



连作改变土壤性状对甜叶菊产量和品质的影响

徐新娟, 魏琦超, 罗庆云, 周伯雅

引用本文:

徐新娟, 魏琦超, 罗庆云, 周伯雅. 连作改变土壤性状对甜叶菊产量和品质的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(4): 549–556.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4633>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

5种相思树和尾巨桉人工林土壤养分和酶活性特征

Characteristics of Soil Nutrient and Enzyme Activities in Plantations of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* and Five *Acacia* Species
热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 483–493 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4334>

氮磷添加对华南地区2种人工林土壤氮磷循环酶活性的影响

Effects of Long-term Nitrogen and Phosphorus Additions on Soil Enzyme Activities Related N and P Cycle in Two Plantations in South China
热带亚热带植物学报. 2021, 29(3): 244–250 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4293>

不同种植模式下重金属污染对牧草叶片光合特性和重金属含量的影响

Effects of Heavy Metal Pollution on Photosynthetic Characteristics and Heavy Metal Contents in Forage Leaves under Different Planting Patterns
热带亚热带植物学报. 2021, 29(1): 31–40 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4244>

大孔树脂纯化嘉宝果叶片多酚及其生物活性和组成分析

Biological Activities and Composition Analysis of Polyphenols in Jaboticaba Leaves Purified with Macroporous Resin
热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 563–572 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4352>

3种作物(莴笋、茄子、小白菜)对香樟凋落叶化感作用的生理响应

Physiological Responses of Three Crops (Lettuce, Eggplant and Pakchoi) to Allelopathy of *Cinnamomum camphora* Litter Leaves
热带亚热带植物学报. 2021, 29(1): 41–49 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4229>

向下翻页, 浏览PDF全文

连作改变土壤性状对甜叶菊产量和品质的影响

徐新娟¹, 魏琦超¹, 罗庆云², 周伯雅³

(1. 河南科技学院, 现代生物育种河南省协同创新中心, 河南 新乡 453003; 2. 南京农业大学, 南京 210095; 3. 兴化格林生物制品有限公司, 江苏 泰州 225700)

摘要: 为了解连作障碍的产生机理, 对甜叶菊(*Stevia rebaudiana*)连作后的土壤性状变化进行了研究, 并探讨土壤性状与叶片干质量和甜菊糖苷之间的相关性。结果表明, 连作 2 a 和 3 a 的土壤 pH 值、有机质、速效磷、脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、磷酸酶和甜叶菊叶片干质量及甜菊糖苷组分含量均无显著差异。连作 4 a 后, 土壤 pH 值、全氮和速效钾含量显著下降, 分别比对照降低了 10.07%、14.38% 和 24.79%, 土壤电导率(EC)和速效磷含量显著增加, 是对照的 2.57 和 1.70 倍; 土壤脲酶、蔗糖酶、磷酸酶活性、微生物量碳和微生物量氮在连作 4 a 降到最低, 比对照分别降低了 63.68%、72.03%、47.43%、78.35% 和 41.07; 多酚氧化酶则在连作 4 a 达到最高, 是对照的 4.22 倍; 与对照相比, 连作 4 a 的叶片干质量和甜菊糖苷含量降低了 29.51% 和 16.00%, 莱鲍迪苷 A 含量则增加了 22.19%。叶片干质量及甜菊糖苷含量与土壤性状间存在着相关性。因此, 连作通过改变土壤性状影响甜叶菊产量和品质, 生产中最大连作年限不宜超过 3 a。

关键词: 甜叶菊; 连作; 土壤性状; 产量

doi: 10.11926/jtsb.4633

Effects of Continuous Cropping on Yield and Quality of Stevia by Changing Soil Properties

XU Xinjuan¹, WEI Qichao¹, LUO Qingyun², ZHOU Boya³

(1. Henan Institute of Science and Technology, Collaborative Innovation Center of Modern Biological Breeding, Xinxiang 453003, Henan, China; 2. Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3. Xinghua Green Biological Products Co., Taizhou 225776, Jiangsu, China)

Abstract: In order to understand the mechanism of continuous cropping obstacles, the changes in soil properties after continuous cropping of *Stevia rebaudiana* were studied, and the correlations between soil properties and leaf dry mass and stevioside were discussed. The results showed that there were no significant differences in soil pH, organic matter, available phosphorus, urease, catalase, sucrase, phosphatase, leaf dry weight and stevioside components between 2- and 3-year continuous cropping. However, after continuous cropping for 4 years, soil pH, total nitrogen and available potassium decreased significantly, which were 10.07%, 14.38% and 24.79% lower than the control, respectively. But the soil electric conductivity (EC) and available phosphorus increased significantly with 2.57 and 1.70 times to the control. Meanwhile, the activities of urease, sucrase, alkaline phosphatase, microbial biomass carbon and microbial biomass nitrogen in soil were 63.68%, 72.03%, 47.43% and 78.35% lower than the control, while the activity of polyphenol oxidase reached the highest, which was 4.22 times to the control. Compared with the control, leaf dry weight and stevioside decreased by 29.51% and 16.00%, while the content of rebaudioside A increased by 22.19%. There were correlations between leaf dry weight and stevioside content and soil properties. Therefore, it was suggested that continuous cropping affects the yield and

收稿日期: 2022-03-07 接受日期: 2022-04-18

基金项目: 中英合作项目(20190012); 河南省科技攻关项目(212102110477)资助

This work was supported by the Co-operation Project of China-UK (Grant No. 20190012), and the Project for Key Scientific and Technology in Henan (Grant No. 212102110477).

作者简介: 徐新娟(1979年生), 女, 在读博士, 高级实验师, 研究方向为植物次生代谢与营养生理。E-mail: xinjuan_xu@163.com

quality of stevia by changing soil properties, and the maximum continuous cropping period in production should not exceed 3 years.

Key words: *Stevia rebaudiana*; Continuous cropping; Soil property; Yield

甜叶菊(*Stevia rebaudiana*)是菊科(Compositae)多年生草本药用植物,叶中丰富的甜菊糖苷作为一类天然甜味剂备受世界关注,并广泛应用于食品、饮料和调味料的生产^[1]。甜菊糖苷(steviol glycosides, SVGly)是一类萜类混合物,主要组分有甜菊苷(stevioside, STV)和瑞鲍迪苷(rebaudiosides)系列,其中 STV 和 RA (rebaudioside A)含量较高^[2]。中国是全球最主要的甜菊糖苷出口国,甜菊糖苷市场需求的逐渐增加导致甜叶菊种植面积不断扩大。新疆是国内近几年来甜叶菊推广种植的重点发展区域,其独特的气候特征及良好的土壤资源尤其适合甜叶菊的规模化种植和机械化操作,但甜叶菊的生长特性决定其在新疆只能一年一收,收获后的气候又不适宜其他作物生长,随后的连续种植甜叶菊造成生产上的连作并产生一定弊端,如生长减缓、产量下降及发病率增加^[3]等,即产生了连作障碍。

引起连作障碍的原因很复杂,根系所处土壤环境的恶化是重要原因之一,研究土壤性状变化对克服作物连作障碍有着重要的指导意义。土壤酶与微生物参与土壤养分循环,与土壤质量的许多理化指标高度相关^[4]。研究表明,连作改变土壤理化性质、导致养分失衡、改变土壤酶活性及引起微生物群落结构失衡等,进而影响植物生长^[5],但连作对土壤酶活的影响在不同作物不同生育时期的表现均不一致^[6-8]。对药用植物而言,土壤性状改变显著影响植物的活性成分含量^[9],土壤养分含量变化显著影响药用植物黄花蒿的青蒿素含量^[10]。连作是药用植物栽培中导致土壤恶化的主要原因,连作障碍已经成为制约药用植物品质和发展的关键性因素^[11],如何通过控制土壤性状减缓连作障碍已经成为甜叶菊生产中迫切需要解决的科学问题。

调查发现,新疆地区甜叶菊少则连作 2~3 a,多则 4~5 a 甚至更长,严重阻碍了甜叶菊生产的可持续性。目前对甜叶菊连作问题还缺乏深入系统的研究。因此,本文从土壤角度,对甜叶菊连作后土壤理化性质、土壤酶活性及土壤微生物量的变化进行研究,探讨连作后土壤性状与叶片干重及甜菊糖苷含量间的关系,以期生产中甜叶菊的施肥、减缓连作障碍及可持续高效栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于新疆库尔勒市和静县哈尔莫敦镇(86.14° E, 41.76° N),地处天山中段南麓,属于中温带大陆性干燥气候,四季分明,干燥少雨,光热条件充足,无霜期长,年均气温 8.8 °C,年降雨量 68 mm,年蒸发量 2 100 mm,年日照时数 2 942 h,全年无霜期为 183 d。土壤类型为壤土,中性偏碱,肥力中等。

1.2 大田种植与样品采集

供试甜叶菊品种为‘谱星六号’,于 2019 年 4 月 15—20 日进行大田移栽,当年 9 月 10 日前后收获。采用覆膜滴灌的种植方式,底肥用量为:重过磷酸钙 337.5 kg/hm²,硫酸钾 337.5 kg/hm²,硫酸亚铁 108 kg/hm²,后期分期追施尿素 6 次共 36 kg/hm²,均随滴灌施入;收获前 1 个月左右叶面喷施磷酸二氢钾 30 kg/hm²,其余操作同常规大田管理。

以第 1 年种植甜叶菊地块为对照(CK),连作年限设有 2、3 和 4 a。CK 和 2~4 a 连作地块移栽前土壤 pH 为 8.5~8.8,有机质(organic matter, OM)含量分别为 25.76、24.43、20.83 和 16.13 g/kg,全氮(total nitrogen, TN)含量分别为 1.47、1.78、1.50 和 1.11 g/kg,速效磷(available phosphorus, AP)含量分别为 20.48、35.03、30.24 和 34.57 mg/kg,速效钾(available potassium, AK)含量分别为 107.67、97.33、92.00 和 69.00 mg/kg。于甜叶菊收获前采集样品,按照蛇形采样法每处理采集 5 株并混合,3 个重复。将甜叶菊根系完整挖出后,抖掉多余的土,收集根际附近的土壤作为测试样品。一份土壤样品自然风干后过 20 和 100 目筛,用于土壤理化及土壤酶活性的测定;一份土壤鲜样低温保存,用于土壤微生物量的测定。同时将叶片于烘箱 105 °C 杀青 30 min 后 75 °C 烘干,用电子天平称取叶片干质量(leaf dry weight, LDW)后粉碎过 60 目筛待测糖苷含量。

1.3 方法

参考鲍士旦^[12]和关松荫^[13]的方法测定土壤指标。土壤 pH 采用电位法(土水比=1:2.5),土壤电导率(EC)采用电导率仪测定;有机质采用外加

热重铬酸钾容量法, 全氮采用浓硫酸消煮后上流动分析仪检测, 速效磷采用钼锑抗比色法, 速效钾采用火焰光度计法。土壤脲酶(urease, UE)采用苯酚-次氯酸钠比色法, 过氧化氢酶(catalase, CAT)采用高锰酸钾滴定法; 蔗糖酶(sucrase, SUC)采用3,5-二硝基水杨酸比色法, 碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)采用磷酸苯二钠比色法, 多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)采用邻苯三酚比色法。新鲜土壤经氯仿熏蒸-硫酸钾提取后, 分别采用碳分析仪器法和流动注射氮分析仪器法测定土壤微生物量碳(microbial biomass carbon, MBC)和土壤微生物量氮(microbial biomass nitrogen, MBN)。

参考 Liu 等^[14]和罗庆云等^[15]的方法测定叶片糖苷含量, 精确称取 50 mg 甜叶菊粉末, 加入 1.5 mL 50%乙醇, 超声提取 40 min, 11 800×g 离心 10 min, 0.45 μm 有机微孔滤膜过滤后测定甜菊糖苷含量(%), 组分有 STV、RA、RB (rebaudioside B)、RC (rebaudioside C)、RD (rebaudioside D)、RF (rebaudioside F) 和 RM (rebaudioside M)。

1.4 数据分析

所有数据均为 3 个重复的平均值, 采用 SAS 9.2 软件进行方差分析和 Pearson 相关分析, LSD 法进行多重比较, 显著性水平设为 $P < 0.05$ 。采用 Graph-Pad Prism 7 作图。

2 结果和分析

2.1 连作年限对土壤理化性状的影响

由图 1 可知, 除有机质含量外, 连作显著影响土壤理化性状。与对照相比, pH 值在连作 4 a 降到最低, 分别比连作 2 a 和 3 a 降低了 16.46% 和 19.22%; EC 值随着连作年限增加而增加, 连作 3 a 和 4 a 的差异不显著, 分别是对照的 2.32 和 1.79 倍; 速效磷含量在连作前 3 年无显著差异, 连作 4 a 则显著提高, 分别比对照、连作 2 a 和 3 a 提高了 69.90%、91.25% 和 99.92%; 连作 3 a 和 4 a 的全氮和速效钾含量并无显著差异, 但均显著低于对照和连作 2 a。

2.2 连作年限对土壤酶活的影响

甜叶菊连作后土壤酶活性的变化不一致(图 2)。与对照相比, 连作使过氧化氢酶活性显著降低, 但连作年限间并无显著差异; 土壤脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性均呈下降趋势, 连作 2 a 和 3 a 的差异不显著, 连作 4 a 显著降低, 分别比对照降低了 63.68%、72.03% 和 47.43%; 随着连作年限增加, 土壤多酚氧化酶活性显著增加, 在连作 4 a 达到最高, 分别是对照、连作 2 a 和 3 a 的 4.22、2.87 和 2.12 倍。

2.3 连作年限对土壤微生物量的影响

土壤微生物量均在连作 4 a 后降至最低(图 3), 其中连作 4 a 的微生物量碳与连作 3 a 的无显著差

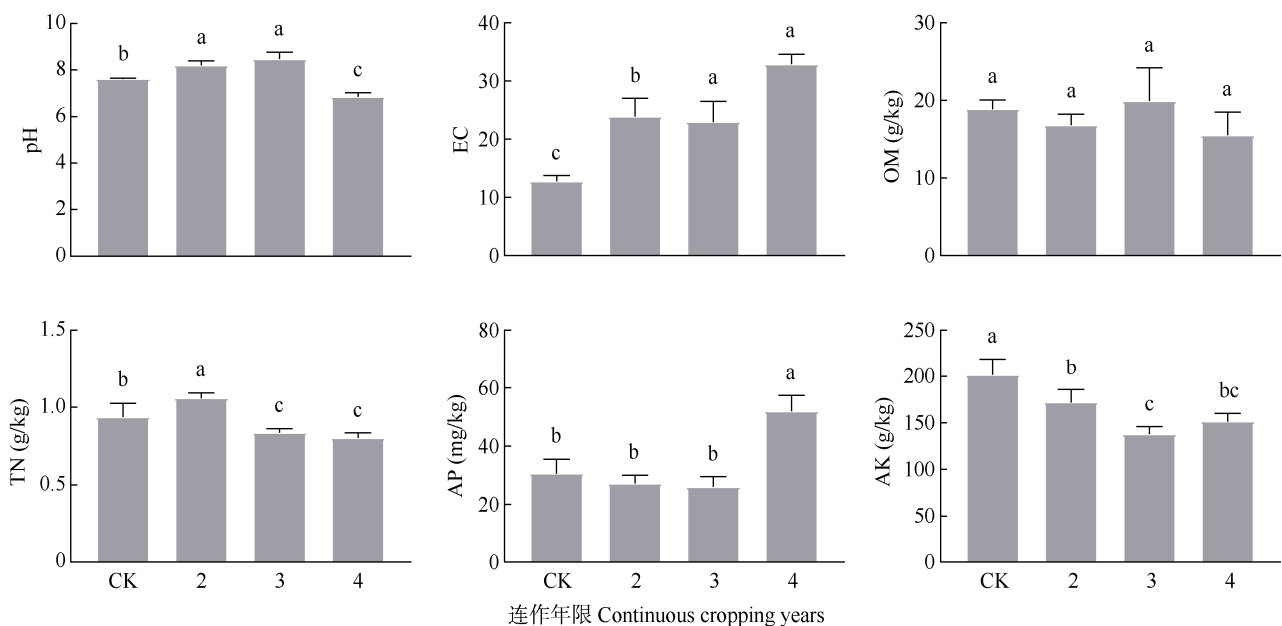


图 1 土壤理化性状的比较。CK: 对照; EC: 电导率; OM: 有机质; TN: 全氮; AP: 速效磷; AK: 速效钾。柱上不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同
Fig. 1 Comparison of soil physicochemical properties. CK: Control; EC: Electric conductivity; TN: Total nitrogen; AP: Available phosphorus; AK: Available potassium. Different letters upon column indicate significant differences 0.05 level. The same below

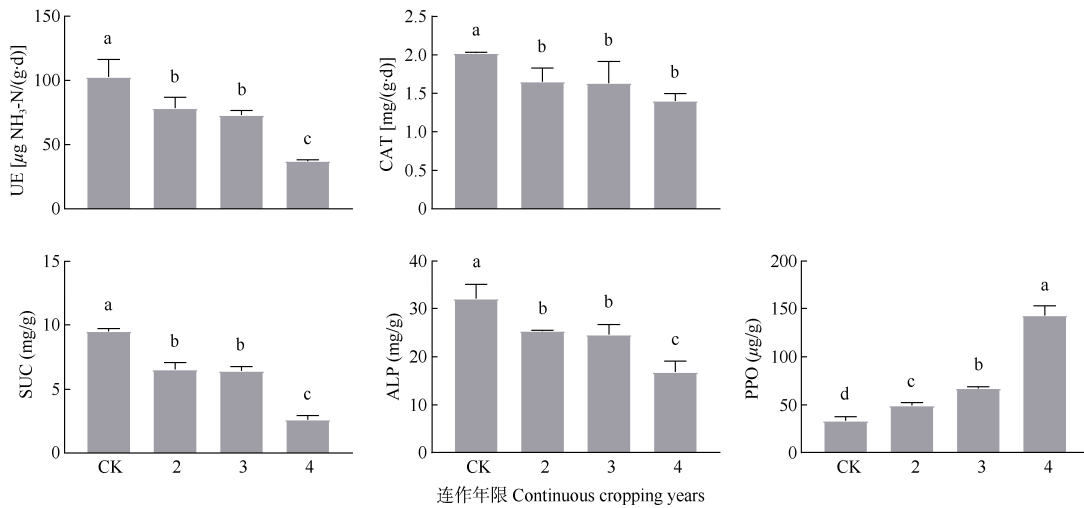


图 2 土壤酶活性的变化。UE: 脲酶; CAT: 过氧化氢酶; SUC: 蔗糖酶; ALP: 碱性磷酸酶; PPO: 多酚氧化酶。下同

Fig. 2 Changes in soil enzyme activity. CK: Control; UE: Urease; CAT: Catalase; SUC: Sucrase; ALP: Alkaline phosphstase; PPO: Polyphenol oxidase. The same below

异, 但比对照和连作 2 a 显著降低了 76.43%和 56.82%; 连作 4 a 的微生物量氮比连作 2 a 和 3 a 分别降低了 73.81%和 41.05%。

2.4 连作年限对叶片干质量和甜菊糖苷含量的影响

连作显著影响甜叶菊叶片干质量和甜菊糖苷含量(图 4)。随着连作年限增加, 叶片干质量逐渐下

降, 连作 2 a 和 3 a 的差异不显著, 连作 4 a 则显著降低, 仅为对照的 64.04%。相反, 连作 4 a 的糖苷总含量最高, 分别比对照、连作 2 a 和 3 a 增加了 14.00%、19.30%和 20.42%; 与对照相比, STV 含量显著下降, 在连作 4 a 降到最低, 比对照低 16%。连作 2 a 和 3 a 的 STV、RB、RC、RD、RF、RM

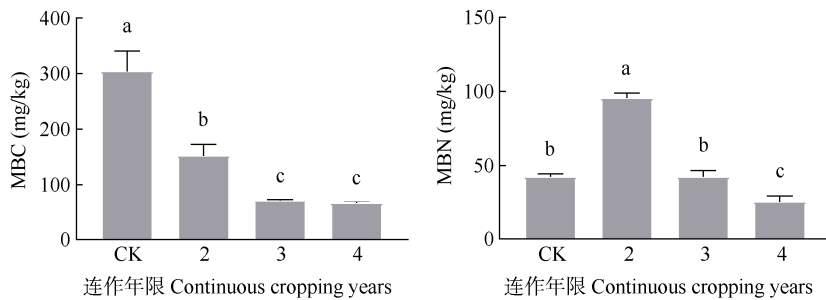


图 3 土壤微生物生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)的变化

Fig. 3 Changes in soil microbial biomass carbon (MBC) and microbial biomass nitrogen (MBN)

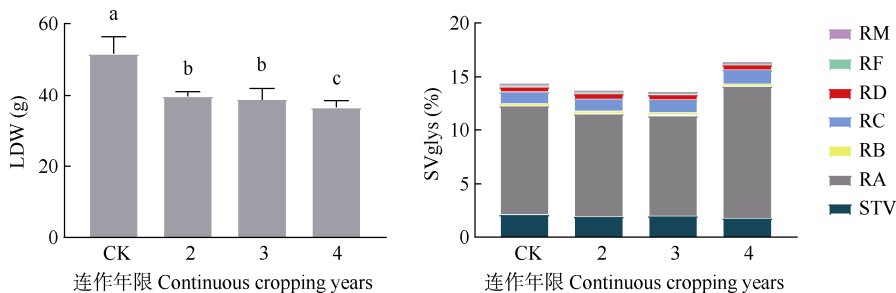


图 4 叶片干质量及甜菊糖苷含量的变化。LDW: 叶片干质量; SVglys: 甜菊糖苷; STV: 甜菊苷; RA、RB、RC、RD、RF、RM 为瑞鲍迪苷系列。下同

Fig. 4 Changes in leaf dry weight and steviol glycosides content. LDW: Lear dry weight; SVglys: Steviol glycoside; STV: Stevioside; RA, RB, RC, RD, RF, RM: Rebaudiosides. The same below

含量差异不显著; RA 含量则呈现先降后升的趋势, 在连作 4 a 达到最大值, 比对照增加了 22.19%。

2.5 相关分析

相关分析结果表明(表 1), 甜叶菊叶片干质量与土壤 EC 和多酚氧化酶活性呈显著负相关, 与速效钾含量、脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、磷酸酶活性及微生物量碳呈显著正相关; RA 含量与土壤 pH、

脲酶、蔗糖酶、磷酸酶及微生物量氮显著负相关, 与土壤 EC 值和多酚氧化酶呈显著正相关; STV 含量与土壤 EC、速效磷含量和多酚氧化酶活性呈显著负相关, 与脲酶、蔗糖酶、磷酸酶呈显著正相关; RB 和 RC 含量均与微生物量碳呈显著负相关, RC 含量与土壤 EC 呈显著正相关, RM 含量与速效钾含量和微生物量碳呈显著正相关。

表 1 相关分析

Table 1 Correlation analysis

指标 Index	pH	EC	OM	TN	AP	AK	UE	CAT	SUC	ALP	PPO	MBC	MBN
LDW	0.20	-0.90**	0.45	0.39	-0.36	0.81**	0.90**	0.89**	0.89**	0.87**	-0.78**	0.90**	0.11
RA	-0.90**	0.58*	-0.43	-0.51	0.79**	-0.11	-0.71*	-0.43	-0.72**	-0.64*	0.85**	-0.28	-0.58*
STV	0.57	-0.70*	0.57	0.12	-0.65*	0.30	0.79**	0.56	0.79**	0.74**	-0.75**	0.48	-0.00
RB	0.41	0.30	0.32	-0.13	-0.00	-0.57	-0.20	-0.37	-0.24	-0.17	0.12	-0.59*	0.09
RC	-0.15	0.65*	0.16	-0.46	0.28	-0.55	-0.57	-0.62*	-0.49	-0.57	0.53	-0.70**	-0.37
RD	0.35	-0.18	0.11	0.40	-0.18	0.09	0.19	0.13	0.27	0.24	-0.38	0.11	0.50
RF	0.40	0.20	0.46	-0.06	0.23	-0.37	-0.15	-0.03	-0.23	-0.21	0.09	-0.45	0.10
RM	-0.38	-0.28	0.11	0.39	-0.01	0.66*	0.27	0.44	0.38	0.27	-0.26	0.61*	0.11

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$

3 结论和讨论

3.1 连作改变了土壤性状

连作导致土壤酸化, 福建百香果 (*Passiflora edulis*) 连作 3 a 后土壤 pH 降到 4.16^[16], 严重抑制植物生长, 但新疆土壤本身偏碱, 所以甜叶菊连作 4 a 后土壤 pH 值虽显著降低, 但仍在甜叶菊的适宜生长范围。土壤 EC 值与土壤中的可溶性盐分有关, 盐度过高不利于植物的正常生长。关于连作与土壤养分、土壤酶活性的报道较多, 由于植物种类不同、土壤类型不同及连作年限差异导致研究结果相差较大^[17-20]。从整体上看, 甜叶菊连作后土壤次生盐渍化加重, 土壤磷过剩, 钾消耗过多, 造成养分不平衡, 这与黄瓜 (*Cucumis sativus*) 的研究结果一致^[21]。

土壤酶活性与土壤营养物质转化能力、肥力水平及污染状况密切相关^[22]。土壤脲酶和磷酸酶分别参与土壤含氮、含磷化合物的转化, 蔗糖酶促进蔗糖分解成葡萄糖和果糖, 这 3 种酶的活性均在甜叶菊连作 4 a 后显著降低, 这与半夏 (*Pinellia ternate*)^[23] 的研究结果相似。过氧化氢酶可分解过氧化氢, 降低其对生物体的毒害作用, 甜叶菊连作后土壤过氧化氢酶的活性无显著差异, 与土壤有机质含量的变化一致, 也与刘垠霖等^[24]对哈密瓜 (*Cucumis melo*

var. saccharinus) 的研究结果相同。作为一种氧化还原酶, 多酚氧化酶能够降解土壤中酚类物质, 减缓植物间的化感作用^[25]。桉树 (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*) 林间的土壤多酚氧化酶活性随连栽年限增加呈上升趋势, 且与土壤水溶性酚呈极显著正相关^[26]。本研究中甜叶菊连作 4 a 的土壤多酚氧化酶同样急剧增加, 表明连作甜叶菊可能导致土壤中积累较多的水溶性酚, 随之增强的多酚氧化酶活性则可以制约这种现象, 从而缓解土壤酚对植株正常生长发育的抑制。

土壤微生物量参与土壤有机质的分解、腐殖质的形成及土壤养分的转化循环等生化过程, 是土壤肥力与质量的重要生物指标^[27]。土壤微生物量碳是土壤有机碳的灵敏指示因子, 土壤微生物量氮是土壤氮素矿化的重要组成部分, 二者的变化趋势与土壤全氮的变化一致^[28], 这与本文的结论相似; 此外, 二者与土壤酶活性存在显著相关关系, 并直接影响土壤中可培养微生物的数量^[29], 甜叶菊连作后土壤微生物量显著下降, 也在一定程度上反映连作后土壤质量的变化, 后续可进一步开展土壤微生物方面的相关研究。

3.2 土壤性状影响糖苷含量

连作改变了土壤性状, 而土壤性状与药用植物

的生长和品质密切相关^[30]。本研究中甜菊糖苷总量在连作 4 a 达到最高, 但不同甜菊糖苷组分的含量受连作的影响不同, 含量较高的 STV 在甜叶菊连作 4 a 显著下降, 而 RA 含量则达到最高, 其余组分的差异不大。甜菊糖苷属于植物次生代谢物, 次生代谢与植物抗性及其品质密切相关, 植物通过提高次生代谢产物提高自身保护和生存竞争能力, 环境胁迫显著刺激植物次生代谢产物的积累^[31-32]。本研究中较长时间连作导致的土壤性状劣变或许是刺激糖苷含量增加的主要胁迫因子, 虽然主要糖苷组分含量在连作 4 a 达到最高, 但由于此时较低的生物量依然使整体的糖苷积累量维持在较低水平。相关分析结果证实, 甜叶菊叶片干质量与土壤理化指标呈显著正相关或负相关, 主要糖苷组分 STV 和 RA 也与土壤理化性状、土壤酶活性及土壤微生物量存在一定的相关性, 这表明连作通过改变土壤性状影响甜叶菊产量及品质, 尽管连作会对糖苷组分产生一定的“连作增益”效应^[33], 但在连作年限上仍需结合生物量进行慎重选择。

综上, 甜叶菊连作后显著劣变的土壤严重影响叶片干质量与甜菊糖苷含量。连续种植甜叶菊 4 a 的土壤性状整体弱于连作 2~3 a, 表明连作 3 a 可能是生产中甜叶菊连作的最高年限阈值。土壤是一个极其复杂的环境, 除土壤理化性状外, 还需要考虑根际分泌及土壤微生物等多种因素, 综合多方位原因才能更加全面的解释甜叶菊连作障碍的产生机理, 进而提出有针对性的解决措施。

参考文献

- [1] DÍAZ-GUTIÉRREZ C, HURTADO A, ORTÍZ A, et al. Increase in steviol glycosides production from *Stevia rebaudiana* Bertoni under organo-mineral fertilization [J]. Ind Crops Prod, 2020, 147: 112220. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112220.
- [2] GASMALLA M A A, YANG R J, HUA X. *Stevia rebaudiana* Bertoni: An alternative sugar replacer and its application in food industry [J]. Food Eng Rev, 2014, 6(4): 150–162. doi: 10.1007/s12393-014-9080-0.
- [3] XU X J, LUO Q Y, ZHOU B Y. Preliminary report on the control of stevia leaf by bio-organic fertilizer [J]. Agric Technol, 2020, 40(4): 8–10. [徐新娟, 罗庆云, 周伯雅. 生物有机肥防控甜叶菊叶斑病研究初报 [J]. 农业与技术, 2020, 40(4): 8–10. doi: 10.19754/j.nyyjs.20200229003.]
- [4] YU P J, FAN G H, HAN K X, et al. Soil quality assessment based on soil microbial biomass carbon and soil enzyme activities [J]. Res Agric Modern, 2018, 39(1): 163–169. [禹朴家, 范高华, 韩可欣, 等. 基于土壤微生物量碳和酶活性指标的土壤肥力质量评价初探 [J]. 农业现代化研究, 2018, 39(1): 163–169. doi: 10.13872/j.1000-0275.2017.0101.]
- [5] WANG T F, ZHAO M Z, GUAN L, et al. Analysis of nutrient contents and microbial flora in the continuous cropping soil of strawberry in different regions of Jiangsu Province [J]. J Fruit Sci, 2019, 36(1): 86–93. [王廷峰, 赵密珍, 关玲, 等. 江苏省不同区域草莓连作土壤养分及微生物区系分析 [J]. 果树学报, 2019, 36(1): 86–93. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.20180273.]
- [6] HUANG Y Q, HAN L S, HAN M, et al. Influence of continuous cropping years on soil enzyme activities of peanuts [J]. Chin J Oil Crop Sci, 2012, 34(1): 96–100. [黄玉茜, 韩立思, 韩梅, 等. 花生连作对土壤酶活性的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(1): 96–100.]
- [7] XU S R, ZHANG E H, MA R L, et al. Effects of planting years on the root system and soil environment of *Lycium barbarum* L. [J]. Acta Agron Sin, 2018, 44(11): 1725–1732. [胥生荣, 张恩和, 马瑞丽, 等. 不同种植年限对枸杞根系及土壤环境的影响 [J]. 作物学报, 2018, 44(11): 1725–1732. doi: 10.3724/SP.J.1006.2018.01725.]
- [8] ZHOU H X, LAN Z Q, HAN Z Y, et al. Effects of the soil and substrate quality of facility vegetables in different planting years [J]. J Henan Agric Univ, 2018, 52(5): 703–709. [周海霞, 兰挚谦, 韩泽宇, 等. 不同种植年限对设施蔬菜土壤及基质质量的影响 [J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(5): 703–709. doi: 10.16445/j.cnki.1000-2340.2018.05.008.]
- [9] GUO L P, HUANG L Q, JIANG Y X, et al. Soil deterioration during cultivation of medicinal plants and ways to prevent it [J]. China J Chin Mat Med, 2006, 31(9): 714–717. [郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 等. 药用植物栽培种植中的土壤环境恶化及防治策略 [J]. 中国中药杂志, 2006, 31(9): 714–717. doi: 10.3321/j.issn:1001-5302.2006.09.002.]
- [10] QI X X, WEI X, JIANG Y S, et al. Relation to the content of *Artemisinin* and the contents of the nutrient elements in soil and plant [J]. Guihaia, 2009, 29(5): 627–630. [漆小雪, 韦霄, 蒋运生, 等. 青蒿素含量与土壤、植株养分含量关系的研究 [J]. 广西植物, 2009, 29(5): 627–630. doi: 10.3969/j.issn.1000-3142.2009.05.013.]
- [11] WU H M, LIN W X. A commentary and development perspective on the consecutive monoculture problems of medicinal plants [J]. Chin J Eco-Agric, 2020, 28(6): 775–793. [吴红淼, 林文雄. 药用植物连作障碍研究评述和发展透视 [J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(6): 775–793. doi: 10.13930/j.cnki.cjea.190760.]
- [12] BAO S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 25–114. [鲍士旦. 土壤化学分析 [M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25–114.]

- [13] GUAN S Y. Soil Enzymes and Methods [M]. Beijing: Agricultural Press, 1986: 274–344. [关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274–344.]
- [14] LIU J, LI J W, TANG J. Ultrasonically assisted extraction of total carbohydrates from *Stevia rebaudiana* Bertoni and identification of extracts [J]. Food Bioprod Process, 2010, 88(2/3): 215–221. doi: 10.1016/j.fbp.2009.12.005.
- [15] LUO Q Y, LIN Y Y, XIE Y S, et al. Distribution and accumulation of RA and STV in stevia cultivars seedling [J]. Sugar Crops China, 2014(1): 13–18. [罗庆云, 林英英, 谢越盛, 等. 甜叶菊植株体内 RA 及 STV 分布和积累动态 [J]. 中国糖料, 2014(1): 13–18. doi: 10.13570/j.cnki.scc.2014.01.010.]
- [16] CHEN X T, WANG Y H, LIN L W, et al. Effects of continuous cropping passion fruit on soil physicochemical property, microbial characteristics and isolation, identification of pathogenic fungi [J]. Chin J Trop Crops, 2021, 42(2): 495–502. [陈晓婷, 王裕华, 林立文, 等. 连作百香果对土壤理化性质和微生物特性的影响及病原真菌的分离与鉴定 [J]. 热带作物学报, 2021, 42(2): 495–502. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2021.02.027.]
- [17] SHENG Y F, WANG H Y, QIAO H Y, et al. Effects of different soil textures on the degree of replanted disease of *Malus hupehensis* Rehd. [J]. Sci Agric Sin, 2019, 52(4): 715–724. [盛月凡, 王海燕, 乔铨元, 等. 不同土壤质地对平邑甜茶幼苗连作障碍程度的影响 [J]. 中国农业科学, 2019, 52(4): 715–724. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2019.04.012.]
- [18] CAI Q Y, YANG X B, MENG X, et al. Effects of continuous cropping years on properties of flue-cured tobacco soil [J]. Acta Agric Jiangxi, 2020, 32(10): 93–98. [蔡秋燕, 阳显斌, 孟祥, 等. 不同连作年限对植烟土壤性状的影响 [J]. 江西农业学报, 2020, 32(10): 93–98. doi: 10.19386/j.cnki.jxnyxb.2020.10.18.]
- [19] GU J X, LI Y, SUN H G, et al. Effects of continuous cropping on soil nutrients, enzyme activities and microbial community diversity of *Glehnia littoralis* [J]. J Chin Med Mat, 2021(10): 2270–2275. [古军霞, 李阳, 孙会改, 等. 连作对北沙参土壤养分、酶活性及微生物群落多样性的影响 [J]. 中药材, 2021(10): 2270–2275. doi: 10.13863/j.issn.1001-4454.2021.10.002.]
- [20] DU X R, LI Y G, DENG X P, et al. Effects of continuous cropping on chemical properties, enzyme activities and bacterial communities in different types of tobacco-planted soil [J]. Chin Tob Sci, 2021, 42(5): 30–35. [杜杏蓉, 李运国, 邓小鹏, 等. 连作对不同类型植烟土壤化学性状、酶活性及细菌群落的影响 [J]. 中国烟草科学, 2021, 42(5): 30–35. doi: 10.13496/j.issn.1007-5119.2021.05.005.]
- [21] LÜ W G, YU T Y, ZHU H T, et al. Effects of cucumber continuous cropping on the soil physico-chemical characters and biological activities [J]. Chin J Eco-Agric, 2006, 14(2): 119–121. [吕卫光, 余廷园, 诸海涛, 等. 黄瓜连作对土壤理化性状及生物活性的影响研究 [J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 119–121.]
- [22] LI Y H, DENG P Y, LEI Z H, et al. Effects of growing *Rehmannia glutinosa* on activities of urease, polyphenol oxidase and alkaline phosphatase [J]. SW China J Agric Sci, 2018, 31(5): 1041–1044. [李玉华, 邓培渊, 雷志华, 等. 种植地黄对土壤中脲酶、多酚氧化酶及碱性磷酸酶活性的影响 [J]. 西南农业学报, 2018, 31(5): 1041–1044. doi: 10.16213/j.cnki.scjas.2018.5.026.]
- [23] WANG L K, LUO F L, WANG H L, et al. Analysis of soil enzyme activity, microorganism and allelochemicals under different continuous cropping years of *Pinellia ternate* [J]. J Chin Med Mat, 2021, 44(4): 798–801. [王礼科, 罗夫来, 王华磊, 等. 半夏不同连作年限土壤酶活性、微生物及化感物质的分析 [J]. 中药材, 2021, 44(4): 798–801. doi: 10.13863/j.issn1001-4454.2021.04.005.]
- [24] LIU Y L, CAI L Q, ZHAO R, et al. Response of soil nutrient and enzyme activity to continuous cropping years of Turpan Hami melon [J]. Soils Fertil Sci China, 2021(1): 273–281. [刘垠霖, 蔡立群, 赵瑞, 等. 吐鲁番哈密瓜土壤养分及酶活性对连作年限的响应 [J]. 中国土壤与肥料, 2021(1): 273–281. doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19547.]
- [25] LUO H, FENG C C, ZHAO J Y, et al. Kinetic and thermodynamic properties of polyphenol oxidase in petroleum contaminated soil [J]. Res Environ Sci, 2020, 33(11): 2621–2628. [罗慧, 冯程程, 赵境怡, 等. 石油污染土壤多酚氧化酶的动力学及热力学特征 [J]. 环境科学研究, 2020, 33(11): 2621–2628. doi: 10.13198/j.issn.1001-6929.2020.07.23.]
- [26] YANG M, TAN L, YE S M, et al. Effects of continuous *Eucalyptus* plantation on activity of polyphenol oxidase and phenol contents in soil [J]. J Soil Water Conserv, 2012, 26(2): 165–169. [杨梅, 谭玲, 叶绍明, 等. 桉树连作对土壤多酚氧化酶活性及酚类物质含量的影响 [J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 165–169. doi: 10.13870/j.cnki.stbxb.2012.02.040.]
- [27] WANG Y, SHEN Q R, SHI R H, et al. Soil microbial biomass and its ecological effects [J]. J Nanjing Agric Univ, 1996, 19(4): 45–51. [王岩, 沈其荣, 史瑞和, 等. 土壤微生物量及其生态效应 [J]. 南京农业大学学报, 1996, 19(4): 45–51. doi: 10.7685/j.issn.1000-2030.1996.04.010.]
- [28] 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 [J]. Acta Ecol Sin, 2015, 35(5): 1445–1451. [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 [J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1445–1451. doi: 10.5846/stxb201305070967.]

- [29] ZHAO X S, YANG C X, FENG L S, et al. Effects of the combination of bentonite and fertilizer on soil biochemical characteristics and microbial quantity [J]. *Soils Fertil Sci China*, 2020(5): 183–188. [赵雪淞, 杨晨曦, 冯良山, 等. 膨润土与肥料配施对土壤生化特性和微生物数量的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2020(5): 183–188. doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19438.]
- [30] ZHANG J C, SUN C, LI C Z, et al. Study on soil organic matter, enzyme activity and the effective components of *Bletilla striata* under different planting years [J]. *J Chin Med Mat*, 2020, 43(1): 1–4. [张家春, 孙超, 李朝楨, 等. 不同种植年限白及土壤有机质、酶活性与白及有效成分研究 [J]. *中药材*, 2020, 43(1): 1–4. doi: 10.13863/j.issn1001-4454.2020.01.001.]
- [31] WANG L J, FANG X, YANG C Q, et al. Biosynthesis and regulation of secondary terpenoid metabolism in plants [J]. *Sci Sin Vitae*, 2013, 43(12): 1030–1046. [王凌健, 方欣, 杨长青, 等. 植物萜类次生代谢及其调控 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2013, 43(12): 1030–1046. doi: 10.1360/052013-307.]
- [32] HUANG L Q, GUO L P. Secondary metabolites accumulating and geoherb formation under environmental stress [J]. *China J Chin Mat Med*, 2007, 32(4): 277–280. [黄璐琦, 郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成 [J]. *中国中药杂志*, 2007, 32(4): 277–280. doi: 10.3321/j.issn:1001-5302.2007.04.001.]
- [33] LI J, HUANG J, LI P, et al. Effects of continuous cropping on the contents of steroids and triterpenoids in *Achyranthes bidentate* [J]. *Lishizhen Med Mat Med Res*, 2010, 21(10): 2433–2434. [李娟, 黄剑, 李萍, 等. 连作对牛膝中甾酮及三萜类物质含量的影响 [J]. *时珍国医国药*, 2010, 21(10): 2433–2434. doi: 10.3969/j.issn.1008-0805.2010.10.006.]