

大蒜对膜侧栽培当归连作、轮作土壤环境及产量的影响

邱黛玉^{1*}, 沈鹏瑞², 张磊³, 王思嘉¹, 巫蓉¹

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃省中药材规范化生产技术
创新重点实验室, 兰州 730070; 2. 西安利君制药有限公司, 西安 710082;
3. 和田师范专科学校生地学院, 新疆和田 848000)

[摘要] 目的:研究膜侧、露地栽培模式下,连作、轮作茬口当归间作大蒜后其土壤环境变化及当归产量变化规律,探索大蒜挥发物及膜侧栽培对连作当归的影响,为当归大蒜间作模式及膜侧栽培缓解连作当归提供一定的理论依据。方法:试验通过对当归根际土壤微生物数量、土壤酶活性及当归产量的测定分析,讨论大蒜对膜侧栽培当归连、轮作土壤环境及产量的影响。结果:膜侧栽培下间作大蒜处理对当归根际土壤中细菌、放线菌数量显著增加而真菌数量明显少,其中轮作膜侧当归与大蒜间作处理下的细菌、放线菌数量较对照(连作露地单作)平均增加104%,146.89%,真菌数量较对照平均减少39.28%。当归根际土壤酶活性在膜侧栽培间作大蒜因素下显著提高,轮作膜侧当归与大蒜间作处理下的土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶活性较对照分别提高61.60%,51.09%,203.48%,76.19%。当归产量在膜侧栽培间作大蒜因素下显著提高,轮作膜侧当归与大蒜间作处理下的当归产量较对照提高39.37%。结论:在膜侧栽培模式下,当归与大蒜间作种植,能更有效地改变当归土壤微生物数量,提高当归土壤酶活性,改善土壤理化性质,缓解当归连作障碍,保障当归健康优势生长。

[关键词] 膜侧栽培; 间作大蒜; 土壤微生物数量; 土壤酶活性; 当归产量

[中图分类号] R284.2;R289;R22;R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2021)03-0156-07

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20210213

[网络出版地址] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20201207.1642.003.html>

[网络出版日期] 2020-12-9 9:36

Effect of Garlic on Soil Environment and Yield of Continuous Cropping and Rotation of *Angelica sinensis* Under Membrane Cultivation

QIU Dai-yu^{1*}, SHEN Peng-rui², ZHANG Lei³, WANG Si-jia¹, WU Rong¹

(1. Key Laboratory of Crop Science of Arid Habitats in Gansu Province, Key Laboratory of Standardization Production Technology of Traditional Chinese Medicinal Materials in Gansu Province, Agronomy College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Xi'an Lijun Pharmaceutical Co. Ltd., Xi'an 710082, China; 3. College of Natural Place, Hetian Normal College, Hetian 848000, China)

[Abstract] **Objective:** To study the change of soil environment and yield of *Angelica sinensis* when cultivated on the film side and open field sides, and to explore the influence of garlic volatiles and film-side cultivation on continuous cropping *A. sinensis*, so as to provide some certain theoretical basis for the saying that the *A. sinensis* garlic intercropping mode and film-side cultivation could alleviate continuous cropping *A. sinensis*. **Method:** In this study, the effects of garlic on soil environment and yield of *A. sinensis* cultivated on film side and crop rotation were discussed through the determination and analysis of soil microorganism quantity, soil enzyme activity and yield of *Angelica sinensis* in the rhizosphere of *A. sinensis*. **Result:** The number of bacteria and actinomycetes in the rhizosphere soil of *A. sinensis* increased significantly, while the number of fungi decreased significantly. Among them, the number of bacteria and actinomycetes in the intercropping of

[收稿日期] 20200409(008)

[基金项目] 国家自然科学基金项目(31960395,31201176)

[通信作者] *邱黛玉,博士,副教授,从事药用植物栽培与鉴定工作,E-mail:qiudy@gsau.edu.cn

A. sinensis and garlic on the film side increased by 104% and 146.89% on average as compared with that of the control (monoculture under continuous cropping open field), and the number of fungi decreased by 39.28% on average as compared with that of control group. When the enzyme activity in the rhizosphere soil was significantly increased under the condition of intercropping with garlic on the film side, the soil urease, sucrase, alkaline phosphatase and acid phosphatase activities under the intercropping of *A. sinensis* and garlic on the rotation film side were increased by 61.60%, 51.09%, 203.48% and 76.19% respectively as compared with those in control group. The yield of *A. sinensis* significantly increased under the condition of intercropping with garlic on the film-side, and the yield of *Angelica sinensis* under the rotation film-side intercropping with garlic increased by 39.37% as compared with that of control group. **Conclusion:** Under the mode of film-side cultivation, the interplanting of *A. sinensis* with garlic can change the number of soil microorganism, improve the activity of soil enzyme, improve the physical and chemical properties of soil, alleviate the obstacle of continuous cropping and guarantee the healthy growth of *A. sinensis* more effectively.

[Key words] film-side cultivation; intercropping garlic; soil microbial quantity; soil enzyme activity; yield of *Angelica sinensis*

当归是我国的大宗中药材,甘肃省为其道地产区,有1500多年的栽培历史^[1]。长期轮作制约了道地当归的种植面积,近些年在当归主产区逐渐存在连茬现象,而当归忌连作,连作障碍易导致当归病虫害严重,产量品质下降,严重制约了当归产业的健康发展^[2-4]。生产上常采用合理轮作、间/套作等栽培模式,或采用土壤消毒、微生物干扰等措施来缓解作物连作带来的危害^[5-6]。

大蒜散发的强烈异味能驱虫,抗菌,抑制根类作物地下病虫害,是一种良好的间作物^[7-8]。研究表明,不同生长期大蒜能显著促进植物根际土壤中细菌、放线菌的繁殖生长,减少真菌数量,提高土壤多样性指数,间接地提高根际土壤中脲酶、蔗糖酶和磷酸酶的活性,从而提高了大蒜根际土壤中养分及营养元素的利用与循环,改善了根际土壤环境,为间作物提供良好的微生态生长环境^[9-10]。大蒜和当归间作,大蒜向土壤中释放小分子硫化物、大蒜素等物质,有效改善当归根际土壤环境,显著促进当归生长^[11]。大蒜根系分泌物有利于当归的种子萌发和幼苗生长,进而利于当归形成壮苗、增加幼苗抗性^[12]。离体蒜苗产生的挥发物显著缓解由当归根水浸液产生的发芽抑制效应^[13]。已有研究证明,合理有效的利用好大蒜对当归的化感促进作用,能显著提高当归的产量及品质。

覆膜栽培作为当归产业的一种增产技术,具有显著增温、保水、保肥、改善土壤理化性质、促进土壤微生物分解,减轻病虫害的作用,但在甘肃渭源、陇西、临洮等地区,由于光热条件较好、但降水较少,全膜栽培地温过高,不利于当归生长,因此普遍

应用膜侧栽培技术^[14-15]。目前,不同膜侧栽培方式对当归生长发育的影响研究侧重于其保水增产方面,针对当归与大蒜间作覆膜研究土壤微生物数量及酶活性变化、当归产量方面的影响研究较少,为此本试验以当归为研究对象,探究了膜侧条件下,间作大蒜对连、轮作当归根际土壤微生物含量及酶活性、当归产量的影响,进而更高效解决当归道地产区连作问题,寻求缓解当归连作障碍和保证当归优质高产的无公害栽培模式。

1 材料

试验基地位于甘肃渭源会川镇,该试验地海拔为2240 m,太阳辐射591.9 kJ·cm⁻²,日照时数约2476.6 h,无霜期131 d,年平均气温为5.7℃,年平均降雨量580 mm,年蒸发量1531 mm,干燥度2.53,土壤离散系数为24.3%,为当归种植的标准型旱作雨养产区。

新鲜白皮大蒜经甘肃农业大学农学院中草药栽培与鉴定系陈垣教授鉴定为百合科葱属植物大蒜 *Allium sativum* 的鳞茎,购于当地菜市场;当归种苗为伞形科当归岷归1号,经甘肃农业大学农学院中草药栽培与鉴定系陈垣教授鉴定为伞形科植物 *Angelica sinensis*,采购于甘肃渭源县中药材市场。

801型磁力搅拌器(北京九州晟欣科技有限公司),H-2050R型台式高速离心机(湘仪离心机仪器有限公司),岛UV-2450型紫外-分光光度计[岛津企业管理(中国)公司],DK-98-II-S6型电热恒温水浴锅(江苏正基仪器有限公司);离心管(5 mL),容量瓶(50,100 mL),90 mm培养皿(甘肃艾尔维科学仪器有限公司)等。

牛肉膏蛋白胨培养基、改良高氏1号培养基、马丁氏培养基(苏州科铭生物技术有限公司,批号20180720)。甲苯,10%尿素,pH 6.7柠檬酸盐缓冲液,苯酚钠溶液,次氯酸钠溶液,氮标准液(土壤脲酶活性检测试剂盒,苏州科铭生物技术有限公司,批号20180720);基质8%蔗糖,pH 5.5磷酸缓冲液,甲苯,葡糖糖对照液($1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$),3,5-二硝基水杨酸试剂(土壤蔗糖酶活性检测试剂盒,苏州科铭生物技术有限公司,批号20180720);0.5%磷酸苯二钠,pH 5乙酸盐缓冲液,pH 7柠檬酸盐缓冲液,pH 9.4硼酸盐缓冲液,氯代二溴对苯醌亚胺试剂,酚标准液,甲苯,0.3%硫酸铝溶液(土壤磷酸酶活性检测试剂盒,苏州科铭生物技术有限公司,批号20180720)。

2 方法

2.1 试验方案 采用3因素随机区组设计,因素1设露地栽培和膜侧栽培2种模式;因素2设轮作和连作2个茬口,其中轮作茬口前茬作物为马铃薯;因素3设当归单作和当归间作大蒜2个处理,其中当归间作大蒜处理是在不改变当归密度的前提下,每2行当归间作1行大蒜。见表1。试验共8个处理,每个小区重复3次,共24个小区,小区面积 $4\text{ m}\times 5\text{ m}=20\text{ m}^2$ 。于2018年3月25日进行,田间管理同大田,出苗后(5月25日)每隔1个月取样1次,10月26日采收,一共取样6次,测定根际土壤各指标。产量于10月26日采收称质量。

表1 当归试验处理方法

Table 1 Treatments of *Angelica sinensis*

处理	栽培模式	茬口	因素
CP1	露地栽培	连作	单作
CP2	露地栽培	连作	与大蒜间作
RP1	露地栽培	轮作	单作
RP2	露地栽培	轮作	与大蒜间作
CM1	膜侧栽培	连作	单作
CM2	膜侧栽培	连作	与大蒜间作
RM1	膜侧栽培	轮作	单作
RM2	膜侧栽培	轮作	与大蒜间作

2.2 测定指标

2.2.1 当归土壤微生物的测定 测定指标包括细菌、真菌和放线菌数量,其中当归土壤悬液的接种采用稀释平板涂抹接种法,利用稀释分离培养皿菌落计数法测定细菌、真菌和放线菌的活菌数量^[16]。本试验中接种的浓度和培养时间分别为真菌($1\times 10^2\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$)5 d,细菌($1\times 10^6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$)3 d,放线菌

($1\times 10^2\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$)7 d。

2.2.2 当归土壤酶活性的测定 每个小区随机选取当归植株,先去掉表土0~2 cm,轻轻抖掉根系外围土,再用毛刷轻轻刷下附在根系表面的土壤作为试验根际土,根际土过筛,除去土壤中混有的残根,经自然风干后用无菌的封口袋密封,以备土壤微生物和酶活性的测定。测定土壤脲酶活性、蔗糖酶活性、磷酸酶活性均采用对应活性检测试剂盒法。

2.2.3 当归产量测定 以单株平均产量计算小区产量,进而算出当归的亩产量。

2.3 数据分析 采用Excel 2016软件进行作图及SPSS 22.0进行数据分析。

3 结果与分析

3.1 不同处理对当归根际土壤微生物数量的影响

3.1.1 真菌数量变化动态 随着当归生长,根际土壤中真菌数量一直在增加,生长前期各处理间差异均不显著,9月以后真菌数量增长幅度变大,至收获期时各处理间真菌数量差异明显。其中在连作茬口下,当归根际土壤中真菌数量整体表现为对照(CK)>CP2>CM1>CM2,在10月26日CM2处理当归根际土壤中的真菌数量最少,较CK减少了 $64\times 10^2\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$ 。在轮作茬口下,其真菌数量整体表现为RP1>RP2>RM1>RM2。而10月26日RM2处理当归根际土壤中真菌数量只有 $99\times 10^2\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$,较对照减少了 $76\times 10^2\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$ 。整体表现为连作栽培环境下当归根际土壤真菌数量较轮作栽培处理平均增多15.06%,在露地栽培下,当归根际土壤中真菌数量整体表现为CK>RP1>CP2>RP2;在膜侧栽培下,其真菌数量整体表现为CM1>RM1>CM2>RM2;露地栽培下各处理真菌数量较膜侧栽培真菌数量平均增多14.16%。在当归单作条件下,真菌数量整体表现为CK>RP1>CM1>RM1;间作大蒜条件下,真菌数量整体表现为CP2>RP2>CM2>RM2;当归单作真菌数量显著多于间作大蒜处理,平均增多25.46%,见表2。

3.1.2 细菌数量变化动态 从当归根际土壤细菌数量的变化动态来看,随着当归生长土壤细菌数量一直呈递减的趋势。在连作茬口下,当归根际土壤中细菌数量整体表现为CM2>CP2>CM1>CK,其中6月22日CM2处理当归根际土壤中的细菌数量达到最大,较对照增多了 $45\times 10^6\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$ 。在轮作茬口下,其细菌数量整体表现为RM2>RP2>RM1>RP1。在6月22日RM2处理当归根际土壤中细菌数量高达 $117\times 10^6\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$,较对照增多了 $60\times 10^6\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

表2 不同处理方法下当归根际土壤中真菌数量变化动态 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

Table 2 Dynamics of fungus quantity in rhizosphere soil under different treatments ($\bar{x}\pm s$, $n=3$) $\times 10^2$ cfu·g⁻¹

处理	6月22日	7月23日	8月25日	9月26日	10月26日
RM1	8.50±0.27 ^d	27.80±0.78 ^e	32.67±0.17 ^b	42.80±0.45 ^d	137.00±2.32 ^e
RM2	12.00±0.55 ^b	23.80±0.20 ^f	28.80±0.31 ^{de}	37.50±0.40 ^e	99.00±1.50 ^e
RP1	10.30±0.28 ^e	25.20±0.35 ^{de}	28.90±0.35 ^{de}	49.30±0.32 ^e	160.00±3.85 ^b
RP2	9.50±0.50 ^{cd}	23.30±0.48 ^{ef}	27.60±0.25 ^e	37.00±0.25 ^e	154.00±2.90 ^b
CM1	15.50±0.40 ^a	34.80±0.45 ^a	42.00±0.25 ^a	65.80±0.45 ^b	155.00±3.20 ^b
CM2	12.50±0.19 ^b	30.20±0.30 ^b	30.20±0.60 ^e	32.20±0.30 ^f	111.00±2.50 ^d
CK	16.70±0.35 ^a	30.30±0.70 ^b	41.90±0.6 ^a	67.30±0.54 ^a	175.00±3.25 ^a
CP2	10.20±0.26 ^e	26.00±0.50 ^d	29.00±0.45 ^{cd}	37.20±0.48 ^e	159.00±2.38 ^b

注:不同小写字母表示具有显著差异性($P<0.05$)(表3~9同)。

整体表现出轮作处理下当归根际土壤细菌数量较连作栽培平均增多16.81%。在膜侧栽培下,当归根际土壤中细菌数量整体表现为RM2>CM2>RM1>CM1;在露地栽培下,细菌数量整体表现为RP2>RP1>CP2>CK;膜侧栽培各处理细菌数量较露地栽培细菌数量平均增多16.64%。在间作大蒜条件下,当归根际土壤中细菌数量整体表现为RP2>RM2>CM2>CP2,在当归单作条件下,细菌数量整体表现为RP1>RM1>CK>CM1;间作大蒜处理的细菌数量较当归单作平均增多43.21%。见表3。

表3 不同处理方法下当归根际土壤中细菌数量变化动态 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

Table 3 Changes of bacterial quantity in rhizosphere soil under different treatments ($\bar{x}\pm s$, $n=3$) $\times 10^6$ cfu·g⁻¹

处理	6月22日	7月23日	8月25日	9月26日	10月26日
RM1	87.00±1.50 ^d	69.00±0.60 ^d	52.00±0.50 ^e	33.80±0.60 ^b	21.67±0.58 ^{cd}
RM2	117.00±3.00 ^a	95.00±1.20 ^a	83.00±1.00 ^a	39.80±0.70 ^a	23.95±0.55 ^{ab}
RP1	77.00±0.70 ^e	50.00±1.40 ^f	42.20±0.83 ^e	34.30±1.10 ^b	23.08±0.42 ^{bc}
RP2	108.00±1.90 ^b	89.00±1.30 ^b	70.00±1.50 ^b	29.70±1.30 ^c	25.38±0.62 ^a
CM1	70.00±1.20 ^e	59.00±0.80 ^e	48.00±0.30 ^d	30.20±0.80 ^c	20.58±0.52 ^d
CM2	102.00±1.00 ^c	93.00±0.60 ^a	68.00±0.50 ^b	34.00±1.20 ^b	23.03±0.52 ^{bc}
CK	57.00±1.50 ^f	43.00±0.80 ^f	30.00±0.60 ^f	25.10±0.60 ^d	20.63±0.57 ^d
CP2	90.00±1.80 ^d	79.00±0.80 ^e	50.00±0.45 ^{cd}	38.00±0.80 ^a	21.78±0.55 ^{cd}

3.1.3 放线菌数量变化动态 从当归根际土壤放线菌的数量变化动态来看,各处理随着生长期放线菌数量呈递减的趋势,露地栽培下当归单作放线菌数量减少速度最快。其中在连作茬口下,当归根际土壤中放线菌数量整体表现为CM2>CP2>CM1>CK,在6月22日CM2处理当归根际土壤中的放线

菌数量达到最大,较对照增多了 46×10^3 cfu·g⁻¹。在轮作茬口下,其放线菌数量整体表现为RM2>RP2>RM1>RP1。在6月22日RM2处理当归根际土壤中放线菌数量高达 245×10^3 cfu·g⁻¹,较对照增多了 123×10^3 cfu·g⁻¹。整体表现出轮作处理下当归根际土壤放线菌数量显著多于连作栽培,平均增多58.09%。在膜侧栽培下,当归根际土壤中放线菌数量整体表现为RM2>CM2>RM1>CM1;在露地栽培下,放线菌数量整体表现为RP2>CP2>RP1>CK;膜侧栽培各处理放线菌数量较露地栽培放线菌数量平均增多21.51%。在间作大蒜条件下,当归根际土壤中放线菌数量整体表现为RP2>CM2>RM2>CP2,在当归单作条件下,放线菌数量整体表现为RM1>RP1>CM1>CK;间作大蒜处理的放线菌数量较当归单作平均增多21.15%。见表4。

表4 不同处理方法下当归根际土壤中放线菌数量变化动态 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

Table 4 Dynamics of actinomycetes quantity in rhizosphere soil under different treatments ($\bar{x}\pm s$, $n=3$) $\times 10^3$ cfu·g⁻¹

处理	6月22日	7月23日	8月25日	9月26日	10月26日
RM1	245.0±3.8 ^a	153.0±2.3 ^c	95.0±1.3 ^c	31.0±1.2 ^{ab}	33.3±0.3 ^{bc}
RM2	233.0±2.2 ^b	197.0±2.5 ^a	147.0±1.6 ^a	26.1±0.8 ^c	38.2±0.7 ^a
RP1	207.0±2.5 ^c	140.0±1.4 ^d	93.0±1.2 ^c	29.6±1.6 ^{abc}	30.2±0.9 ^{de}
RP2	193.0±2.1 ^d	167.0±1.2 ^b	114.0±1.6 ^b	32.9±1.4 ^a	33.1±0.5 ^{bc}
CM1	158.0±1.5 ^f	91.0±1.4 ^e	37.0±0.5 ^f	29.2±1.3 ^{abc}	29.4±0.9 ^{de}
CM2	168.0±1.2 ^e	135.0±1.6 ^d	88.0±1.0 ^d	33.9±1.3 ^a	35.4±0.9 ^b
CK	122.0±0.8 ^e	55.0±0.8 ^e	31.0±0.7 ^e	27.3±1.6 ^{bc}	28.5±0.5 ^e
CP2	120.0±1.1 ^e	102.0±1.7 ^e	70.0±2.1 ^e	30.2±1.3 ^{abc}	31.3±0.8 ^{cd}

3.2 不同处理对当归根际土壤酶活性的影响

3.2.1 脲酶活性变化动态 当归生长期土壤脲酶活性(24 h后1 g土壤中NH₃-N的mg数)变化呈现先降后增的趋势,土壤脲酶在生长前期6月至7月均有降低的趋势,收获期土壤脲酶活性最高。其中在连作茬口下,当归根际土壤脲酶活性整体表现为CM2>CP2>CM1>CK,在10月26日CM2处理当归根际土壤脲酶活性达到最大,较对照提高了 2.14 mg·g⁻¹。在轮作茬口下,其根际土壤脲酶活性整体表现为RM2>RP2>RM1>RP1。在10月26日RM2处理当归根际土壤脲酶活性高达 8.71 mg·g⁻¹,较对照提高了 3.32 mg·g⁻¹。整体表现出轮作处理下当归根际土壤脲酶活性较连作栽培平均提高17.95%。在膜侧栽培下,当归根际土壤脲酶活性整体表现为RM2>CM2>RM1>CM1;在露地栽培下,

土壤脲酶活性整体表现为RP2>CP2>RP1>CK;膜侧栽培各处理土壤脲酶活性较露地栽培平均提高7.7%。在间作大蒜条件下,当归根际土壤脲酶活性整体表现为RM2>RP2>CM2>CP2,在当归单作条件下,土壤脲酶活性整体表现为RM1>RP1>CM1>CK;间作大蒜处理的土壤脲酶活性较当归单作平均提高10.45%。见表5。

表5 不同处理方法下当归根际土壤脲酶活性变化动态 ($\bar{x}\pm s, n=3$)
Table 5 Dynamic changes of urease activity in soil under different treatments ($\bar{x}\pm s, n=3$)

处理	6月22日	7月23日	8月25日	9月26日	10月26日
RM1	2.33±0.02 ^a	1.70±0.04 ^a	4.00±0.15 ^b	5.73±0.07 ^a	7.21±0.24 ^b
RM2	2.21±0.11 ^a	1.66±0.01 ^a	4.41±0.11 ^a	5.71±0.05 ^b	8.71±0.26 ^a
RP1	2.27±0.02 ^a	1.78±0.02 ^a	3.71±0.09 ^b	5.35±0.27 ^{ab}	7.14±0.22 ^b
RP2	2.32±0.02 ^a	1.62±0.08 ^a	3.71±0.04 ^b	5.59±0.06 ^{ab}	8.20±0.16 ^a
CM1	2.21±0.11 ^a	1.66±0.01 ^a	2.97±0.09 ^c	4.74±0.08 ^{abc}	5.62±0.17 ^c
CM2	2.24±0.11 ^a	1.78±0.02 ^a	3.95±0.14 ^b	5.30±0.70 ^{ab}	7.53±0.29 ^b
CK	2.26±0.17 ^a	1.62±0.08 ^a	2.67±0.12 ^c	3.83±0.13 ^c	5.39±0.09 ^c
CP2	2.14±0.05 ^a	1.64±0.07 ^a	3.63±0.12 ^b	4.66±0.20 ^{bc}	7.29±0.13 ^b

3.2.2 蔗糖酶活性变化动态 当归根际土壤蔗糖酶活性整体呈先升高再降低的趋势,9月份当归根膨大期达到最高。其中在连作茬口下,当归根际土壤蔗糖酶活性整体表现为CM2>CP2>CM1>CK,在9月26日CM2处理当归根际土壤蔗糖酶活性达到最大,较CK提高了22.35 mg·g⁻¹。在轮作茬口下,其根际土壤蔗糖酶活性整体表现为RM2>RP2>RM1>RP1,在9月26日RM2处理当归根际土壤蔗糖酶活性高达82.89 mg·g⁻¹,较CK提高了28.03 mg·g⁻¹。整体表现出轮作处理下当归根际土壤蔗糖酶活性较连作栽培平均提高2.04 mg·g⁻¹。在膜侧栽培下,当归根际土壤蔗糖酶活性整体表现为CM2>CM1>RM1>RM2;在露地栽培下,土壤蔗糖酶活性整体表现为RP2>CK>RP1>CP2;膜侧栽培各处理土壤蔗糖酶活性与露地栽培活性水平相当。在间作大蒜条件下,当归根际土壤蔗糖酶活性整体表现为RP2>CM2>CP2>RM2,在当归单作条件下,土壤蔗糖酶活性整体表现为CK>RP1>CM1>RM1;间作大蒜处理的土壤蔗糖酶活性较当归单作平均提高6.25 mg·g⁻¹。见表6。

3.2.3 磷酸酶活性变化动态 当归生长后期根部物质快速积累,碱性磷酸酶活性也是不断增加。碱性磷酸酶活性随生长期呈递增的趋势,各处理之间差异较大。在连作茬口下,10月26日当归根际土壤

表6 不同处理方法下当归根际土壤蔗糖酶活性变化动态 ($\bar{x}\pm s, n=3$)

Table 6 Changes of sucrase activity in soil under different treatments ($\bar{x}\pm s, n=3$)

处理	6月22日	7月23日	8月25日	9月26日	10月26日
RM1	34.76±0.13 ^c	32.95±0.14 ^g	58.08±1.12 ^{ab}	74.83±0.07 ^c	39.6±0.26 ^e
RM2	33.42±0.27 ^f	37.41±0.15 ^e	48.38±0.13 ^e	82.90±0.22 ^a	35.85±0.24 ^f
RP1	32.01±0.16 ^g	35.76±0.05 ^f	53.98±0.19 ^e	65.60±0.30 ^d	49.53±0.08 ^{bc}
RP2	36.30±0.82 ^d	42.05±0.07 ^d	59.42±0.18 ^a	76.32±0.04 ^b	54.42±0.29 ^a
CM1	47.32±0.24 ^a	44.87±0.09 ^c	51.42±0.11 ^d	66.83±0.22 ^d	47.07±0.18 ^c
CM2	42.63±0.18 ^b	44.63±0.07 ^c	52.36±0.13 ^c	77.21±0.15 ^b	49.85±0.13 ^{bc}
CK	39.37±0.25 ^c	49.63±0.09 ^a	54.73±0.13 ^c	54.86±0.29 ^f	50.14±0.15 ^b
CP2	37.37±0.12 ^d	46.67±0.13 ^b	57.70±0.11 ^b	63.92±0.14 ^c	43.5±0.39 ^d

碱性磷酸酶活性表现为CM2>CP2>CM1>CK,其中CM2处理当归根际土壤碱性磷酸酶活性达到最大,较CK提高了2.25 mg·g⁻¹。在轮作茬口下,其根际土壤碱性磷酸酶活性整体表现为RM2>RP2>RM1>RP1,在10月26日RM2处理当归根际土壤碱性磷酸酶活性高达6.10 mg·g⁻¹,较CK提高了4.09 mg·g⁻¹。整体表现出轮作处理下当归根际土壤碱性磷酸酶活性显著高于连作栽培,平均提高27.87%。在膜侧栽培下,当归根际土壤碱性磷酸酶活性整体表现为RM2>CM2>RM1>CM1;在露地栽培下,土壤碱性磷酸酶活性整体表现为RP2>CP2>RP1>CK;膜侧栽培各处理土壤碱性磷酸酶活性较露地栽培平均提高17.22%。在间作大蒜条件下,当归根际土壤碱性磷酸酶活性整体表现为RM2>RP2>CM2>CP2,当归单作条件下,土壤碱性磷酸酶活性整体表现为RM1>RP1>CM1>CK;间作大蒜处理的土壤碱性磷酸酶活性较当归单作平均提高62.16%。碱性磷酸酶活性变化动态见表7。

酸性磷酸酶活性变化动态从表8看出土壤酸性磷酸酶活性随生长期不断递增,当归土壤酸性磷酸酶的活性明显高于碱性磷酸酶活性。在连作茬口下,10月26日当归根际土壤酸性磷酸酶活性表现为CM2>CP2>CM1>CK,其中CM2处理当归根际土壤酸性磷酸酶活性达到最大,较CK提高了6.27 mg·g⁻¹。在轮作茬口下,其根际土壤酸性磷酸酶活性整体表现为RM2>RP2>RP1>RM1,在10月26日RM2处理当归根际土壤酸性磷酸酶活性高达18.20 mg·g⁻¹,较CK提高了7.87 mg·g⁻¹。整体表现出轮作处理下根际土壤酸性磷酸酶活性高于连作栽培,平均提高14.80%。在膜侧栽培条件下,当归根际土壤酸性磷酸酶活性整体表现为RM2>CM2>RM1>CM1;露地

表 7 不同处理方法下当归根际土壤碱性磷酸酶活性的变化 ($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

Table 7 Effect of different treatments on alkaline phosphatase activity in rhizosphere soil ($\bar{x} \pm s$, $n=3$) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$

处理	6月22日	7月23日	8月25日	9月26日	10月26日
RM1	1.22±0.02 ^b	1.53±0.03 ^a	1.82±0.07 ^b	2.76±0.07 ^b	3.53±0.08 ^{cd}
RM2	1.33±0.02 ^a	1.69±0.01 ^a	1.84±0.07 ^b	2.50±0.35 ^{bc}	6.10±0.25 ^a
RP1	0.61±0.02 ^d	0.92±0.04 ^c	1.30±0.02 ^d	1.91±0.15 ^{cd}	3.16±0.22 ^d
RP2	0.64±0.03 ^d	1.25±0.09 ^b	1.54±0.08 ^c	1.98±0.17 ^{cd}	5.22±0.14 ^b
CM1	0.40±0.02 ^e	0.70±0.05 ^d	0.89±0.12 ^e	1.19±0.07 ^e	2.20±0.22 ^e
CM2	0.80±0.03 ^c	1.72±0.08 ^a	1.86±0.06 ^b	2.92±0.13 ^b	4.26±0.25 ^c
CK	0.38±0.03 ^e	0.52±0.09 ^d	0.74±0.05 ^e	1.71±0.11 ^{de}	2.01±0.34 ^e
CP2	0.67±0.04 ^d	1.71±0.09 ^a	2.62±0.07 ^a	3.52±0.17 ^a	4.04±0.12 ^c

栽培条件下,土壤酸性磷酸酶活性整体表现为 RP2>CP2>RP1>CK;间作大蒜处理的土壤酸性磷酸酶活性较当归单作平均提高 27.41%。在间作大蒜条件下,当归根际土壤酸性磷酸酶活性整体表现为 RM2>RP2>CM2>CP2,在当归单作条件下,土壤酸性磷酸酶活性整体表现为 RP1>RM1>CM1>CK;膜侧栽培各处理土壤酸性磷酸酶活性与露地栽培活性相当,见表 8。

表 8 不同处理方法对当归根际土壤酸性磷酸酶活性的影响 ($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

Table 8 Effect of different treatments on the activity of acid phosphatase in rhizosphere soil ($\bar{x} \pm s$, $n=3$) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$

处理	6月22日	7月23日	8月25日	9月26日	10月26日
RM1	3.43±0.13 ^d	6.86±0.05 ^d	8.76±0.10 ^b	8.72±0.14 ^f	11.48±0.08 ^d
RM2	3.08±0.17 ^d	9.03±0.27 ^a	10.8±0.13 ^a	14.32±0.04 ^a	18.20±0.25 ^a
RP1	2.98±0.23 ^{de}	7.67±0.14 ^c	10.78±0.12 ^a	11.58±0.04 ^c	14.08±0.15 ^c
RP2	5.59±0.06 ^b	8.74±0.12 ^{ab}	11.03±0.23 ^a	13.20±0.30 ^b	16.59±0.28 ^b
CM1	3.97±0.16 ^c	5.84±0.05 ^c	6.44±0.12 ^d	8.09±0.17 ^g	10.79±0.17 ^c
CM2	6.35±0.14 ^a	8.73±0.12 ^{ab}	8.82±0.08 ^b	10.78±0.23 ^d	16.60±0.15 ^b
CK	4.24±0.11 ^c	7.54±0.11 ^c	8.28±0.07 ^c	9.69±0.07 ^c	10.33±0.23 ^c
CP2	2.45±0.24 ^e	8.36±0.07 ^b	9.16±0.09 ^b	11.14±0.21 ^{cd}	14.26±0.12 ^c

3.3 不同处理对当归产量的影响 从当归亩产量分析, RM2 处理产量最高达 219.19 kg/亩 (1 亩 ≈ 667 m²), 较最低产量 CK 处理高 61.93 kg/亩。连作茬口下, 当归产量大小整体表现 CM2>CP2>CM1>CK; 连作茬口下当归产量大小表现为 RM2>RP2>RP1>RM1; 连作茬口的当归产量平均低于轮作处理 24.48 kg/亩。在膜侧栽培下, 当归产量大小整体表现 RM2>CM2>RM1>CM1; 露地栽培下当归产量大小表现为 RP2>RP1>CP2>CK; 膜侧栽培下的当归产

量平均高于露地栽培处理 13.78 kg/亩。间作大蒜处理与当归单作相比, 当归产量大小整体表现 CP2>CK; CM1>CM2; RP1>RP2; RM1>RM2, 即间作大蒜的作用各处理产量较当归单作均有不同程度的提高, 各处理较当归单作都有提高。见表 9。

表 9 不同处理方法下当归产量 ($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

Table 9 *Angelica sinensis* yield of different treatments ($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

处理	产量/kg/亩
RM1	191.46±6.39 ^{ABCdef}
RM2	219.19±10.97 ^{Aa}
RP1	191.95±6.07 ^{ABCdef}
RP2	208.20±6.23 ^{ABabc}
CM1	175.64±2.22 ^{BCDcdef}
CM2	201.11±7.15 ^{ABCabcd}
CK	157.26±6.39 ^{Df}
CP2	176.88±8.82 ^{BCDefg}

注: 不同大写字母表示 $P<0.01$, 不同小写字母表示 $P<0.05$ 。

4 讨论与结论

随着当归生长, 当归根际土壤细菌、放线菌数量呈递减趋势, 真菌数量呈递增趋势。膜侧栽培下土壤微生物活动比较旺盛, 微生物分布也比较均匀, 细菌、放线菌数量明显要高于露地栽培处理, 真菌数量低于露地栽培处理。随着当归地下部分的快速生长, 当归根际分泌物对当归土壤环境和根际条件影响较大, 尤其在当归连作茬口当归单作下细菌、放线菌数量下降, 有害真菌数量升高, 使当归土壤微生物多样性下降。即微生物区系从高肥力的“细菌型”土壤向低肥力的“真菌型”土壤转化^[17], 与本研究连作膜侧单作处理和连作露地单作处理的微生物分布规律一致。无论连作、轮作下间作大蒜对根际土壤微生物的影响作用比较显著, 生长后期间作大蒜作用下各处理较当归单作明显减缓了细菌, 放线菌的减少速度, 对真菌数量的增加有明显的抑制作用。

从当归根际土壤酶活性的变化动态分析来看, 随着当归的生长土壤酶系统活性呈上升的趋势, 生长前期各处理间差异不明显, 随着大蒜和当归的生长, 到当归根膨大期和收获期, 各酶变化幅度较大。9 月份根膨大期当归根际土壤蔗糖酶活性达到最高, 10 月份收获期时脲酶和磷酸酶活性达到最高。膜侧条件下保护了当归土壤的平衡环境, 土壤酶活性明显要高于露地种植。无论是连作、轮作环境下间作大蒜作用对各酶活性较当归单作均有提高。

间作大蒜根系分泌物不断增加,当归根际土壤酶活性较单作当归也有显著的提高,对活化土壤养分、改善土壤肥力,提高当归对土壤的养分有效利用,使得当归在连作环境下也能保持高水平的肥料利用率。连作环境栽培当归,间作大蒜的作用对当归土壤磷酸酶的活性有显著的提高,说明间作大蒜作用有效提高了连作当归土壤的磷酸酶活性,加速了有机磷的脱磷速度,对提高土壤磷素的有效性有很大的帮助。从当归产量数据分析,无论是连作、轮作环境或膜侧、露地栽培下间作大蒜作用对产量较当归单作均有提高;轮作环境栽培当归得出产量较连作环境当归产量高;膜侧栽培较露地栽培的当归产量高。综上,膜侧栽培下,轮作处理当归与大蒜的化感效应有利于提高当归产量。

综上分析看出轮作膜侧栽培下土壤微生物活动比较旺盛,微生物分布也比较均匀。当归连作障碍对自身产生有益和有害的作用,从根际土壤微生物及酶活性角度研究当归连作障碍的产生机制是十分必要的^[18-20]。本研究在上述基础上增加膜侧栽培与露地栽培分析,加以验证连轮作环境下间作大蒜对当归土壤环境的影响效应,为当归克服连作障碍保持高产优质的无公害栽培技术提供一定的理论依据。综上在膜侧条件下,间作大蒜影响土壤微生物群落结构、改善土壤环境,缓解当归连作障碍,提高当归产量,有效促进当归健康生长,为当归高产高品质提供有效的生物学方法。

[参考文献]

[1] 杨雪,王引权,樊秦,等. 施钾对当归苯酞类成分含量动态的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(19):50-55.

[2] 王田涛,王琦,王惠珍,等. 当归自毒作用及其对不同作物的化感效应[J]. 草地学报, 2012, 20(6):1132-1138.

[3] 张新慧. 当归连作障碍机制及其生物修复措施研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2009.

[4] 张新慧,张恩和,王惠珍,等. 连作对当归生长的障碍效应及机制研究[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(10):1231-1234.

[5] 郝丽霞,程智慧,孟焕文,等. 设施番茄套作大蒜的生物和生态效应——套播时期对不同品种大蒜生长发育和产量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(19):5316-5326.

[6] 金司阳,刘寒,杨立学,等. 植物-土壤反馈对刺五加幼苗次生代谢产物的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(4):167-173.

[7] 张磊,邱黛玉,杨椿晨,等. 大蒜根系分泌物对当归种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(7):17-22.

[8] 胡斌,匡海学,辛运杰,等. 大蒜地上部分中1个新的酚苷类化合物[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(22):121-125.

[9] 秦伟,陈昆,赵跃锋. 大蒜套作对温室茄子根际土壤微生物数量与土壤酶活性的影响[J]. 山西农业科学, 2018, 46(11):1831-1833, 1902.

[10] 孟自力,叶美金,闫延梅,等. 间作大蒜对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(5):430-438.

[11] 赵文婷,邱黛玉. 大蒜对连作胁迫下当归根际微生物和酶活性的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(10):29-33.

[12] 张磊,邱黛玉,魏鹏,等. 大蒜根系分泌物不同极性成分对当归发芽及幼苗的影响[J]. 中国现代中药, 2015, 17(8):815-820.

[13] 邱黛玉,张正杰. 离体蒜苗挥发物质对模拟连作当归种子发芽的影响[J]. 中草药, 2016, 47(6):1010-1015.

[14] 齐海敏,邱黛玉,陈高峰. 覆膜栽培对土壤温度及当归产量的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(3):81-87.

[15] 潘渝,郭谨,李毅,等. 地膜覆盖条件下的土壤增温特性[J]. 水土保持研究, 2002, 9(2):130-134.

[16] 许光辉,郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:中国农业出版社, 1986.

[17] 吴宏亮,康建宏,陈阜,等. 不同轮作模式对砂田土壤微生物区系及理化性状的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(6):674-680.

[18] BENITEZ M S, OSBORNE S L, LEHMAN R M. Previous crop and rotation history effects on maize seedling health and associated rhizosphere microbiome [J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1):15709.

[19] 刘雨迪,陈小云,刘满强,等. 不同稻作年限下土壤微生物学性质和线虫群落特征的变化[J]. 生物多样性, 2013, 21(3):334-342.

[20] 沈鹏瑞,邱黛玉,张磊,等. 活体大蒜及离体蒜苗对连作当归胁迫的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(16):161-167.

[责任编辑 顾雪竹]