

刘 成. 伴生栽培对黄连连作障碍的缓解效应[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(13): 161–169.

doi: 10. 15889/j. issn. 1002–1302. 2024. 13. 021

# 伴生栽培对黄连连作障碍的缓解效应

刘 成<sup>1,2</sup>

(1. 重庆第二师范学院生物与化学工程学院, 重庆 400067; 2. 三峡库区特色道地中药材重庆市野外科学观测研究站, 重庆 400067)

**摘要:**为缓解黄连连作障碍,明确不同作物伴生对植物、土壤和产量的作用机理,以头茬黄连(CK1)和连作5年黄连(CK2)为对照,研究大豆、玉米、高粱和大蒜4种伴生栽培处理对黄连农艺性状、生理特性、药用成分含量、根际微生物以及产量的影响。结果表明,与CK1相比,连作导致株高、最长须根、植株鲜重、微生物数量及多样性均显著降低,最终导致产量下降52.19%。伴生栽培可有效缓解黄连连作障碍,与CK2相比,D1、D2、D3和D4处理黄连株高分别显著提高11.46%、6.60%、20.81%和28.00%,最长须根显著提高5.87%、11.80%、5.40%和19.89%,绿叶重分别显著提高5.87%、13.29%、7.35%和21.79%,枯叶重显著提高9.88%、16.77%、20.06%和29.34%,地上重显著提高13.87%、18.17%、9.07%和22.00%,地下重显著提高24.44%、30.64%、41.22%和63.80%。对于生理特性,不同作物伴生处理下的叶绿素含量分别显著提高8.62%、10.59%、18.01%和19.35%,可溶性糖含量显著降低18.93%、17.51%、10.30%和24.73%,可溶性蛋白含量显著降低5.6%、5.10%、5.10%和14.29%,游离氨基酸含量则显著降低18.94%、15.66%、17.93%和27.27%。伴生栽培可引起土壤微生物数量发生改变,丰度增加,具体表现为根际微生物总量分别显著提高1.67%、3.45%、7.83%和10.24%。不同作物伴生处理下黄连产量相较CK2分别显著提高13.32%、20.80%、24.98%和59.99%。综上所述大豆、玉米、高粱和大蒜与黄连伴生均可以促进其生长发育,改善微生物结构,提升产量效益,其中以大蒜伴生效果最好。

**关键词:**黄连;伴生栽培;连作障碍;产量

**中图分类号:**S567.5<sup>+</sup>20.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2024)13–0161–08

黄连(*Coptidis Rhizoma*)作为一种广泛使用的中药材,源自于毛茛科植物黄连及其同属植物的干燥根茎<sup>[1]</sup>。为苦寒性质,具有清热、干湿、清火、解毒等作用<sup>[2]</sup>。黄连资源丰富,具有广阔的开发利用前景,重庆石柱县则作为我国黄连重要种植栽培区,其产量占我国黄连产量的60%、世界产量的40%<sup>[3]</sup>。为追求经济效益,连作已成为集约化、大规模农业和园艺生产中最常见的种植模式,但黄连是典型的忌连作药用植物,此模式易造成其生长发育受限、产量骤然减少,严重制约生产与发展<sup>[4]</sup>。在目前土地复种指数高、黄连连作严重的现实条件下,解决黄连连作障碍问题是保障黄连产业健康发

展的必需途径。

作物连作障碍是农业生产中一个突出问题,特别是在药用植物方面。连作障碍归因于多种原因,包括土壤理化特性恶化、土壤酶活性降低、自毒化学物质积累以及土壤微生物群落失衡等<sup>[5]</sup>。伴生栽培作为我国优秀的传统栽培农艺措施,通过合理地利用时间、空间和作物间的相互影响,不仅有助于改良土壤理化性状,而且可有效提高土壤肥力和土壤微生物多样性,从而有益于维护土壤健康<sup>[6]</sup>。Gao等以辣椒作为研究对象,发现与单一栽培系统相比,与其他作物伴生种植可显著提高土壤脲酶和蔗糖酶的活性,降低过氧化氢酶活性,同时,伴生植物可以为微生物提供营养,削弱微生物之间的竞争<sup>[7]</sup>。伴生种植涉及同时近距离种植不同类型的植物,这不仅有助于病虫害防治和授粉,还可以优化养分供应并最大限度地利用空间<sup>[8]</sup>。Li等的研究表明,当小麦与白羽扇豆伴生时,白羽扇豆根分泌的柠檬酸能激活土壤中的磷,从而进一步促进小麦对磷的吸收<sup>[9]</sup>。同样,葱与黄瓜的伴生也能提高黄瓜植株对钾的吸收<sup>[10]</sup>。付彦祥等研究发现,洋

收稿日期:2024–05–22

基金项目:重庆市教育委员会科学技术研究项目(编号:KJQN202101626、KJQN202201606);重庆市技术创新与应用发展专项(编号:CSTB2023TIAD–LDX0012);重庆第二师范学院高层次人才科研启动项目(编号:2023BSRC014);重庆第二师范学院校级科研项目(编号:KY202301A)。

作者简介:刘 成(1982—),男,重庆人,博士,主要从事中药材栽培与生理生态研究。E-mail:liucheng@cque.edu.cn。

葱与番茄伴生种植对番茄根际土壤微生物群落产生了显著影响,具体表现为有益细菌的相对丰度明显提升,而致病真菌属的相对丰度则大幅下降<sup>[11]</sup>。通过选择不同伴生作物,探究其对黄瓜生产的影响,发现与小麦伴生能够提高黄瓜产量<sup>[12]</sup>。此外,伴生种植促进了植物之间的有利相互作用,提高了单位面积的经济价值,使其成为实现农业可持续发展的重要策略<sup>[13]</sup>。

近年,随着中药材品质要求的不断提高,如何采用无公害方法有效预防或缓解黄连连作障碍,以实现其安全、高效且优质的生产,已成为当前研究的重点问题之一。伴生种植作为解决连作障碍的有效途径,不仅是现代农业中最常见的种植方式之一,也是一种重要的生物防治措施。目前,关于不同伴生植物对中药材连作障碍的缓解作用及其对微生物群落结构的影响机制,尚未有清晰的研究结论。为此,本研究以黄连为试验材料,研究并分析大豆、玉米、高粱和大蒜伴生栽培对连作 5 年黄连形态、生理特性、药用成分含量、根际微生物以及产量等影响,从而对筛选出黄连最适宜的伴生植物具有重要意义,并为今后建立有效缓解黄连连作障碍提供参考和数据支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地与试验材料

2017 年 3 月开始进行试验,试验地位于重庆市石柱县黄水镇黄连种植园区(108°26'E,30°12'N),海拔 1 570 m,属于中亚热带季风气候,最高月(7 月)平均气温为 20.1 ℃,最低月(1 月)平均气温为 0.4 ℃,年平均气温为 10.4 ℃,年平均降水量为 1 372.6 mm,年平均日照数为 1 200 h。供试黄连品种为黄连 1 号,由重庆市旺隆科技有限公司提供;供试 4 种伴生作物分别为大豆(重豆 17)、玉米(渝单 32 号)、高粱(晋渝糯 3 号)和大蒜(白皮蒜 3 号),均由重庆市农业科学院提供。连作 5 年黄连供试土壤养分含量为:有机质 59.67 g/kg、速效钾 55.74 mg/kg、碱解氮 71.29 mg/kg、速效磷 30.35 mg/kg,土壤 pH 值为 6.15;非黄连连作土壤的养分含量为:有机质 57.13 g/kg、速效钾 56.97 mg/kg、碱解氮 72.19 mg/kg、速效磷 31.69mg/kg,土壤 pH 值为 7.01。

### 1.2 试验设计

本试验采用随机完全区组设计,包含 6 个处理

组:CK1(头茬黄连对照组)、CK2(连作 5 年的黄连对照组)、D1(连作 5 年黄连与大豆伴生栽培)、D2(连作 5 年黄连与玉米伴生栽培)、D3(连作 5 年黄连与高粱伴生栽培)、D4(连作 5 年黄连与大蒜伴生栽培),每组处理都进行 3 次重复试验。试验区面积为 50 m<sup>2</sup>,采用平畦栽培方式,选取长势一致的黄连幼苗进行定植,株行距为 10 cm × 15 cm。当黄连幼苗定植 1 周后,距离黄连幼苗植株 20 cm 处分别点播大豆、玉米、高粱及大蒜进行伴生处理。直至伴生植物株高达到 40 cm 左右时,人工留茬处理至大约 20 cm,确保留茬的生长点能持续生长。在试验过程中,禁止使用杀菌剂,同时由专人负责所有试验组的水肥管理,确保条件一致。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 黄连农艺性状的测定 各处理随机选取 5 株黄连,用自来水轻轻冲洗 3~5 次,除去附着在根上的泥沙、杂质等,待其晾干后,用卷尺测定其株高和最长须根长,用百分之一天平对绿叶重、枯叶重、植株地上鲜重和植株地下鲜重进行称重并记录。

1.3.2 黄连生理指标的测定 叶绿素含量采用手持 SPAD 叶绿素仪进行测定;可溶性蛋白(SP)含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定;可溶性糖(SS)含量采用蒽酮法测定;游离态氨基酸含量采用茚三酮溶液显色法测定,以上操作均参照高俊凤的测定方法<sup>[14]</sup>。

1.3.3 土壤微生物 于黄连发病盛期,通过五点取样法对根际土壤进行采集,并放入 -80 ℃超低温冰箱保存,用于后续土壤微生物量、土壤微生物多样性及群落结构分析。

1.3.3.1 土壤微生物数量测定 土壤微生物的数量采用稀释平板法测定,细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基培养,真菌采用马丁-孟加拉红培养基培养,放线菌采用高氏 1 号琼脂培养基培养<sup>[15]</sup>。

1.3.3.2 土壤微生物多样性 基于 Illumina Novaseq 测序平台,利用双末端测序(Paired-End)的方法,构建小片段文库进行高通量测序。通过对 Reads 拼接过滤、聚类或去噪,进行物种注释及丰度分析,以便挖掘样品间的差异。

1.3.4 发病率及死亡率测定 统计试验期间黄连的发病及死亡株数并计算发病率和死亡率:

$$\text{发病率} = \text{发病株数} / \text{定植株数} \times 100\%;$$

$$\text{死亡率} = \text{死亡株数} / \text{定植株数} \times 100\%。$$

1.3.5 黄连药用成分的测定 采用高效液相色谱

法<sup>[16]</sup>进行测定。分别精密吸取对照品溶液与供试品溶液各 10  $\mu\text{L}$ , 注入液相色谱仪进行测定, 同时记录峰面积, 从而计算出黄连中小檗碱、黄连碱、表小檗碱、盐酸药根碱、木兰花碱和盐酸巴马汀等有效成分含量。

1.3.6 产量 试验结束后, 于收获时测定各处理的黄连产量, 并进行换算。

#### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 进行论文的数据整理与作图, 采用 SPSS 25.0 进行数据单因素方差分析 (ANOVA)、Duncan's 多重比较。

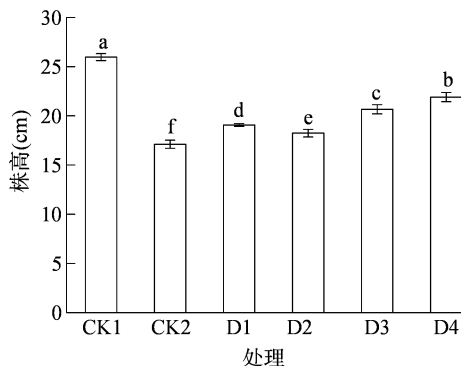
## 2 结果与分析

### 2.1 不同作物伴生对连作黄连农艺性状的影响

2.1.1 不同作物伴生对连作黄连株高和最长须根的影响 由图 1 可见, 连作显著降低黄连株高和最长须根的长度, 而伴生栽培则可不同程度地缓解连作对其影响。与头茬黄连 (CK1) 相比, 连作 5 年的黄连 (CK2) 株高降低 34.12%、最长须根降低

26.89%, 伴生栽培可显著提高连作黄连株高和最长须根的长度。其中, D1、D2、D3 和 D4 处理黄连株高分别较 CK2 显著提高 11.46%、6.60%、20.81%、28.00%, 最长须根的长度较 CK2 显著提高 5.87%、11.80%、5.40%、19.89%。说明伴生栽培可显著改善黄连植株的生长状态, 其中, 以大蒜伴生栽培缓解黄连连作障碍效果最佳。

2.1.2 不同作物伴生对连作黄连叶片的影响 由图 2 可见, 连作显著降低黄连叶重, 而伴生栽培则可不同程度地缓解连作对其影响。与头茬黄连 (CK1) 相比, 连作 5 年的黄连 (CK2) 绿叶重降低 30.97%、枯叶重降低 40.14%, 伴生栽培可显著提高连作黄连叶片的绿叶重和枯叶重。其中, D1、D2、D3 和 D4 处理黄连绿叶重分别较 CK2 显著提高 5.87%、13.29%、7.35%、21.79%, 枯叶重 CK2 显著提高 9.88%、16.77%、20.06%、29.34%。说明伴生栽培可显著改善黄连叶片质量, 其中, 以大蒜伴生栽培效果最佳。



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下图同  
图 1 不同作物伴生对连作黄连株高和最长须根的影响

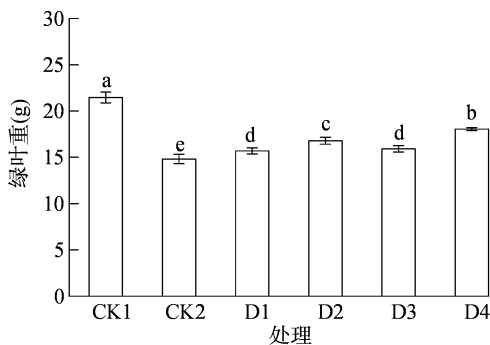


图 2 不同作物伴生对连作黄连叶片的影响

### 2.1.3 不同作物伴生对连作黄连植株鲜重的影响

由图 3 可见, 连作显著降低黄连植株鲜重, 而伴生栽培则可不同程度地缓解连作对其影响。与头茬

黄连 (CK1) 相比, 连作 5 年的黄连 (CK2) 植株地上鲜重降低 30.18%、地下鲜重降低 50.23%, 伴生栽培可显著提高连作黄连植株的地上鲜重和地下鲜

重。其中,D1、D2、D3 和 D4 处理黄连植株地上鲜重分别较 CK2 显著提高 13.87%、18.17%、9.07%、22.00%，地下鲜重较 CK2 显著提高 24.44%、

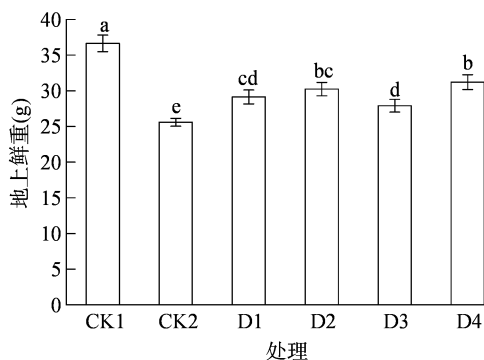
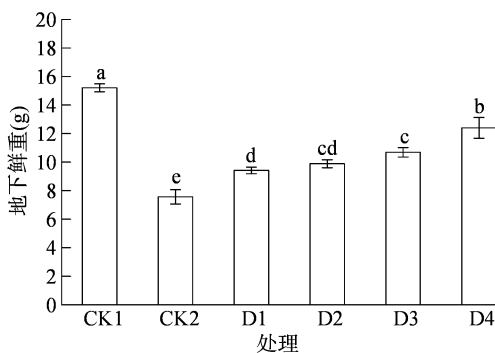


图3 不同作物伴生对连作黄连植株鲜重的影响

30.64%、41.22%、63.80%。说明伴生栽培可显著改善黄连植株鲜重,其中,以大蒜伴生栽培缓解黄连连作障碍效果最佳。



## 2.2 不同作物伴生对连作黄连死亡率的影响

由表 1 可见,不同生长时期各伴生栽培处理黄连的死亡率均高于头茬黄连(CK1),但低于连作 5 年的黄连(CK2)。在种植后 100 d,各处理中玉米(D2)伴生的死亡率最低;在种植后 200、300 d,各处

理中大蒜(D2)伴生的死亡率最低;在连作黄连生长时期各伴生处理的黄连苗死亡率均低于连作 5 年的黄连(CK2),表明各处理均能在一定程度上降低连作黄连的死亡率,其中大蒜(D2)伴生效果最好。

表 1 不同作物伴生对连作黄连死亡率的影响

种植后时间 (d)	死亡率(%)					
	CK1	CK2	D1	D2	D3	D4
100	2.36 ± 0.17c	6.61 ± 0.24c	6.25 ± 0.13c	5.95 ± 0.07c	6.76 ± 0.33c	6.03 ± 0.19c
200	6.67 ± 1.18b	24.93 ± 1.88b	22.67 ± 1.12b	23.40 ± 2.04b	22.68 ± 1.73b	19.25 ± 1.00b
300	11.21 ± 1.01a	35.45 ± 1.67a	32.16 ± 1.89a	31.61 ± 1.73a	30.11 ± 1.15a	28.97 ± 1.13a

注:同列不同小写字母表示差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。下表同。

## 2.3 不同作物伴生对连作黄连主要生理指标的影响

由表 2 可见,与头茬黄连(CK1)相比,连作 5 年的黄连(CK2)植株叶片主要生理指标叶绿素含量降低 27.12%、可溶性糖含量提高 59.74%,可溶性蛋白含量提高 38.03%,游离氨基酸含量提高 69.96%。伴生栽培可显著提高连作黄连叶绿素含量、降低可溶性糖含量、降低可溶性蛋白含量、降低游离氨基酸含量,其中,D1、D2、D3 和 D4 处理黄连植株叶绿素含量分别较 CK2 显著提高 8.62%、10.59%、18.01%、19.35%,可溶性糖含量较 CK2 显著降低 18.93%、17.51%、10.30%、24.73%,可溶性蛋白含量较 CK2 显著降低 5.6%、5.10%、5.10%、14.29%,游离氨基酸含量较 CK2 显著降低 18.94%、15.66%、17.93%、27.27%。说明伴生栽培可显著改善黄连叶片主要生理指标,其中,以大蒜伴生栽培缓解黄连连作障碍效果最佳。

## 2.4 不同作物伴生对连作黄连根际微生物的影响

### 2.4.1 不同作物伴生对连作黄连根际微生物数量的影响

由表 3 可见,连作显著降低黄连根际土壤细菌和放线菌含量,显著提高真菌含量,最终使微生物总量显著降低,而伴生栽培则可不同程度地缓解连作对其影响。连作显著降低黄连根际微生物数量,而伴生栽培则可不同程度地缓解连作对其影响。与头茬黄连(CK1)相比,连作 5 年的黄连(CK2)根际微生物总量降低 18.46%、细菌数量降低 36.88%、真菌数量提高 49.05%、放线菌数量降低 45.54%、细菌/真菌降低 67.56%、放线菌/真菌降低 72.27%。伴生栽培可显著提高连作黄连根际微生物总量、提高细菌数量、降低真菌数量、提高放线菌数量、提高细菌/真菌、提高放线菌/真菌比值,细菌/真菌和放线菌/真菌显著降低,土壤由细菌型向真菌型转化。其中,D1、D2、D3 和 D4 处理黄连根际微生物总量分别较 CK2 显著提高 1.67%、3.45%、

表 2 不同作物伴生对连作黄连主要生理指标的影响

处理	可溶性蛋白含量 (mg/g)	游离态氨基酸含量 (mg/g)	叶绿素含量 (SPAD 值)	可溶性糖含量 (mg/g)
CK1	1.42 ± 0.07c	2.33 ± 0.08d	58.29 ± 1.11a	5.29 ± 0.20e
CK2	1.96 ± 0.08a	3.96 ± 0.06a	42.48 ± 0.77d	8.45 ± 0.24a
D1	1.85 ± 0.07a	3.21 ± 0.13b	46.14 ± 0.75c	6.85 ± 0.23cd
D2	1.86 ± 0.09a	3.34 ± 0.09b	46.98 ± 0.52c	6.97 ± 0.16c
D3	1.86 ± 0.08a	3.25 ± 0.07b	50.13 ± 0.99b	7.58 ± 0.28b
D4	1.68 ± 0.05b	2.88 ± 0.12c	50.70 ± 0.71b	6.36 ± 0.44d

表 3 不同作物伴生对连作黄连根际微生物数量的影响

处理	微生物总量 (×10 <sup>6</sup> CFU/g)	细菌数量 (×10 <sup>6</sup> CFU/g)	真菌数量 (×10 <sup>6</sup> CFU/g)	放线菌数量 (×10 <sup>6</sup> CFU/g)	细菌数量/ 真菌数量	放线菌数量/ 真菌数量
CK1	19.88	9.60 ± 0.27a	3.21 ± 0.02e	7.07 ± 0.11a	2.99	2.20
CK2	16.21	6.06 ± 0.21d	6.30 ± 0.26a	3.85 ± 0.13f	0.97	0.61
D1	15.94	7.13 ± 0.24c	4.17 ± 0.16d	4.64 ± 0.07d	1.71	1.11
D2	16.77	7.12 ± 0.15c	5.36 ± 0.19b	4.29 ± 0.12e	1.33	0.80
D3	17.48	7.39 ± 0.16bc	4.85 ± 0.10c	5.24 ± 0.12c	1.52	1.08
D4	17.87	7.77 ± 0.26b	4.13 ± 0.10d	5.97 ± 0.07b	1.88	1.45

7.83%、10.24%，细菌数量较 CK2 显著提高 17.66%、17.49%、21.95%、28.22%；真菌数量较 CK2 显著降低 33.81%、14.92%、23.02%、34.44%；放线菌数量较 CK2 显著提高 20.52%、11.43%、36.10%、55.06%；细菌/真菌较 CK2 显著提高 76.29%、37.11%、56.70%、93.81%；放线菌/真菌较 CK2 显著提高 81.97%、31.15%、77.05%、137.70%；说明伴生栽培可显著提高连作黄连根际土壤的细菌和放线菌含量，降低真菌含量，促进连作土壤由真菌型向细菌型转化，其中，以大蒜伴生栽培细菌/真菌和放线菌/真菌比值最高。

2.4.2 不同作物伴生对连作黄连根际微生物(细菌、真菌)α多样性指数的影响 α多样性指数可反映土壤微生物单个样品物种丰富度和物种多样性，相关指数包括 ACE、Chao1、Shannon、Simpson 等。对不同作物伴生条件下连作黄连根际微生物(细菌、真菌)群落多样性变化进行分析，结果(表 4)表明，对于细菌，与头茬黄连(CK1)相比，连作 5 年的黄连(CK2)的 Chao1 指数、ACE 指数以及 Shannon 指数分别减少 26.75%、21.38% 和 29.94%，而 Simpson 指数有所增加，为 42.31%，均达到差异显著水平。不同作物伴生栽培一定程度上能够缓解连作对黄

连根际土壤微生物群落多样性造成的损害。其中，D1、D2、D3 和 D4 处理的 Chao1 指数分别较 CK2 增长 12.93%、7.97%、11.33% 和 19.42%；各处理下 ACE 指数较 CK2 增幅达到 11.52%~16.61%；D4 处理的 Shannon 指数高于其他处理，达到 5.87，相比 CK2 处理增长 25.43%，差异显著；相反，D1、D2、D3 和 D4 处理的 Simpson 指数分别较 CK2 显著减少 14.86%、20.27%、10.81% 和 18.92%，说明伴生栽培能够提高黄连根际土壤细菌丰度及多样性。对于真菌，与头茬黄连(CK1)相比，连作 5 年的黄连(CK2)的 Chao1 指数、ACE 指数以及 Shannon 指数分别减少 44.24%、38.50% 和 35.14%，而 Simpson 指数则增长 78.26%，均达到差异显著水平。不同作物伴生处理(D1、D2、D3、D4) Chao1 指数相较 CK2 分别显著增长 13.52%、14.17%、25.94% 和 36.35%；ACE 指数分别显著增长 27.55%、34.76%、35.04% 和 43.48%；ACE 指数分别显著增长 27.55%、34.76%、35.04% 和 43.48%；Shannon 指数分别显著增长 9.85%、34.48%、23.65% 和 23.65%；而对于 Simpson 指数，各伴生处理均较 CK2 存在不同程度的减少，分别显著减少 19.51%、12.20%、24.39% 和 29.27%。

表 4 不同作物伴生对连作黄连根际微生物(细菌、真菌)α多样性指数的影响

微生物种类	处理	Chao1 指数	ACE 指数	Shannon 指数	Simpson 指数
细菌	CK1	3 159.15 ± 112.73a	3 340.60 ± 77.04a	6.68 ± 0.11a	0.52 ± 0.04d
	CK2	2 314.21 ± 148.59d	2 626.53 ± 104.15c	4.68 ± 0.06d	0.74 ± 0.04a
	D1	2 613.52 ± 73.73bc	2 989.69 ± 27.69b	5.24 ± 0.11c	0.63 ± 0.02bc
	D2	2 498.67 ± 71.47cd	2 929.00 ± 73.03b	5.23 ± 0.11c	0.59 ± 0.02c
	D3	2 576.39 ± 107.33bc	3 062.90 ± 63.46b	5.28 ± 0.18c	0.66 ± 0.03b
	D4	2 763.67 ± 56.79b	3 020.45 ± 91.24b	5.87 ± 0.17b	0.60 ± 0.03bc
真菌	CK1	334.44 ± 11.79a	355.24 ± 12.48a	3.13 ± 0.07a	0.23 ± 0.02e
	CK2	186.50 ± 7.89d	218.49 ± 5.57e	2.03 ± 0.08e	0.41 ± 0.02a
	D1	211.72 ± 11.17c	278.68 ± 10.26d	2.23 ± 0.09d	0.33 ± 0.01bc
	D2	212.93 ± 8.77c	294.44 ± 4.74cd	2.73 ± 0.05b	0.36 ± 0.03b
	D3	234.88 ± 9.81b	295.05 ± 5.88c	2.51 ± 0.09c	0.31 ± 0.02cd
	D4	254.29 ± 13.26b	313.48 ± 5.34b	2.51 ± 0.09c	0.29 ± 0.02d

## 2.5 不同作物伴生对连作黄连药用成分含量的影响

由表 5 可见,伴生栽培则可不同程度缓解连作对黄连药用成分含量的影响。与头茬黄连(CK1)相比,连作 5 年的黄连(CK2)植株小檗碱含量降低 43.61%、黄连碱含量降低 56.25%、表小檗碱含量降低 37.55%、盐酸药根碱含量降低 7.93%、木兰花碱含量降低 43.33%、盐酸巴马汀含量降低 18.68%,伴生栽培可显著提高连作黄连植株药用成分小檗碱含量、黄连碱含量、表小檗碱含量、盐酸药根碱含量、木兰花碱含量,但盐酸巴马汀含量不固定。其中,D1、D2、D3 和 D4 处理黄连植株小檗碱含量分别较 CK2 显著提高 13.86%、35.55%、

26.32%、46.72%,黄连碱含量较 CK2 显著提高 46.03%、75.40%、83.33%、91.27%;表小檗碱含量较 CK2 显著提高 26.30%、3.76%、26.59%、40.17%;盐酸药根碱含量较 CK2 显著提高 1.32%、7.95%、-4.64%、2.65%;木兰花碱含量较 CK2 显著提高 2.94%、10.29%、20.59%、61.76%;但 D1、D2、D3 处理黄连植株盐酸巴马汀含量较 CK2 显著降低 8.78%、4.05%、8.11%,D4 处理黄连植株盐酸巴马汀含量较 CK2 显著提高 13.51%,大蒜伴生栽培小檗碱和黄连碱的含量,仅次于 CK1 处理。这表明大蒜伴生与黄连之间的相互作用可能更为和谐,有助于黄连药用成分的积累。

表 5 不同作物伴生对连作黄连药用成分含量的影响

处理	药用成分含量(%)					
	小檗碱	黄连碱	表小檗碱	盐酸药根碱	木兰花碱	盐酸巴马汀
CK1	1.651 ± 0.062a	0.288 ± 0.010a	0.554 ± 0.040b	0.164 ± 0.005a	0.120 ± 0.009a	0.182 ± 0.010a
CK2	0.931 ± 0.063e	0.126 ± 0.003e	0.346 ± 0.031c	0.151 ± 0.009ab	0.068 ± 0.006c	0.148 ± 0.006b
D1	1.060 ± 0.036d	0.184 ± 0.008d	0.437 ± 0.027b	0.153 ± 0.011ab	0.070 ± 0.005c	0.135 ± 0.006b
D2	1.262 ± 0.044c	0.221 ± 0.008c	0.359 ± 0.043c	0.163 ± 0.006a	0.075 ± 0.004bc	0.142 ± 0.012b
D3	1.176 ± 0.041c	0.231 ± 0.006bc	0.438 ± 0.023b	0.144 ± 0.006b	0.082 ± 0.003b	0.136 ± 0.006b
D4	1.366 ± 0.037b	0.241 ± 0.007b	0.485 ± 0.038b	0.155 ± 0.010ab	0.110 ± 0.008a	0.168 ± 0.004a

## 2.6 不同作物伴生对连作黄连产量及发病率的影响

由图 4 可以看出,连作显著降低黄连产量、提高黄连发病率,而伴生栽培则可不同程度地缓解黄连连作障碍。与头茬黄连(CK1)相比,连作 5 年的黄连(CK2)产量降低 52.19%,发病率提高 62.67 百

分点。伴生栽培可显著提高连作黄连产量、降低黄连发病率。其中,D1、D2、D3 和 D4 处理黄连产量分别较 CK2 显著提高 13.32%、20.80%、24.98%、59.99%,发病率分别较 CK2 显著降低 29.45%、21.47%、36.46%、49.79 百分点。说明伴生栽培可显著缓解黄连的连作障碍,其中,以大蒜伴生栽培缓解

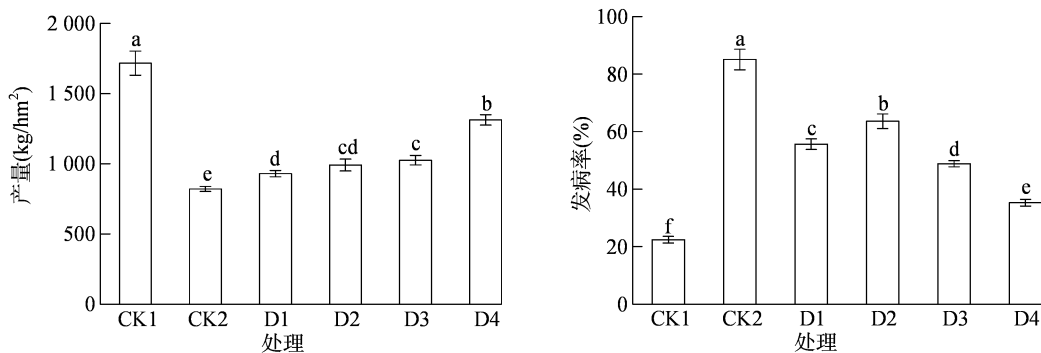


图4 不同作物伴生对连作黄连产量及发病率的影响

黄连连作障碍效果最佳。

### 3 结论与讨论

在同一块土地上连续多年种植同一种作物,会导致作物长势变弱、品质降低,对病害的易感性增加,最终造成产量降低<sup>[17]</sup>。而伴生栽培作为一种特殊的间作模式,则能够有效缓解连作障碍,利用植物间的化感作用来影响作物的生长发育。前人研究发现,相较单独种植,甜罗勒与木豆一同种植能够促进株高增长,同时枝叶更加繁茂<sup>[18]</sup>。本研究得出,连作对黄连生长过程起一定的负面作用,但与其他作物伴生栽培则能显著提高黄连株高、最长须根长度、鲜重等,这与 Xiao 等研究黄瓜与青蒜伴生所得出的结果<sup>[19]</sup>一致,说明伴生栽培模式下作物对养分的吸收、利用能力增强,且作物间能通过有效竞争营养资源来提高养分利用率<sup>[20]</sup>,进而有益植株生长。叶绿素含量是光合作用的物质基础,对植物叶片的光合能力具有一定的指示作用<sup>[21]</sup>。研究表明,玉米和大豆间作可以提高叶绿素含量和光合指数。在本研究中,伴生栽培显著提高了连作黄连叶绿素含量,且与大蒜伴生效果最优,说明合理的种植方式能够增加叶绿素含量,提高叶片的光合速率,使光合物质不断地合成和积累,转化为生长发育的物质和能量<sup>[22]</sup>。可溶性糖和可溶性蛋白作为植物体内重要的渗透调节物质,在保证正常代谢活动中具有重要作用。Tang 等的研究结果表明间作能够提高白菜的可溶性糖含量和萝卜的可溶性蛋白含量<sup>[23]</sup>,但本研究发现,连作 5 年的黄连与头茬黄连相比,其可溶性糖和可溶性蛋白含量均有所提高,而与其他作物伴生栽培反而会降低可溶性糖、可溶性蛋白含量,究其原因可能是由于试验对象亲本差异及伴生作物品种不同才使得结果不尽相同,相关机制还有待进一步研究和验证。

越来越多的研究表明,在长时间连续种植后,土壤微生物种群的干扰会导致连续种植障碍<sup>[24]</sup>。连作障碍常发生在植物的根际内,表现出复杂的植物-土壤-微生物相互作用。本研究发现连作显著降低黄连根际土壤细菌和放线菌含量,显著提高真菌含量,最终使得微生物总量显著降低。这与 Ali 等的研究结果一致,该研究报道连作使土壤微生物群落从细菌型逐渐向真菌型转变,说明根系分泌物释放出影响土壤和微生物的自体毒素,造成土壤养分和酶活性失衡,同时使维持植物健康的特定土壤微生物群落结构发生改变,抑制有益微生物,诱导病原微生物增加<sup>[25]</sup>。本试验通过测定比较黄连单一连作和与其他作物伴生处理下的土壤微生物相关指标发现,伴生栽培明显提高连作黄连根际微生物总量,细菌、放线菌数量均有一定提高,而真菌数量则有所降低,原因可能是由于伴生作物根系所分泌的糖类,既能够充当土壤颗粒间的粘结剂,将其凝聚在一起,形成团聚体<sup>[26]</sup>,又能够为根际土壤微生物提供碳源和能量物质,进而使得土壤微生物数量得到明显提高<sup>[27]</sup>。微生物丰度的提高同时也会对植物生长发育起到良好的改善和调控作用,故而适宜的种植模式下二者之间能够达到互惠互利、共同促进的效果<sup>[28]</sup>。石悦等通过探究高丹草、黄芪间作对高丹草根际土壤微生物多样性的影响,得出高丹草、黄芪间作下根际微生物群落 Chao1 指数和 ACE 指数均显著大于单作模式<sup>[29]</sup>。本研究结果与之一致,本研究中发现连作导致黄连根际土壤微生物(细菌、真菌)的 Chao1 指数、ACE 指数以及 Shannon 指数显著降低,而 Simpson 指数明显增加,伴生栽培则有效使微生物丰度和多样性增加,分析原因可能与黄连根系分泌物的种类和数量有关,根系分泌物是土壤根际微生物的主要碳源,可以改善黄连土壤根际微生态<sup>[30]</sup>。

小檗碱、黄连碱、表小檗碱、盐酸药根碱和木兰花碱等为黄连植株主要的药用成分,被作为评价黄连药材及其制剂质量的主要指标。本研究中得出,伴生栽培显著提高连作黄连植株药用成分,原因可能是土壤和微生物因素对植株产生正向反应,从而影响药用植物的品质<sup>[31]</sup>。另外,从产量结果来看,伴生栽培可以显著提高连作黄连产量,降低黄连发病率和死亡率,这与 Zhang 等的研究结果相似,即间作可以表现出明显的产量优势<sup>[32]</sup>。综上,伴生栽培处理有提升主栽黄连植株抵御生物或非生物环境胁迫的潜力,对黄连克服连作障碍具有一定的理论和实践指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 2020 版. 北京:中国医药科技出版社,2020:324-326.
- [2] Chen F, Huang G, Huang H. Preparation, analysis, antioxidant activities *in vivo* of phosphorylated polysaccharide from *Momordica charantia*[J]. Carbohydrate Polymers,2021,252:117179.
- [3] 杜用玺,蒋靖怡,徐 扬,等. 黄连常见病害研究进展与防治策略[J]. 中国中药杂志,2021,46(5):1067-1072.
- [4] Ye M, Sun M, Huang D, et al. A review of bacteriophage therapy for pathogenic bacteria inactivation in the soil environment [J]. Environment International,2019,129:488-496.
- [5] Wu L, Chen J, Wu H, et al. Effects of consecutive monoculture of *Pseudostellaria heterophylla* on soil fungal community as determined by pyrosequencing[J]. Scientific Reports,2016,6(1):26601.
- [6] Tiroesele B. The effect of companion planting on the abundance of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L., on kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*)[J]. Journal of Plant and Pest Science,2015,2(3):58-65.
- [7] Gao J, Zhang F. Influence of companion planting on microbial compositions and their symbiotic network in pepper continuous cropping soil[J]. Journal of Microbiology and Biotechnology,2023,33(6):760-770.
- [8] Chen L, Li D, Shao Y, et al. Comparative analysis of soil microbiome profiles in the companion planting of white clover and orchard grass using 16S rRNA gene sequencing data [J]. Frontiers in Plant Science,2020,11:538311.
- [9] Li L, Zhang F, Li X, et al. Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2003,65:61-71.
- [10] Xiao X, Cheng Z, Meng H, et al. Intercropping of green garlic (*Allium sativum* L.) induces nutrient concentration changes in the soil and plants in continuously cropped cucumber (*Cucumis sativus* L.) in a plastic tunnel[J]. PLoS One,2013,8(4):e62173.
- [11] 付彦李,李乃荟,刘佳遥,等. 伴生小檗洋葱对番茄根际微生物群落结构的影响[J]. 中国蔬菜,2020(6):49-57.
- [12] Chang C L, Fu X P, Zhou X G, et al. Effects of seven different

- companion plants on cucumber productivity, soil chemical characteristics and *Pseudomonas* community [J]. Journal of Integrative Agriculture,2017,16(10):2206-2214.
- [13] Zhou W, Zhang Y, Wang K, et al. Plant phosphorus uptake in a soybean-citrus intercropping system in the red soil hilly region of South China[J]. Pedosphere,2009,19:244-250.
- [14] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [15] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2010.
- [16] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 2015 版. 北京:中国医药科技出版社,2015:58.
- [17] Alami M M, Pang Q, Gong Z, et al. Continuous cropping changes the composition and diversity of bacterial communities; a meta-analysis in nine different fields with different plant cultivation[J]. Agriculture,2021,11(12):1224.
- [18] Kaur P, Verma K, Singh A K, et al. Co-cultivation of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) with food crops for efficient resource utilization and increasing the farm profits[J]. Industrial Crops and Products,2024,214:118495.
- [19] Xiao X, Cheng Z, Lv J, et al. A green garlic (*Allium sativum* L.) based intercropping system reduces the strain of continuous monocropping in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by adjusting the micro-ecological environment of soil[J]. PeerJ,2019,7:e7267.
- [20] 张晓娜,陈 平,杜 青,等. 玉米/大豆、玉米/花生间作对作物氮素吸收及结瘤固氮的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文),2019,27(8):1183-1194.
- [21] 贾双杰,李红伟,江艳平,等. 干旱胁迫对玉米叶片光合特性和穗发育特征的影响[J]. 生态学报,2020,40(3):854-863.
- [22] Nasar J, Wang G Y, Ahmad S, et al. Nitrogen fertilization coupled with iron foliar application improves the photosynthetic characteristics, photosynthetic nitrogen use efficiency, and the related enzymes of maize crops under different planting patterns[J]. Frontiers in Plant Science,2022,13:988055.
- [23] Tang W, Tang W, Xie Y, et al. Effects of intercropping on Se accumulation and growth of pakchoi, lettuce and radish [J]. International Journal of Phytoremediation, 2023, 25 (9) : 1165 - 1172.
- [24] Sheng Y, Wang H, Wang M, et al. Effects of soil texture on the growth of young apple trees and soil microbial community structure under replanted conditions[J]. Horticultural Plant Journal,2020,6(3):123-131.
- [25] Ali A, Imran Ghani M, Li Y, et al. Hiseq base molecular characterization of soil microbial community, diversity structure, and predictive functional profiling in continuous cucumber planted soil affected by diverse cropping systems in an intensive greenhouse region of northern China [J]. International Journal of Molecular Sciences,2019,20(11):2619.
- [26] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报,1993,38(20):1896-1899.
- [27] Erktan A, Cécillon L, Graf F, et al. Increase in soil aggregate

赵跃锋,连少英,范小玉,等. 外源 2,4-表油菜素内酯对低温胁迫下结球甘蓝幼苗形态建成、光合特性及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2024,52(13):169-174.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.13.022

# 外源 2,4-表油菜素内酯对低温胁迫下结球甘蓝幼苗形态建成、光合特性及生理特性的影响

赵跃锋, 连少英, 范小玉, 任晓雪, 张清华

(商丘市农林科学院,河南商丘 476000)

**摘要:**为明确外源 2,4-表油菜素内酯(2,4-epibrassinolide,简称 EBR)对结球甘蓝幼苗在低温胁迫下的缓解效应,以商甘 6 号品系为试材,采用人工气候箱模拟低温(8℃/-2℃)环境,通过不同浓度(0、0.01、0.05、0.10、0.50、1.00 mg/L)EBR 溶液对甘蓝幼苗进行喷施处理,研究其对低温胁迫下甘蓝幼苗形态建成、光合特性及生理特性的影响。结果表明,EBR 能够显著提高低温胁迫下甘蓝幼苗株高、茎粗、鲜重和干重,其中以 0.10 mg/L EBR 处理效果最佳,与对照处理相比,其株高、茎粗、鲜重和干重分别提高 43.02%、62.59%、48.13%、59.38%。EBR 能够有效减缓低温胁迫下幼苗叶片叶绿素含量、净光合速率、蒸腾速率的降低,减少气孔阻力,降低胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,以促进干物质的积累,且以 0.10 mg/L EBR 处理效果最佳。EBR 能够有效降低低温胁迫下幼苗叶片相对电导率及丙二醛含量,其中 0.10 mg/L EBR 处理较对照处理,其相对电导率值分别降低 16.84%、23.55% 和 22.57%,丙二醛含量分别降低 29.15%、28.68% 和 19.75%,且处理间差异显著。EBR 能够有效提高低温胁迫下幼苗叶片超氧化物歧化酶和过氧化物酶的活性,其中在低温胁迫 48 h 时较对照处理,其活性分别提高 23.55% 和 45.59%。综上所述,EBR 能够有效缓解低温胁迫对甘蓝幼苗形态建成、光合特性和生理特性造成的伤害,增强甘蓝幼苗耐冷性,且以 0.10 mg/L EBR 处理浓度效果最佳。

**关键词:**2,4-表油菜素内酯;低温胁迫;结球甘蓝;形态建成;光合特性;生理特性

**中图分类号:**S635.101;S635.104 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)13-0169-06

结球甘蓝(*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) 别称甘蓝,是十字花科芸苔属甘蓝种的一个变种,在我国周年蔬菜生产中占有重要地位。结球甘蓝在

越冬栽培时如遇低温甚至零下温度,则会严重影响甘蓝植株生长发育,导致甘蓝产量和品质的降低。关于低温胁迫影响植物生长发育的作用机制,不少学者已有报道<sup>[1-4]</sup>。因此,探索如何减缓低温对甘蓝植株的伤害,对于越冬甘蓝高产栽培和周年供应具有重要意义。

植物的抗逆响应是受多种因素影响的较为复杂的生理生化过程。生产上应用 2,4-表油菜素内酯(EBR)提高作物抗逆性是一种简单易行的方式

收稿日期:2023-12-18

基金项目:河南省重点研发专项(编号:221111110100-31)。

作者简介:赵跃锋(1969—),男,河南商丘人,副研究员,从事蔬菜育种及栽培研究。E-mail:zyf9698aaa@163.com。

通信作者:张清华,助理研究员,从事蔬菜育种及栽培研究。E-mail:zqh6738@163.com。

stability along a Mediterranean successional gradient in severely eroded gully bed ecosystems;combined effects of soil,root traits and plant community characteristics[J]. Plant and Soil,2016,398(1):121-137.

[28] 崔爱花,孙亮庆,刘帅,等. 棉花产量和土壤微生物数量及酶活性对棉田间作系统的响应[J]. 江苏农业科学,2022,50(2):53-58.

[29] 石悦,房永雨,刘拴成,等. 高丹草/黄芪间作对高丹草根际土壤微生物多样性的影响[J]. 中国草地学报,2023,45(12):130-137.

[30] Luo L F, Yang L, Yan Z X, et al. Ginsenosides in root exudates of *Panax notoginseng* drive the change of soil microbiota through carbon source different utilization[J]. Plant and Soil, 2020, 455(4):139-153.

[31] Liao J, Xia P. Continuous cropping obstacles of medicinal plants: focus on the plant-soil-microbe interaction system in the rhizosphere[J]. Scientia Horticulturae, 2024, 328:112927.

[32] Zhang Y, Liu J, Zhang J, et al. Row ratios of intercropping maize and soybean can affect agronomic efficiency of the system and subsequent wheat[J]. PLoS One, 2015, 10(6):e0129245.