme activity[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21(1): 141-147.
- [5] 牛敏. 连作对丹参光合作用及药材产量、品质的影响[D]. 济南:山东中医药大学, 2017. NIU Min. Effects of continuous cropping on leaf photosynthetic characteristics and quality of *Salvia miltiorrhiza* Bunge[D]. Jinan: Shandong University of Traditional Chinese Medicine, 2017.
- [6] 徐小军, 王瑞, 张桂兰, 等. 连作对设施甜瓜生长和光合作用以及养分吸收和产量品质的影响[J]. 果树学报, 2018, 35(4): 449-457. XU Xiao-jun, WANG Rui, ZHANG Gui-lan, et al. Effects of continuous cropping on growth and photosynthesis and nutrient absorption as well as yield and quality traits of melon grown in greenhouse[J]. *Journal of Fruit Science*, 2018, 35(4): 449-457.
- [7] 李忠, 江立庚, 唐荣华, 等. 连作对花生土壤酶活性、养分含量和植株产量的影响[J]. 土壤, 2018, 50(3): 491-497. LI Zhong, JIANG Li-geng, TANG Rong-hua, et al. Effects of long-term continuous peanut cropping on dry matter weight of different peanut varieties, soil nutrient contents and enzyme activities[J]. *Soils*, 2018, 50(3): 491-497.
- [8] 焦润安, 徐雪风, 杨宏伟, 等. 连作对马铃薯生长和土壤健康的影响及机制研究[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(4): 94-100. JIAO Run-an, XU Xue-feng, YANG Hong-wei, et al. Study on the effect and its mechanism of continuous cropping on potato growth and soil

- health[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2018, 36(4):94-100.
- [9] 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.
- [10] 张福建, 陈昱, 杨磊, 等. 施用生物质炭和生石灰对连作辣椒生长的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(6):1240-1247. ZHANG Fu-jian, CHEN Yu, YANG-Lei, et al. Effects of biomass charcoal and lime on growth of pepper[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(6):1240-1247.
- [11] Demoling F, Figueroa D, Bååth E. Comparison of factors limiting bacterial growth in different soils[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39(10):2485.
- [12] Ding J L, Jiang X, Ma M C, et al. Effect of 35 years inorganic fertilizer and manure amendment on structure of bacterial and Archaeal communities in black soil of northeast China[J]. *Applied Soil Ecology*, 2016, 105:187.
- [13] 刘金光, 李孝刚, 王兴祥. 连续施用有机肥对连作花生根际微生物种群和酶活性的影响[J]. 土壤, 2018, 50(2):305-311. LIU Jin-guang, LI Xiao-gang, WANG Xing-xiang. Effects of successive application of organic fertilizers on rhizosphere microbial populations and enzyme activities of monoculture peanut[J]. *Soils*, 2018, 50(2):305-311.
- [14] 王宪奎, 李建贵, 刘隋赞昊, 等. 不同施肥措施对灰枣园土壤速效养分含量的影响[J]. 经济林研究, 2016, 34(2):35-40. WANG Xian-kui, LI Jian-gui, LIU Sui-yun-hao, et al. Effects of different fertilization treatments on contents of soil nutrients in gray jujube orchard[J]. *Non-wood Forest Research*, 2016, 34(2):35-40.
- [15] 刘涛, 沃林峰, 赵丽, 等. 不同连作土壤处理对再植水蜜桃苗生长状况及光合特性的影响[J]. 经济林研究, 2019, 37(1):173-180. LIU Tao, WO Lin-feng, ZHAO Li, et al. Effects of different continuous cropping soil treatments on growth status and photosynthetic characteristics of replanted honey peach seedlings[J]. *Non-wood Forest Research*, 2019, 37(1):173-180.
- [16] 冀建华, 李絮花, 刘秀梅, 等. 硅钙钾镁肥对南方稻田土壤酸度的改良作用[J]. 土壤学报, 2019, 56(4):895-906. JI Jian-hua, LI Xu-hua, LIU Xiu-mei, et al. Effect of Si-Ca-K-Mg fertilizer remedying acid paddy soil in south china[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, 56(4):895-906.
- [17] 冀建华, 李絮花, 刘秀梅, 等. 硅钙钾镁肥对南方稻田土壤酸性和盐基离子动态变化的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(2):583-592. JI Jian-hua, LI Xu-hua, LIU Xiu-mei, et al. Effects of fertilizer of calcium silicon magnesium potassium on the dynamics of soil acidity and exchangeable base cation in paddy field of southern China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(2):583-592.
- [18] 胡佳栋, 毛歌, 张志伟, 等. 不同施肥处理对党参产量和次生代谢物含量的影响研究[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(15):2946-2953. HU Jia-dong, MAO Ge, ZHANG Zhi-wei, et al. Effect of different fertilization treatments on yield and secondary metabolites of *Codonopsis pilosula*[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2017, 42(15):2946-2953.
- [19] 胡慧蓉, 田昆. 土壤学实验指导教程[M]. 北京:中国林业出版社, 2012. HU Hui-rong, TIAN Kun. Instructional course for soil experiments[M]. Beijing:China Forestry Press, 2012.
- [20] 崔朋辉, 许小丽, 林思祖, 等. 土壤中交换性铝含量的测定方法改进[J]. 福建农业学报, 2016, 31(3):280-284. CUI Peng-hui, XU Xiao-li, LIN Si-zu, et al. An improved method for determining of exchangeable aluminum in soil[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 31(3):280-284.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 三版. 北京:中国农业出版社, 2000. BAO Shi-dan. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. 3rd edition. Beijing:China Agriculture Press, 2000.
- [22] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京:科学出版社, 2006. YAO Huai-ying, HUANG Chang-yong. Soil microbial ecology and its experimental techniques[M]. Beijing:Science Press, 2006.
- [23] 周武先, 何银生, 朱盈徽, 等. 生石灰和钙镁磷肥对酸化川党参土壤的改良效果[J]. 应用生态学报, 2019, 30(9):3224-3232. ZHOU Wu-xian, HE Yin-sheng, ZHU Ying-hui, et al. Improvement effects of quicklime and calcium magnesium phosphate fertilizer on acidified soil cultivating *Codonopsis tangshen*[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(9):3224-3232.
- [24] 马怡茹, 魏飞, 马子豪, 等. 连作棉田间作洋葱、孜然对棉花光合特性及根系生长的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(6):792-797. MA Yi-ru, WEI Fei, MA Zi-hao, et al. Effects of continuous cropping cotton intercropping onion and cumin on photosynthetic characteristics and root growth of cotton[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(6):792-797.
- [25] 孙利萍, 赵增寿, 高敏丽, 等. 不同有机肥种类及施用量对番茄产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(6):30-32, 60. SUN Li-ping, ZHAO Zeng-shou, GAO Min-li, et al. Effect of different kinds and dosage of organic manure on the yield and quality of tomato[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2018, 31(6):30-32, 60.
- [26] 涂玉婷, 彭智平, 黄继川, 等. 施用不同品种硅钙钾镁肥对香蕉产量、品质及土壤养分的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(4):40-45. TU Yu-ting, PENG Zhi-ping, HUANG Ji-chuan, et al. Effect of different varieties of silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer on banana yield, quality and soil nutrients[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(4):40-45.
- [27] 吕波, 王宇函, 夏浩, 等. 不同改良剂对黄棕壤和红壤上白菜生长及土壤肥力影响的差异[J]. 中国农业科学, 2018, 51(22):4306-4315. LÜ Bo, WANG Yu-han, XIA Hao, et al. Effects of biochar and other amendments on the cabbage growth and soil fertility in yellow-brown soil and red soil[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(22):4306-4315.
- [28] 晏永新, 张丽, 贾海芳, 等. 党参多糖口服液对小鼠免疫功能的影响[J]. 中国兽药杂志, 2013, 47(3):18-20. YAN Yong-xin, ZHANG Li, JIA Hai-fang, et al. Effects of *Codonopsis pilosula* polysaccharide oral liquids on the immunity function of mice[J]. *China Journal of Veterinary Medicine*, 2013, 47(3):18-20.
- [29] 黄圆圆, 张元, 康利平, 等. 党参属植物化学成分及药理活性研究

- 进展[J]. 中草药, 2018, 49(1): 239-250. HUANG Yuan-yuan, ZHANG Yuan, KANG Li-ping, et al. Research progress on chemical constituents and their pharmacological activities of plant from *Condonopsis*[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2018, 49(1): 239-250.
- [30] 刘晓侠, 刘吉利, 吴娜, 等. 不同地域枸杞主要次生代谢物含量与初生代谢物含量的关系研究[J]. 北方园艺, 2015(23): 163-169. LIU Xiao-xia, LIU Ji-li, WU Na, et al. Study on biological characteristics of different varieties of *Lonicera japonica* Thunb[J]. *Northern Horticulture*, 2015(23): 163-169.
- [31] 黄璐琦, 郭兰萍. 中药资源生态学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2009. HUANG Lu-qi, GUO Lan-ping. Ecology of traditional Chinese medicine resources[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical publishers, 2009.
- [32] Cai Z J, Zhang H M, He X H, et al. Intensified soil acidification from chemical N fertilization and prevention by manure in an 18-year field experiment in the red soil of southern China[J]. *Journal of Soils & Sediments*, 2015, 15(2): 260-270.
- [33] 韩科峰, 陈余平, 胡铁军, 等. 硅钙钾镁肥对浙江省酸性水稻土壤的改良效果[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(1): 117-122. HAN Ke-feng, CHEN Yu-ping, HU Tie-jun, et al. Effects of silicon, calcium, potassium and magnesium fertilizer on acid paddy soil improvement in Zhejiang Province[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2018, 30(1): 117-122.
- [34] 弓萌萌, 王红, 张雪梅, 等. 不同有机肥施用量对苹果园土壤养分及酶活性的影响[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(3): 74-78, 97. GONG Meng-meng, WANG Hong, ZHANG Xue-mei, et al. Effects of different organic fertilizer amounts on soil nutrient and enzyme activity of apple orchard[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2019, 34(3): 74-78, 97.
- [35] 孙勇, 曲京博, 初晓冬, 等. 不同施肥处理对黑土土壤肥力和作物产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(14): 45-50. SUN Yong, QU Jing-bo, CHU Xiao-dong, et al. Effects of different fertilization treatments on soil fertility and crop yield of black soil[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(14): 45-50.
- [36] 尹志荣, 黄建成, 桂林国, 等. 微生物肥对原生盐碱土壤理化性质及枸杞生长的影响[J]. 宁夏农林科技, 2018, 59(12): 48-51, 75. YIN Zhi-rong, HUANG Jian-cheng, GUI Lin-guo, et al. Effect of microbial fertilizer on physico-chemical property of native saline-alkali soil and growth of wolfberry[J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2018, 59(12): 48-51, 75.
- [37] Zhang G N, Chen Z H, Zhang A M, et al. Phosphorus composition and phosphatase activities in soils affected by long-term application of pig manure and inorganic fertilizers[J]. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 2014, 45(14): 1866-1876.
- [38] 刘彦伶, 李渝, 张雅蓉, 等. 长期不同施肥处理对黄壤性水稻土壤理化性质的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(19): 294-298. LIU Yan-ling, LI Yu, ZHANG Ya-rong, et al. Effects of long-term different fertilization on physical and chemical properties of yellow paddy soil[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2017, 45(19): 294-298.
- [39] Allison V J, Miller R M, Jastrow J D, et al. Changes in soil microbial community structure in a tallgrass prairie chronosequence[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69(5): 1412-1421.
- [40] 杭焯, 罗夫来, 赵致, 等. 半夏间作不同作物对土壤微生物、养分及酶活性的影响研究[J]. 中药材, 2018, 41(7): 1522-1528. HANG Ye, LUO Fu-lai, ZHAO Zhi, et al. Effect of *Pinellia ternata* with different intercropping crops on soil microorganism, nutrient and enzyme activity[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2018, 41(7): 1522-1528.
- [41] 董艳, 董坤, 郑毅, 等. 种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 527-532. DONG Yan, DONG Kun, ZHENG Yi, et al. Effect of rotation patterns on soil microbial community and enzyme activities under protected cultivation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 527-532.
- [42] Dong L L, Xu J, Zhang L J, et al. High-throughput sequencing technology reveals that continuous cropping of American ginseng results in changes in the microbial community in arable soil[J]. *Chinese Medicine*, 2017, 12(1): 18.
- [43] 耿士均, 王波, 刘刊, 等. 专用微生物肥对不同连作障碍土壤根际微生物区系的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(4): 758-764. GENG Shi-jun, WANG Bo, LIU Kan, et al. Effect of specific microbial fertilizer on the rhizosphere microbial flora of different continuous cropping obstacles soil[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28(4): 758-764.