

研究报告

DOI:10.14188/j.ajsh.2024.02.003

不同轮作模式对桔梗生长、根际土壤微生物及土壤酶活性的影响

刘鹏飞,王晓琴,张美茜,张薇,麻剑南,于娟,贾鑫*

(内蒙古医科大学药学院,内蒙古呼和浩特010110)

摘要: 为研究不同轮作模式对桔梗根际土壤微生物及土壤酶活性的影响,从土壤微生态角度探寻一种无公害防治桔梗连作障碍的方式,以二年生桔梗为试材,采用盆栽试验的方法,以桔梗-桔梗(JG-JG)为对照,研究了桔梗-北沙参(JG-SS)、桔梗-玉米(JG-YM)、桔梗-防风(JG-FF)和桔梗-牛膝(JG-NX)不同轮作模式下对桔梗生长及土壤微生物和土壤酶活性的影响,分析筛选出桔梗的最优轮作模式。研究发现,JG-YM和JG-NX轮作模式下桔梗各生物量指标均优于其他处理;通过不同轮作种植模式对桔梗根际土壤微生物数量的影响研究发现,JG-SS、JG-YM、JG-NX、JG-FF细菌数量高于桔梗连作处理;JG-YM和JG-FF整体放线菌数量变化高于桔梗连作处理;JG-YM和JG-NX真菌数量与桔梗连作处理相比增长最为缓慢。通过不同轮作种植模式对桔梗根际土壤酶活性的影响研究发现,JG-NX的脲酶、蔗糖酶和纤维素酶活性高于其他四种处理。通过测定不同轮作模式下的桔梗生物量、桔梗根际土壤微生物数量和土壤酶活性,表明桔梗与牛膝或玉米轮作种植能改善种植土壤环境,缓解桔梗的连作障碍,可为桔梗的规范化种植奠定基础。

关键词: 桔梗;轮作;生物量;土壤微生物数量;土壤酶活性

中图分类号: R931.2

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2024)02-0126-08

Effects of different rotation patterns on the growth, rhizosphere soil microorganisms, and soil enzyme activities of *Platycodon grandiflorum* (Jacq.)

A. DC.

LIU Pengfei, WANG Xiaoqin, ZHANG Meixi, ZHANG Wei, MA Jiannan, YU Juan, JIA Xin*

(School of Pharmacy, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia, China)

Abstract: To study the effects of different rotation modes on soil microorganisms and soil enzyme activities in the rhizosphere of *Platycodon grandiflorum* (JG), and to explore a pollution-free prevention and control method for continuous cropping obstacles of JG from the perspective of soil microecology, the biennial JG was used as the test material, and pot experiment method was used to study the effects of different rotation modes of JG-SS (Beishashen), JG-YM (Yumi), JG-FF (Fangfeng) and JG-NX (Niuxi) on JG growth, soil microorganisms and soil enzyme activities, using JG-JG as the control. The optimal rotation modes were analyzed and selected. It was found that the biomass indicators of modes JG-YM and JG-NX were superior to other modes. The bacterial quantity of modes JG-SS, JG-YM, JG-NX, and JG-FF was higher than that of mode JG-JG. The overall changes in the number of actinomycetes in modes JG-YM and JG-FF were

收稿日期: 2023-10-26 修回日期: 2024-03-01 接受日期: 2024-04-08

作者简介: 刘鹏飞(1999-),男,硕士生,研究方向:中药资源与栽培。E-mail: 11798028419@163.com

* 通讯联系人: 贾鑫(1986-),女,博士,副教授,研究方向:主要从事中蒙药资源与栽培等研究工作。E-mail: jiaxin198761231@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(82360740);高等学校青年科技人才项目(NJYT22019)

引用格式: 刘鹏飞,王晓琴,张美茜,等. 不同轮作模式对桔梗生长、根际土壤微生物及土壤酶活性的影响[J]. 生物资源, 2024, 46(2): 126-133.

Liu P F, Wang X Q, Zhang M X, et al. Effects of different rotation patterns on the growth, rhizosphere soil microorganisms, and soil enzyme activities of *Platycodon grandiflorum* (Jacq.) A. DC. [J]. Biotic Resources, 2024, 46(2): 126-133.

higher than those in mode JG-JG. The growth of fungal numbers of modes JG-YM and JG-NX was the slowest compared to that in mode JG-JG. The activities of urease, sucrase, and cellulase in mode JG-NX were higher than those of the other four modes. This study measured the biomass, soil microbial count, and soil enzyme activity of JG under different rotation modes, indicating that rotation planting of JG with *Achyranthes bidentata*(NX) or *zea mays*(YM) can improve the planting soil environment, alleviate the continuous cropping obstacles of JG, and lay the foundation for standardized planting of JG.

Key words: *Platycodon grandiflorum*; rotation; biomass; soil microbial quantity; soil enzyme activity

0 引言

桔梗〔*Platycodon grandiflorum*(Jacq.) A. DC〕又名和尚帽、土人参、铃铛花、灯笼花,是中国应用广泛的多年生草本植物,隶属桔梗科(Campanulaceae)桔梗属(*Platycodon* A. DC.)^[1]。桔梗主产于中国华东、华北、东北、西南等地,常散生于海拔不高的林缘或山坡草地^[2],是中国传统大宗中药材之一,也是内蒙古的道地药材。药食皆用,具有宣肺、利咽祛痰、排脓功效^[3]。近年来,由于野生资源的匮乏及市场需求量的增大,人工栽培成为其主要种植方式。为了增加桔梗的产出,桔梗种植中常采用连作,即指在同一块地里连续种植同种(或同科)药用植物^[4]。然而桔梗是典型的忌连作植物,目前通过多年种植发现桔梗出现了连作障碍,即在正常的管理措施下,在同一块地连续多年种植桔梗而造成产量降低、品质变劣、生长状况变差、病虫害加剧的现象^[5]。有研究表明,连作过程中,土壤中的有害微生物会大量繁殖,而有益微生物则会逐渐减少,从而导致土壤中的微生物群落失去平衡^[6]。

连作障碍与土壤微生物种类和数量密切相关,是土壤微生态失调、养分失衡的必然结果,调控土壤微生态环境和土壤养分是控制连作障碍的关键所在^[7]。缓解连作障碍的方式有很多,如轮作和间套作。其中轮作是一种有利于土壤健康的可持续方法,轮替种植不同植物能够均衡地利用营养元素,有效地缓减连作障碍。将深根系和浅根系作物,或者在营养需求不同的作物之间采用轮作种植模式,就可以持续性利用土壤养分,实现作物的高产,改善作物的品质^[8]。合理轮作消减连作障碍的现象已在农作物、蔬菜等体系研究中得到证实,但在药用植物的研究中才刚刚起步。

本研究结合生产实践,通过对全国桔梗道地产区赤峰市喀喇沁旗牛家营子镇及周边桔梗种植地的实际调研,当地主要将桔梗与防风、北沙参、牛膝及主要农作物玉米进行倒茬轮作,但对于这几种作物的倒茬轮作机制及哪种轮作方式更好并不明确。因此,本研究采用桔梗与防风、北沙参、牛

膝、玉米轮作的种植模式,研究不同轮作模式对土壤微生物数量、土壤酶活性的动态调控效应,并研究不同轮作种植模式对桔梗生长的影响。通过本项目的实施,探索出从土壤的微生态角度,消减桔梗连作障碍的一种绿色无公害的种植方法,带动当地农户及种植基地改变种植模式,提高经济效益,达到增产高效的目的,以期桔梗产业发展中解决桔梗连作障碍的“瓶颈”问题提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为二年生桔梗盆栽实生苗,试验所用栽培土壤为内蒙古赤峰市喀喇沁旗牛家营子镇农户田不同茬口轮作的土壤,土壤前茬种植分别为桔梗、牛膝、防风、北沙参和玉米。

1.2 试验设计

盆栽试验在内蒙古呼和浩特市内蒙古医科大学温室中进行,地理位置为40°44' N, 111°25' E,海拔约1 100 m。盆栽实验设5个处理,即桔梗-桔梗(JG-JG)、桔梗-牛膝(JG-NX)、桔梗-防风(JG-FF)、桔梗-沙参(JG-SS)和桔梗-玉米(JG-YM)。每个处理15盆,每盆移栽5株一年生桔梗幼苗。期间进行统一管理。盆栽实验开始后,分别于幼苗生长期(7月上旬)、生长旺盛期(8月上旬)及采收期(9月下旬)取样,每个处理取5盆,取桔梗苗及相应根际土壤。根际土壤采用剥落分离法取样,将完整带土植株取出,轻轻抖落不含根系的大块土(即非根际土),然后用力将紧紧贴附根系表面的土(根际土)全部抖落下来,迅速装于无菌袋中。采集后的土壤样品过60目筛。桔梗苗用于生物量的测定,根际土壤充分混合后,一部分样品冷藏保存用于测定土壤微生物,一部分自然风干,常温保存用于测定土壤酶活性。

1.3 指标测定

生物量采用烘干法测定。土壤微生物数量采用平板培养计数法,细菌、真菌、放线菌分别采用牛肉膏蛋白胨(牛肉膏、蛋白胨、NaCl、琼脂)、马丁氏(葡

葡萄糖、蛋白胨、KH₂PO₄、MgSO₄·7H₂O、孟加拉红、链霉素)和改良高氏(可溶性淀粉、氯化钠、硫酸亚铁、硝酸钾、磷酸二氢钾、硫酸镁、琼脂)培养基。土壤脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法;土壤蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法;土壤纤维素酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法。

1.4 数据分析

采用Excel 2019软件进行数据整理及做图,利用SPSS 22.0软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同轮作模式对桔梗不同生长期生物量的影响

如表1所示,对不同轮作模式下的桔梗进行了三次取样,测定其根干重、根鲜重、叶鲜重、叶干重、苗高和根长指标。在第一次取样中发现,JG-FF的各项生物量指标较低,JG-YM,JG-NX的生物量指标较高,其中JG-YM的叶鲜重、叶干重、苗高和根长均为所有处理中最高,且JG-NX的桔梗根鲜重和根干重为五种处理最高。在第二次取样中发现,JG-

YM的叶鲜重、叶干重、苗高和根长指标为五种处理最高,对照组JG-JG与其相比,叶鲜重、叶干重、苗高和根长分别下降了11.91%、34.47%、10.86%、34.11%。在第三次取样中发现,JG-YM除根鲜重和根干重外,其余指标均为五种处理最高,而JG-NX次之,对照组JG-JG的根鲜重、根干重、叶干重和根长均为五种处理最低,连作障碍明显。整体而言,JG-YM,JG-NX的生物量指标反映较好,与对照组JG-JG连作相比,桔梗与牛膝或玉米轮作种植会缓解桔梗连作障碍的发生,促进桔梗的生长,提高生物量。

2.2 不同轮作种植模式对桔梗根际土壤微生物数量的影响

由表2可知,不同轮作模式下真菌数量不同,随着生长时间的延长,三次取样中真菌数量依次递增,第三次取样的真菌数量与第一次取样的真菌数量相比,JG-SS、JG-YM、JG-JG、JG-FF和JG-NX分别增加了16.32%、3.92%、2.29%、13.63%和3.28%,其中JG-YM和JG-NX真菌数量与对照组JG-JG相比增长最为缓慢。

表1 不同轮作模式对桔梗不同生长期生物量的影响

Table 1 Effects of different rotation patterns on the biomass of *P. grandiflorum* at different growth stages

取样时期	处理	生长指标					
		苗高/cm	根长/cm	叶鲜重/g	根鲜重/g	叶干重/g	根干重/g
第一次取样	JG-SS	43.85±6.59 ^{h#}	7.34±2.12 ^c	4.87±1.95 ^b	4.81±0.99 ^b	1.12±0.46 ^b	2.76±0.52 ^b
	JG-YM	52.33±8.34 ^{##}	13.65±4.25 ^{a#}	5.43±0.56 ^a	6.43±2.74 ^a	1.45±0.52 ^a	2.76±0.57 ^a
	JG-JG	34.15±3.35 ^c	9.32±3.24 ^{b*}	4.76±2.11 ^b	5.32±3.31 ^{b*}	1.17±0.57 ^b	1.53±0.34 ^c
	JG-NX	50.83±7.64 ^{##}	12.76±3.25 ^{##}	5.42±2.37 ^a	6.85±2.74 ^a	1.30±0.60 ^b	2.87±0.70 ^a
	JG-FF	48.35±8.56 ^{##}	10.34±2.45 ^b	4.45±1.67 ^b	3.81±2.10 ^c	0.96±0.34 ^c	2.56±0.46 ^b
第二次取样	JG-SS	71.85±10.59 ^{##}	11.92±3.62 ^b	6.45±1.09 ^b	5.29±1.21 ^b	2.39±0.85 ^a	3.23±1.55 ^b
	JG-YM	75.33±10.77 ^{##}	18.32±2.78 ^{##}	6.88±1.33 ^a	6.23±0.82 ^a	2.93±0.54 ^a	3.18±1.12 ^b
	JG-JG	67.15±7.76 ^{##*}	12.07±2.98 ^{b*}	6.06±0.92 ^c	6.18±0.56 ^a	1.92±0.32 ^b	2.67±0.33 ^c
	JG-NX	57.85±10.64 ^{##}	13.94±2.78 ^a	6.89±0.82 ^a	5.62±0.26 ^b	1.41±0.08 ^b	4.12±0.09 ^a
	JG-FF	58.35±10.97 ^{##}	16.73±5.54 ^{##}	6.32±1.26 ^b	4.32±0.67 ^c	2.65±0.25 ^a	2.42±0.84 ^c
第三次取样	JG-SS	61.00±6.18 ^{##}	14.22±1.82 ^b	7.24±1.59 ^c	9.32±0.65 ^b	3.31±0.03 ^{ab}	3.56±0.72 ^b
	JG-YM	59.85±3.88 ^{##}	18.10±4.43 ^{##}	12.57±0.67 ^{##}	11.56±1.45 ^{##}	3.91±0.98 ^a	4.17±0.43 ^a
	JG-JG	50.17±5.46 ^{b*}	13.58±1.08 ^{b*}	6.28±0.66 ^d	8.24±0.49 ^{##}	2.04±0.1 ^b	3.32±0.78 ^b
	JG-NX	46.12±8.01 ^{##}	17.28±2.69 ^{##}	10.56±1.01 ^{b#}	12.06±0.23 ^{##}	2.24±0.28 ^b	4.62±0.23 ^a
	JG-FF	58.03±8.54 ^{a#}	17.75±3.05 ^{##}	6.24±0.89 ^d	9.21±0.67 ^b	2.75±0.21 ^b	3.64±0.35 ^b

注:表中的显著性差异分析是基于同列数据比较,以JG-JG连作模式为对照;“*”号表示相同种植模式不同取样时间之间存在显著差异;“#”号表示不同种植模式相同取样时间之间存在显著差异,同列小写字母表示同期处理间在5%水平下差异显著性(P<0.05)

Note: the significance difference analysis in the table is based on the comparison of data in the same column, with JG-JG continuous cropping mode as the control; the "*" symbol indicates significant differences between different sampling times for the same planting mode; the "#" symbol indicates significant differences between different planting modes and the same sampling time, and the lower-case letters in the same column indicate significant differences at the 5% level between the same period treatments (P<0.05)

表2 桔梗在不同轮作模式下根际土壤真菌数量比较

Table 2 Comparison of fungal quantity in rhizosphere soil of *P. grandiflorum* under different rotation patterns

取样时期	JG-SS($\times 10^3$)/ CFU·mL ⁻¹	JG-YM($\times 10^3$)/ CFU·mL ⁻¹	JG-JG($\times 10^3$)/CFU· mL ⁻¹	JG-FF ($\times 10^3$)/ CFU·mL ⁻¹	JG-NX($\times 10^3$)/ CFU·mL ⁻¹
第一次取样	21.00±4.36 ^{cd}	19.00±0.00 ^{de}	52.67±1.53 ^{b*}	64.33±11.85 ^{de}	60.33±5.86 ^{de}
第二次取样	26.67±7.09 ^{de}	144.00±6.24 ^{de}	111.67±16.26 ^{c*}	88.33±5.51 ^{de}	221.33±3.06 ^{de}
第三次取样	363.67±5.51 ^{de}	278.00±16.37 ^{de}	173.33±11.85 ^{c*}	316.33±5.86 ^{de}	258.00±5.57 ^{de}

注:表中的显著性差异分析是基于同行数据比较,以JG-JG连作模式为对照;“*”号表示相同种植模式不同取样时间之间存在显著差异;“#”号表示不同种植模式相同取样时间之间存在显著差异,同行小写字母表示同期处理间在5%水平下差异显著性($P < 0.05$)

Note: the significance difference analysis in the table is based on peer data comparison, using the JG-JG continuous cropping mode as a control; the “*” symbol indicates significant differences between different sampling times for the same planting mode; the “#” symbol indicates significant differences between different planting modes with the same sampling time, and the lowercase letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$) at the 5% level between the same period treatments

不同轮作模式下桔梗根际土壤放线菌数量见表3。JG-YM和JG-FF第二次取样的放线菌数量比第一次取样的放线菌数量分别增加了44.79%、0.11%,第三次取样的放线菌数量比第二次取样的放线菌数量分别减少了29.52%、0.11%,呈现先增后减的趋势;而JG-JG第二次取样的放线菌数量比第一次取样的放线菌数量增加了0.06%,第三次取样的放线菌数量比第二次取样的放线菌数量分别减少7.81%。可以看出JG-YM和JG-FF整体放线菌数量变化高于对照组JG-JG。第二次取样时,JG-YM放线菌数量最多,与对照组JG-JG相比增加了49.25%。JG-SS和JG-NX的放线菌数量呈现小幅度先减后增趋势,但整体变化并不明显。

由表4可知,JG-NX根际土壤细菌数量的三次取样均呈现递减趋势,JG-SS、JG-YM、JG-JG、JG-FF细菌数量呈现先增后减趋势,其中对照组JG-JG第一次取样的细菌数量是五种处理中最低,JG-SS第二次取样和第三次取样的细菌数量是五种处理中

最高。

2.3 不同轮作种植模式对桔梗根际土壤酶活性的影响

由图1可知,JG-JG处理三次取样中的脲酶活性为五种处理中最低,JG-NX三次取样中的脲酶活性均比其他四种处理高,其中第二次取样时JG-NX的脲酶活性为0.733 mg/g,远远高于其他四种处理。总体来看,五种处理轮作模式的脲酶活性由高到低排序为JG-NX>JG-FF>JG-YM>JG-SS>JG-JG。

由图2可知,与JG-JG相比,JG-YM三次取样中的蔗糖酶活性均比对照组JG-JG高,且呈递增趋势。JG-NX(2.064mg/g)第二次取样的蔗糖酶活性高于其他四种处理,与对照组JG-JG相比增加了12.20%。总体来看,五种处理轮作模式的蔗糖酶活性由高到低排序为JG-YM>JG-NX>JG-JG>JG-FF>JG-SS。

由图3可知,JG-NX三次取样中的纤维素酶活性为五种处理中最高,与对照组JG-JG相比分别增

表3 桔梗在不同轮作模式下根际土壤放线菌数量比较

Table 3 Comparison of actinomycetes quantity in rhizosphere soil of *P. grandiflorum* under different rotation patterns

取样时期	JG-SS($\times 10^3$)/CFU· mL ⁻¹	JG-YM($\times 10^3$)/ CFU·mL ⁻¹	JG-JG($\times 10^3$)/CFU· mL ⁻¹	JG-FF ($\times 10^3$)/CFU· mL ⁻¹	JG-NX($\times 10^3$)/ CFU·mL ⁻¹
第一次取样	129.67±14.05 ^{cd}	7.33±0.58 ^{cd}	160.67±3.51 ^{b*}	226.33±12.66 ^{de}	99.00±4.00 ^{de}
第二次取样	27.33±5.03 ^{cd}	335.67±9.50 ^{de}	170.33±10.02 ^{c*}	251.33±15.95 ^{de}	43.00±8.54 ^{de}
第三次取样	44.00±7.00 ^{de}	11.00±4.00 ^{de}	19.33±1.53 ^{c*}	46.00±6.00 ^{de}	56.00±14.73 ^{de}

注:表中的显著性差异分析是基于同行数据比较,以JG-JG连作模式为对照;“*”号表示相同种植模式不同取样时间之间存在显著差异;“#”号表示不同种植模式相同取样时间之间存在显著差异,同行小写字母表示同期处理间在5%水平下差异显著性($P < 0.05$)

Note: the significance difference analysis in the table is based on peer data comparison, using the JG-JG continuous cropping mode as a control; the “*” symbol indicates significant differences between different sampling times for the same planting mode; the “#” symbol indicates significant differences between different planting modes with the same sampling time, and the lowercase letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$) at the 5% level between the same period treatments

表4 桔梗在不同轮作模式下根际土壤细菌数量比较

Table 4 Comparison of bacterial count in rhizosphere soil of *P. grandiflorum* under different rotation patterns

取样时期	JG-SS($\times 10^3$)/CFU·mL ⁻¹	JG-YM($\times 10^3$)/CFU·mL ⁻¹	JG-JG($\times 10^3$)/CFU·mL ⁻¹	JG-FF($\times 10^3$)/CFU·mL ⁻¹	JG-NX($\times 10^3$)/CFU·mL ⁻¹
第一次取样	4.00±1.73 ^{bd}	8.00±1.73 ^{cd}	2.67±0.58 ^{d*}	14.33±2.52 ^{bc#}	22.00±2.00 [#]
第二次取样	184.00±4.58 [#]	40.33±5.86 [#]	19.67±3.51 ^{c*}	49.00±4.36 ^{bc#}	19.67±1.53 ^c
第三次取样	88.00±10.58 [#]	8.33±3.06 ^{cd}	12.67±4.73 ^{b*}	12.67±7.09 ^b	15.33±7.02 ^b

注:表中的显著性差异分析是基于同行数据比较,以JG-JG连作模式为对照;“*”号表示相同种植模式不同取样时间之间存在显著差异;“#”号表示不同种植模式相同取样时间之间存在显著差异,同行小写字母表示同期处理间在5%水平下差异显著性($P < 0.05$)

Note: the significance difference analysis in the table is based on peer data comparison, using the JG-JG continuous cropping mode as a control; the “*” symbol indicates significant differences between different sampling times for the same planting mode; the “#” symbol indicates significant differences between different planting modes with the same sampling time, and the lowercase letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$) at the 5% level between the same period treatments

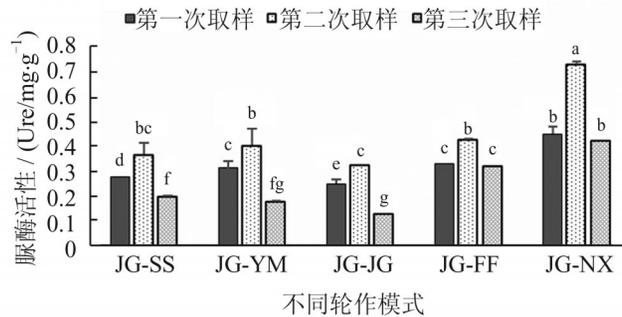


图1 不同轮作模式对土壤脲酶活性的影响

Fig. 1 Effects of different rotation patterns on soil urease activity

注:图中小写字母表示不同处理间在5%水平下差异显著性($P < 0.05$)

Note: the lowercase letters in the figure indicate significant differences ($P < 0.05$) between different treatments at the 5% level

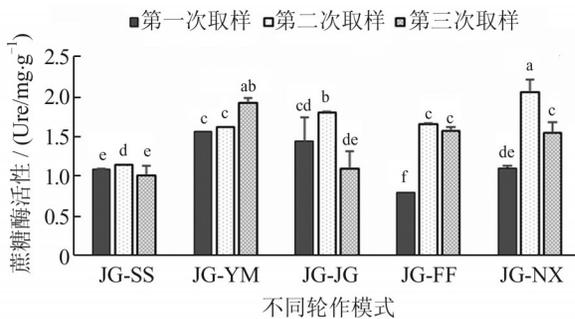


图2 不同轮作模式对土壤蔗糖酶活性的影响

Fig. 2 Effects of different rotation patterns on soil sucrose activity

注:图中小写字母表示不同处理间在5%水平下差异显著性($P < 0.05$)

Note: the lowercase letters in the figure indicate significant differences ($P < 0.05$) between different treatments at the 5% level

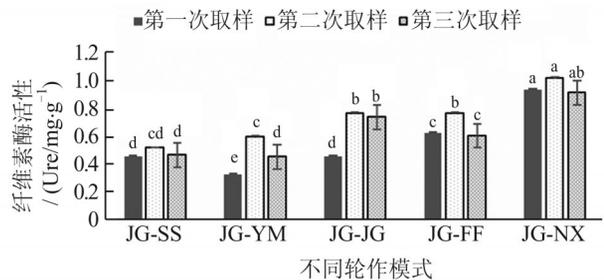


图3 不同轮作模式对土壤纤维素酶活性的影响

Fig. 3 Effects of different rotation patterns on soil cellulase activity

注:图中小写字母表示不同处理间在5%水平下差异显著性($P < 0.05$)

Note: the lowercase letters in the figure indicate significant differences ($P < 0.05$) between different treatments at the 5% level

加了51.13%、24.55%、18.95%。总体来看,五种处理轮作模式的纤维素酶活性由高到低依次为JG-NX>JG-FF>JG-JG>JG-SS>JG-YM。

3 讨论

连作障碍严重制约了中药材产业的健康可持续发展,药用植物连作障碍已成为中药材产业发展中

亟待解决的重要问题。多项研究结果表明,随着连作时间的增加,连作土壤中的有益微生物会减少,有害微生物也会增加,这为土壤传播病害提供了良好条件,根茎类药材会因连作时间增加而产生毒害^[9]。土壤微生态环境失衡导致土壤感染病菌,进而导致栽培的中药材产量降低,连作土壤中的真菌数量增加,根际细菌和放线菌减少^[10]。合理轮作是恢复土壤地力,减轻病虫害危害的重要措施,减轻药用植物在生产中的连作障碍。有研究表明,半夏轮作能有效提高半夏的鲜重^[11],三七与茵香轮作能提高三七的品质^[12],黄芪与燕麦轮作后,黄芪各项生物量指标显著提高^[13]。本研究表明,桔梗与牛膝或玉米轮作后较桔梗-桔梗连作,植株的生长指标(根长、苗高、根干重、根鲜重、叶干重、叶鲜重)显著提高,表明桔梗与牛膝或玉米轮作能够显著提高桔梗生物量,促进其生长发育,与前人的研究结果相吻合。土壤微生物与药用植物的生长息息相关。对地黄连作根际土壤中细菌数量变化进行了研究,发现土壤中细菌和放线菌的数量会随着连作年限的增加而降低,而真菌数量的变化趋势正好相反^[14]。对黄芩种植地土壤微生物数量进行研究,发现不同种植地根际土壤微生物的三大类群组成比例基本一致,均为细菌居于多数,放线菌次之,真菌的数量最少,土壤微生物数量变化趋势总体表现为小麦-黄芩轮作>黄芩连作3年>黄芩连作4年>荒地^[15],轮作显著提高了细菌和放线菌数量,减少了真菌数量。随着种植年限的增加甘草土壤微生物数量明显降低,甘草与棉花、小麦轮作后土壤微生物数量较连作地显著提高,各土壤总微生物数量变化均为细菌>放线菌>真菌^[16],这与本研究结果相似。在第二次取样中,JG-SS、JG-YM、JG-NX、JG-FF细菌数量高于桔梗连作处理。JG-YM和JG-FF整体放线菌数量变化高于桔梗连作处理,其中第二次取样时JG-YM放线菌数量最多。JG-YM和JG-NX真菌数量比桔梗连作处理增长缓慢。

土壤酶是土壤微生态的重要指标之一,能催化土壤中一系列生化反应(分解有机物、促进碳氮磷硫等循环),测定土壤酶活性可以间接表征土壤的质量,也可作为评价土壤健康和肥力的重要指标^[17]。脲酶参与氮循环,催化尿素水解生成CO₂和NH₃,是植物氮素的来源之一,在土壤氮素循环利用中具有重要意义。土壤蔗糖酶可以增加土壤中的易溶性营养物质,其活性与有机质的转化和呼吸强度有密切关系。纤维素是植物残体进入土壤的碳水化合物的重要组成部分之一,也是碳素循环中的一个重要的酶,它

的最初水解产物是纤维二糖,在纤维二糖酶作用下分解成葡萄糖^[18,19]。连作会导致土壤酶活性降低,且随连作年限的增加而降低^[20]。研究表明,广藿香-水稻-广藿香轮作的土壤脲酶、蔗糖酶、纤维素酶活性均显著高于广藿香连作土壤的指标^[21]。对白术连作地过氧化氢酶和脲酶活性变化趋势的研究发现,连作年限越短过氧化氢酶和脲酶活性越高^[22]。小麦-黄芩轮作地的蔗糖酶活性高于黄芩连作地的蔗糖酶活性,这与对连作花生田根际土壤中蔗糖酶活性的研究结论一致^[23],说明轮作种植方式会在一定程度上提高土壤中蔗糖酶的活性。这与本研究中桔梗与牛膝轮作使其土壤脲酶、蔗糖酶、纤维素酶活性增加的结果吻合。

4 结 论

本研究通过测量桔梗生物量、桔梗根际土壤微生物数量和土壤酶活性可知,桔梗与牛膝或玉米轮作种植可能会减轻连作障碍。因此,建议将牛膝或玉米作为与当地桔梗的主要轮作茬口,以消减桔梗连作障碍,并带动当地农户及种植基地改变种植模式,提高经济效益,达到增产高效的目的。这种合理轮作模式的机制正在进一步探究。

参考文献

- [1] 王馨悦,王伟明,王楠,等. 桔梗功能性及其在食品开发中的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(18): 199-206.
Wang X Y, Wang W M, Wang N, *et al.* Research progress of *Platycodon grandiflorum* functionality and food development [J]. Food Research and Development, 2022, 43(18): 199-206.
- [2] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志第73(2)卷[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 77.
Editorial Committee of Flora of China Flora of China, Volume 73 (2) [M]. Beijing: Science Press, 1983: 77.
- [3] 左军,尹柏坤,胡晓阳. 桔梗化学成分及现代药理学研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2019, 21(1): 113-116.
Zuo J, Yin B K, Hu X Y. Research progress in the chemical constituents and modern pharmacology of *Platycodon* [J]. Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2019, 21(1): 113-116.
- [4] 叶胜兰. 种植年限对桔梗土壤肥力和生物学活性的影响[J]. 农业与技术, 2017, 37(21): 37-41, 149.
Ye S L. Effects of planting years on soil fertility and biological activity of *Platycodon grandiflorum* [J]. Agriculture and Technology, 2017, 37(21): 37-41, 149.

- [5] 胡双, 孙文静, 高林怡, 等. 药用植物连作障碍研究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(16): 38-48.
Hu S, Sun W J, Gao L Y, *et al.* Research progress on obstacles in continuous cropping of medicinal plants [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2021, 49(16): 38-48.
- [6] 林茂兹. 太子参连作障碍及其分子生态学机制研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
Lin M Z. Studies on continuous cropping obstacle of *Pseudostellaria heterophylla* and its molecular ecological mechanism [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010.
- [7] 王鹏, 祝丽香, 陈香香, 等. 桔梗与大葱间作对土壤养分、微生物区系和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(3): 668-675.
Wang P, Zhu L X, Chen X X, *et al.* Effects of *Platycodon grandiflorum* and *Allium fistulosum* intercropping on soil nutrients, microorganism and enzyme activity[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2018, 24(3): 668-675.
- [8] 黄菊英, 崔东, 刘玉珊, 等. 丹参根际微生物和连作障碍的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(3): 8-15.
Huang J Y, Cui D, Liu Y S, *et al.* Research progress on rhizosphere microorganisms and continuous cropping barrier of *Salvia miltiorrhiza* [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2023, 51(3): 8-15.
- [9] 张英英, 魏玉杰, 杨宪忠, 等. 药用植物连作障碍形成机理研究进展[J]. 现代农业科技, 2023(3): 87-91.
Zhang Y Y, Wei Y J, Yang X Z, *et al.* Research progress on formation mechanism of continuous cropping obstacles in medicinal plants [J]. Modern Agricultural Technology, 2023(3): 87-91.
- [10] 王银月, 于鸿雪, 李晓娜, 等. 中药材连作障碍研究进展[J]. 新农业, 2023(5): 27-28.
Wang Y Y, Yu H X, Li X N, *et al.* Research progress on obstacles of continuous cropping of Chinese herbal medicines [J]. New Agriculture, 2023(5): 27-28.
- [11] 何志贵, 应浩, 董娟娥, 等. 小麦与半夏轮作对减轻半夏连作障碍的效应[J]. 西北农业学报, 2019, 28(3): 440-445.
He Z G, Ying H, Dong J E, *et al.* Effects of wheat rotation on obstacle alleviation in continuous cropping of *Pinellia ternata*(Thunb.) Breit [J]. Northwest Agricultural Journal, 2019, 28(3): 440-445.
- [12] 刘海娇, 苏应威, 方岚, 等. 茴香轮作调控土壤细菌群落缓解三七连作障碍的效应及机制[J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(1): 139-149.
Liu H J, Su Y W, Fang L, *et al.* The effect and mechanism of fennel crop rotation on soil bacterial community to alleviate replant failure of *Panax notoginseng* [J]. Chinese Journal of Biological Control, 2021, 37(1): 139-149.
- [13] 李冰圳. 连作及轮作对蒙古黄芪根际微生物多样性及其品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2019.
Li B Z. Effects of continuous cropping and rotation on rhizosphere microorganism diversity and quality of *Astragalus* [D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2019.
- [14] 陈慧, 郝惠荣, 熊君, 等. 地黄连作对根际微生物区系及土壤酶活性的影响[J]. 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 [J]. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao, 2007, 18(12): 2755-2759.
- [15] 彭晓邦, 秦绍龙. 黄芩种植地土壤微生物数量特征及土壤酶活性研究[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(8): 60-64.
Peng X B, Qin S L. Study on soil bio-organism quantitative character in *Scutellaria baicalensis*-planting field and its soil enzyme activity [J]. Shaanxi Agricultural Science, 2020, 66(8): 60-64.
- [16] 祖勒胡玛尔·乌斯满江, 朱军, 李晓瑾, 等. 甘草不同种植模式与土壤微生态关联性的研究[J]. 中国现代中药, 2016, 18(11): 1474-1478.
UsmanjiangZulehumar, Zhu J, Li X J, *et al.* Research on relation between different cropping systems and soil microecology of licorice [J]. Modern Chinese Medicine, 2016, 18(11): 1474-1478.
- [17] 陆琴, 李冬琴. 土壤酶及其生态指示作用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(18): 14-17.
Lu Q, Li D Q. Research progress on soil enzymes and their functioning as ecosystem indicators [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(18): 14-17.
- [18] 颜顾浙, 方伟, 卢络天, 等. 土壤酶活性对不同植物连作的差异响应[J]. 浙江农林大学学报, 2023, 40(3): 520-530.
Yan G Z, Fang W, Lu L T, *et al.* Differential response of soil enzyme activity to continuous cropping of different plants [J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2023, 40(3): 520-530.
- [19] 李春霖. 甘肃民勤荒漠区典型植物群落土壤酶活性和土壤微生物量碳氮特征研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2022.
Li C L. Soil enzyme activities and soil microbial biomass carbon and nitrogen characteristics of typical plant communities in Minqin Desert area, Gansu Province [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiatong University, 2022.
- [20] 耿晓桐. 地黄连作障碍研究进展[J]. 山西化工, 2023,

- 43(2): 34-35, 50.
- Geng X T. Research progress on continuous cropping obstacle of *Rehmannia glutinosa* [J]. Shanxi Chemical Industry, 2023, 43(2): 34-35, 50.
- [21] 余晓环, 李明, 洪彪. 广藿香连作及轮作对其品质及土壤微生态的影响[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(7): 1719-1722.
- She X H, Li M, Hong B. Effects of continuous cropping and rotation of *Pogostemon cablin* on its quality and soil microecology [J]. Shi Zhen, National Medicine and Traditional Chinese Medicine, 2022, 33(7): 1719-1722.
- [22] 陈慧, 杨志玲, 袁志林, 等. 白术连作根际土壤的理化性质及微生物区系变化[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(1): 24-29.
- Chen H, Yang Z L, Yuan Z L, *et al.* Changes of physicochemical property and microflora in rhizosphere soil of continuous cropping of *Atractylodes macrocephala* [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2014, 23(1): 24-29.
- [23] 孙秀山, 封海胜. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用[J]. 作物学报, 2001, 27(5): 617-621.
- Sun X S, Feng H S, Wan S B, *et al.* Changes of main microbial strains and enzymes activities in peanut continuous cropping soil and their interactions[J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(5): 617-621.

□

(编辑: 杨晓翠)