

大蒜与黄瓜轮作控制黄瓜疫病及其化感作用初探

吴家庆, 马琳娜, 张贺, 李加云, 孙俊薇,
梅馨月, 朱书生, 何霞红, 朱有勇, 刘屹湘*

(云南农业大学, 农业生物多样性与病虫害控制教育部重点实验室,
云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201)

摘要 传统农业种植中常将目标作物与化感作物轮作控制土传病害,但对化感作物控病机制研究较少。本文研究了温室大蒜与黄瓜轮作对黄瓜疫病的控制效果,并进一步研究了大蒜组织挥发物和浸提液对甜瓜疫霉 *Phytophthora melonis* 及黄瓜种子萌发的影响,以期为利用大蒜与黄瓜轮作控制黄瓜疫病提供理论指导。结果表明,大蒜与黄瓜轮作可以有效降低黄瓜疫病的发生;大蒜不同组织挥发物和浸提液对 *P. melonis* 的各生长阶段都表现出显著的抑菌活性,其中蒜瓣的抑菌活性最强,挥发物(紫皮蒜/白皮蒜)在含量 0.5 g/皿时对菌丝生长的抑制率均为 100%;蒜瓣浸提液(紫皮蒜/白皮蒜)在浓度 1.67 mg/mL 时对菌丝生长的抑制率分别为 32% 和 45%;在浓度 0.25 mg/mL 时对游动孢子萌发的抑制率分别为 98% 和 53%。另外,大蒜挥发物和浸提液在低浓度或含量对黄瓜种子的萌发并无显著抑制效果,但在中高浓度或含量会表现出延缓生长的现象。综上所述,大蒜不同组织产生和释放的化合物对 *P. melonis* 具有抑制活性,在生产上可以利用大蒜或大蒜秸秆与黄瓜轮作控制黄瓜疫病的发生。

关键词 大蒜; 黄瓜疫病; 轮作; 挥发物; 浸提液

中图分类号: S 474 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018486

A preliminary study on the allelopathy and control of cucumber blight by garlic-cucumber rotation

WU Jiaqing, MA Linna, ZHANG He, LI Jiayun, SUN Junwei, MEI Xinyue,
ZHU Shusheng, HE Xiahong, ZHU Youyong, LIU Yixiang

(Yunnan Agricultural University, Key Laboratory of Agrobiodiversity and Pest Management, Ministry of Education,
State Key Laboratory for Conservation and Utilization Bio-Resources in Yunnan, Kunming 650201, China)

Abstract Allelopathic crop rotation is often used to control soil-borne diseases in traditional agricultural planting, but the mechanism of disease control is rarely studied. The effect of garlic-cucumber rotation on controlling cucumber blight was verified by greenhouse rotation experiments. The effects of garlic volatiles and extracts on *Phytophthora melonis* and germination of cucumber seeds were further studied in order to provide a theoretical guidance for controlling cucumber blight by garlic-cucumber rotation. The results showed that the rotation of garlic and cucumber could effectively reduce the occurrence of cucumber blight. Moreover, the volatiles and extracts of garlic tissues showed significant bacteriostatic activity to *P. melonis* at all growth stages, in which garlic cloves had the strongest bacteriostatic activity, and the inhibition rates of volatiles (purple-skinned garlic/white-skinned garlic) against mycelial growth were 100% and 100%, respectively at 0.5 g/dish; the inhibition rates of the clove extracts (purple garlic-skinned/white-skinned garlic) against mycelial growth were 32% and 45%, respectively at the concentration of 1.67 mg/mL, and the inhibition rates of extract (purple-skinned garlic/white-skinned garlic) against spore germination were 98% and 53% at 0.25 mg/mL, respectively. In addition, garlic volatiles and extracts at low concentrations did not significantly inhibit the germination of cucumber seeds, but at medium and high concentrations, the growth of cucumber seeds was delayed. In conclusion, compounds produced and released

收稿日期: 2018-11-24 修订日期: 2019-01-23

基金项目: 国家自然科学基金(31601682, 31600246); 云南省应用基础研究计划(2017FD079); 云南省高校科技创新团队支持计划

* 通信作者 E-mail: liuyixiang@ynau.edu.cn

from different tissues of garlic showed inhibitory activity against *P. melonis*, and garlic or garlic straws rotated with cucumber can be used to control the occurrence of cucumber blight in production.

Key words garlic; cucumber blight; rotation; volatiles; extract

农业生物多样性是以自然生物多样性为基础,以人类的生存和发展为动力而形成的人与自然相互作用的多样性系统,是生物多样性的重要组成部分。相对于传统单一种植模式,作物多样性种植具备增加作物产量、提高土地利用效率、促进养分吸收、持续控制作物病害等一系列优势,是增产增效、减少化肥农药使用的重要途径^[1]。已有的研究表明,作物多样性种植可以通过以下机理控制地上部气传病害:稀释病原菌、阻隔病虫害协同作用、诱导抗性、改善田间小气候。同时,作物间作和轮作等多样性种植模式也被广泛应用于作物土传病害的防控^[2]。

黄瓜疫病(cucumber blight)是由甜瓜疫霉 *Phytophthora melonis*^[3]引起的黄瓜 *Cucumis sativus* 上的重要病害,病原菌能侵染黄瓜茎、叶片及果实,初期病部缢缩,后期整株枯死。该病菌主要在土壤和受侵染的病残体中存活,且寄主范围广,国内外报道的许多葫芦科 Cucurbitaceae 瓜果疫病都由该病原菌引起。黄瓜疫病具有潜育期短,雨季蔓延快的特点,因此在防治时应采用栽培防病为主(合理轮作、适时早播),结合选择抗病品种和及时喷药的综合措施^[4]。

轮作是一种传统的种植模式,该种植方式不仅能有效利用耕地,还能减轻作物病害的发生,减少农药用量^[2,5]。作物轮作过程中,前茬作物根系分泌物和残留腐解物对病原菌产生的化感效应是轮作可控制病害的主要原因^[6]。大蒜 *Allium sativum* 是一种具备强化感效应的作物,常被用于间作或轮作控制土传病害的发生^[7]。大蒜与烤烟轮作可以有效地控制烟草黑胫病^[8]。马铃薯与大蒜间作,可使马铃薯晚疫病的发生受到抑制^[9]。大蒜不同组织产生的化学物质对不同受体作物的化感作用及有效浓度不同,大蒜鳞茎提取物^[10-11]、大蒜根系分泌物^[12-13]、大蒜秸秆浸提物以及腐解物^[14-17]、大蒜地上部挥发物等不同部位产生的化学物质均有一定的化感作用^[18]。已有研究表明,大蒜与黄瓜轮作能够有效控制黄瓜枯萎病、黄瓜根结线虫等的发生^[19-20]。但是关于大蒜与黄瓜轮作控制土传疫病及其相关机制的研究较少。

本文以生物多样性种植控制病害为基础,探讨

大蒜-黄瓜轮作对黄瓜疫病的控制效果、大蒜不同组织挥发物和浸提液对黄瓜种子的化感作用及其对 *P. melonis* 的抑菌活性,以期利用大蒜与黄瓜轮作减轻黄瓜疫病提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

黄瓜 *Cucumis sativus* 选用昆明本地黄瓜。大蒜 *Allium sativum* 选用昆明呈贡紫皮蒜和白皮蒜。供试菌为甜瓜疫霉 *Phytophthora melonis*,由中国农业大学种子病理及杀菌剂药理学研究室提供。

1.2 试验方法

1.2.1 温室试验

为了探究前茬种植大蒜对后茬黄瓜疫病发生的影响,设计 4 个处理:1) 黄瓜 * → 黄瓜 → 黄瓜: 黄瓜连作三茬并在第一茬接种 *P. melonis*; 2) 黄瓜 * → 大蒜 → 黄瓜: 第一茬种植黄瓜并接种 *P. melonis*, 第二茬种植大蒜, 第三茬种植黄瓜; 3) 黄瓜 * → 大蒜秸秆 → 黄瓜: 第一茬种植黄瓜并接种 *P. melonis*, 第二茬将种植时间为 30 d 的大蒜秸秆(大蒜秸秆来源于 2017 年 10 月 9 日种植的大蒜, 种植规格等同于处理 2 中第二茬大蒜) 翻埋于土壤中, 第三茬种植黄瓜; 4) 黄瓜 → 黄瓜 → 黄瓜: 连作三茬种植黄瓜但不接种 *P. melonis* 作为对照。黄瓜出苗后于 2017 年 11 月 19 日、11 月 22 日、11 月 26 日、12 月 1 日、12 月 3 日、12 月 8 日、12 月 10 日、12 月 13 日、12 月 16 日、12 月 20 日、12 月 28 日、12 月 30 日、1 月 4 日、1 月 11 日、1 月 17 日进行发病率调查, 共计 15 次。试验中将黄瓜种子保湿培养催芽 5 d, 选择萌发情况一致的黄瓜种子播种在长方形塑料盒(内部尺寸: 长 80 cm × 宽 45 cm × 深 20 cm) 中, 大蒜株距为 8 cm, 黄瓜株距为 5 cm, 两种作物行距均为 11 cm, 每个盒子中黄瓜 80 株, 大蒜 42 株(图 1)。轮作中第一茬黄瓜种植时间为 2017 年 8 月 2 日至 2017 年 9 月 4 日, 第二茬为 2017 年 10 月 9 日至 2017 年 11 月 8 日, 第三茬为 2017 年 11 月 9 日至 2018 年 1 月 11 日。

1.2.2 *P. melonis* 的培养

将 *P. melonis* 接种在 9 cm 马铃薯琼脂培养基(PDA)上, 于 25℃ 恒温黑暗条件下培养 4 d 后备用。

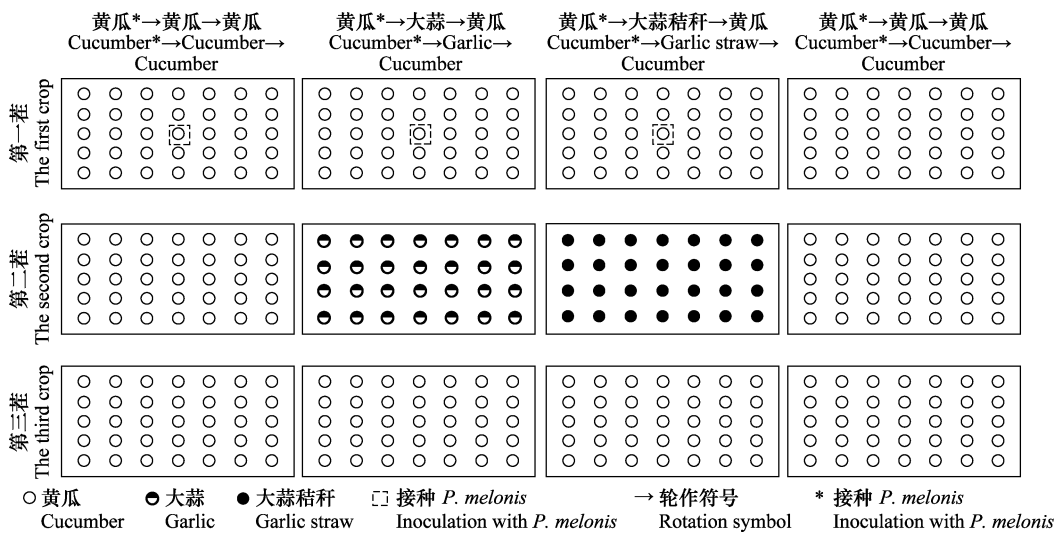


图 1 温室试验模式图
Fig. 1 Experimental modes in the greenhouse

1. 2. 3 大蒜不同部位挥发物对黄瓜种子萌发和生长的影响

用 75%乙醇对蒜瓣和蒜苗(幼苗期:出苗后 1 个月)根、茎、叶进行表面消毒,并对不同组织进行破碎。具体方法为:将蒜瓣、叶、茎和根浸入 75%乙醇中 2 min 后用无菌水冲洗 3 次,用吸水纸将表面水分吸干,然后用消毒刀片将蒜瓣切碎成边长 0.5 cm 的小块,大蒜叶用剪刀剪成 1 cm² 的叶片,大蒜茎和根剪成 1 cm 小段。分别称取 0.5、1、3、5 g,放置于灭菌的 6 cm 小培养皿中;铺 3 张灭菌滤纸于直径为 15 cm 的大培养皿底,将装有大蒜不同组织的小培养皿放置在大培养皿的中心位置,向滤纸上加入 10 mL 无菌水,再将表面消毒后的黄瓜种子平铺于滤纸上,每皿 12 粒;以 6 cm 培养皿底中不加入大蒜组织作为空白对照,每个处理重复 3 次。在 28℃,L//D=12 h//12 h 的培养箱中分别培养,培养期间各处理通过添加等量无菌水使滤纸保持湿润,每隔 24 h 记录黄瓜种子发芽率,7 d 后分别测量种子的芽长和鲜重,计算种子的发芽指数和活力指数。计算公式为:

发芽率=(发芽终期正常发芽种子数/种子总数)×100%,

发芽势=(第 3 天正常发芽种子数/种子总数)×100%,

发芽指数(GI)= $\sum \frac{G_t}{D_t}$,活力指数=GI×S;

式中,G_t 为浸种后 t 日的发芽数,D_t 为相应发芽日数,发芽势计算日期为 3 d,发芽率计算日期为

7 d;GI 为发芽指数;S 为胚芽长度(cm)或种子鲜重(g)。

1. 2. 4 大蒜不同部位浸提液母液制备及其对黄瓜种子萌发和生长的影响

将新鲜蒜瓣、叶、茎和根浸入 75%乙醇中 2 min 后用无菌水冲洗 3 次,用吸水纸将表面水分吸干,分别称取 20 g 材料,用研钵研碎成匀浆,按组织:水=1:2 的比例加入 40 mL 无菌水并充分振荡,静置 4 h 后过滤,12 000 r/min 高速离心 15 min,收集上清液,并过 0.22 μm 滤膜,得到 0.5 g/mL 浸提液母液,4℃低温保存。用无菌水将各部位浸提液母液稀释 2、12、60、120 倍,制成终浓度为 250、41.7、8.33、4.17 mg/mL 的系列浓度浸提液。

铺 3 张灭菌滤纸于直径为 15 cm 的大培养皿底,加入大蒜不同部位系列浓度浸提液 10 mL,对照加入无菌水 10 mL,再将浸种消毒后的黄瓜种子放置于滤纸上,每皿 12 粒,每个处理 3 次重复。在 28℃,L//D=12 h//12 h 的培养箱中分别培养,培养期间各处理通过添加等量无菌水使滤纸保持湿润,每隔 24 h 记录黄瓜种子发芽率,7 d 后,分别测量种子的芽长和鲜重,计算种子的发芽指数和活力指数。计算公式同 1. 2. 3。

1. 2. 5 大蒜不同部位挥发物对 *P. melonis* 的抑菌活性

用 75%乙醇对新鲜蒜苗(出苗约 1 个月)根、茎、叶和蒜瓣进行表面消毒,并对不同组织进行破碎。具体方法为:将蒜瓣、叶、茎和根浸入 75%乙醇中 2 min 后用无菌水冲洗 3 次,用吸水纸将表面水

分吸干,然后用刀片将蒜瓣切碎成 0.5 cm³ 的小方块,大蒜叶则用剪刀剪成 1 cm² 面积叶片,大蒜茎和根剪成 1 cm 长度。各称取 0.5、1、2、3、5 g,置于倒置的 9 cm 平板培养皿盖上,沿生长 4 d 的菌落边缘打取直径为 7 mm 的 *P. melonis* 菌饼,将菌饼接于 PDA 上,然后倒扣于添加不同质量大蒜组织的皿盖上,制成大蒜不同组织挥发物系列含量平板;以不加大蒜组织的 PDA 平板作为对照,每个处理重复 3 次,于 25℃ 恒温黑暗培养,4 d 以后用十字交叉法测量菌落直径。利用十字交叉法测量出每种含量下菌株的菌落生长直径,求出各平均值代入公式计算。计算公式为:

抑制率=[(对照菌落平均直径-处理菌落平均直径)/对照菌落平均直径]×100%。

1.2.6 大蒜不同部位浸提液对 *P. melonis* 的抑菌活性

分别取大蒜浸提液母液 0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1、2 mL 加入 PDA 平板培养基中,每个平板培养基的体积为 15 mL,使终浓度分别为 0.67、1.67、3.3、6.7、16.7、33.67、67 mg/mL。在平板培养基中央接入 7 mm 直径的 *P. melonis* 菌饼,以不加任何物质的 PDA 平板作为对照,每个处理重复 3 次,25℃ 恒温黑暗培养 4 d 后用十字交叉法测量菌落直径。计算公式同 1.2.5。

制备休止孢悬浮液:将 2 mL 游动孢子悬浮液加至 2 mL 冻存管中,用涡旋仪(型号 Vortex Genie 2,转速 2 000 r/min)振荡 6 min,此时游动孢子鞭毛脱落,游动孢子转变为休止孢,所得液体即为休止孢悬浮液。悬浮液含有的游动孢子或休止孢的数量是 2×10⁵ 个/mL。用无菌水将浸提液母液梯度稀释 20、100、200、1 000、2 000、10 000 倍,使浓度分别为 25、5、2.5、0.5、0.25、0.05 mg/mL,然后和孢子悬浮液按照 1:1 比例进行混合,混合液中大蒜不同部位浸提液最终质量浓度为 12.5、2.5、1.25、0.25、0.125、0.025 mg/mL,取 *P. melonis* 游动孢子悬浮液和休止孢悬浮液各 20 μL 分别与不同浓度的浸提液各 20 μL 在凹玻片上混匀,20℃ 黑暗保湿培养。5 min 后观察休止孢的数量,计算游动孢子休止率。3 h 后观察休止孢萌发的数量,计算显微镜视野中休止孢的萌发率。每个处理 3 次重复。

计算公式:

休止率=休止孢数量/总孢子数量×100%,

萌发率=萌发孢子数量/总孢子数量×100%。

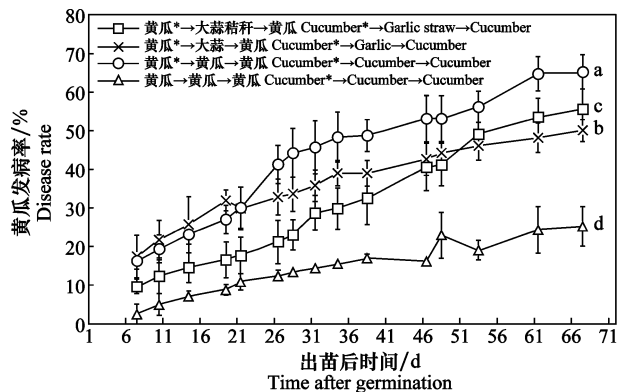
1.2.7 统计分析

试验数据采用 IBM SPSS statistics 19 以及 Microsoft Excel 2013 软件进行统计分析,采用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性分析,利用 Microsoft Excel 2013 软件进行图表制作。

2 结果与分析

2.1 大蒜-黄瓜不同种植模式防控黄瓜疫病的效果

定期监测大蒜与黄瓜轮作对黄瓜疫病发生的影响。结果表明(图 2),大蒜与黄瓜轮作能够显著抑制黄瓜疫病的发生和扩散,不同种植模式全生育期黄瓜疫病的平均发病率为:黄瓜*→黄瓜→黄瓜(42.48%)>黄瓜*→大蒜→黄瓜(35.89%)>黄瓜*→大蒜秸秆→黄瓜(29.80%)>黄瓜→黄瓜→黄瓜(14.35%)。其中,黄瓜*→大蒜秸秆→黄瓜对第三茬黄瓜出苗时(1~21 d)的疫病发生有较好的抑制效果,其发病率为 9.73%~17.76%。但黄瓜*→大蒜→黄瓜模式在黄瓜快速生长期(21~67 d)有较强的抑菌效果(黄瓜发病率为 29.95%~50.06%),而在前期(1~21 d)并无抑菌效果。



→为轮作符号; *表示接种 *Phytophthora melonis*。误差条表示均值的标准误差(n=3)。小写字母代表综合考虑整个时间段后不同轮作模式之间的显著性差异,差异显著性基于ANOVA检验5%水平
→ is rotation symbol; * indicates inoculation with *Phytophthora melonis*. The error bars indicate standard error of means (n=3) and lowercase letters denote significant difference among cultivation modes during the whole period at the 5% level by using ANOVA test

图 2 大蒜与黄瓜不同种植模式下黄瓜疫病发生情况

Fig. 2 Occurrence of cucumber blight under different cropping patterns of garlic and cucumber

2.2 大蒜不同部位挥发物和浸提液对黄瓜种子萌发和生长的影响

2.2.1 大蒜挥发物对黄瓜种子萌发和生长的影响
大蒜不同品种不同部位的挥发物对黄瓜种子萌发的影响表现为低含量无影响或促进,高含量抑制(表 1)。

表 1 大蒜不同部位挥发物对黄瓜种子萌发的影响¹⁾

Table 1 Effects of volatiles of different garlic tissues on cucumber seed germination

部位 Tissue	含量/ g·皿 ⁻¹ Content	紫皮蒜 Purple-skinned garlic					白皮蒜 White-skinned garlic				
		发芽势/% Germinating potential	发芽率/% Germination percentage	发芽指数 Germination index	活力指数(鲜重) Vigor index (Fresh weight)	活力指数(胚芽长) Vigor index (Length of germ)	发芽势/% Germinating potential	发芽率/% Germination percentage	发芽指数 Germination index	活力指数(鲜重) Vigor index (Fresh weight)	活力指数(胚芽长) Vigor index (Length of germ)
蒜瓣 Clove	0	(86.67±0.33)a	(86.67±0.33)a	(13.74±0.37)b	(2.39±0.08)a	(137.64±3.74)a	(86.67±0.33)a	(86.67±0.33)a	(13.80±0.41)a	(2.40±0.07)a	(138.30±4.13)a
	0.5	(93.33±0.67)a	(96.67±0.33)a	(13.91±0.44)ab	(2.05±0.10)b	(129.70±4.15)a	(96.67±0.33)a	(93.33±0.67)a	(14.18±0.19)a	(1.76±0.02)b	(106.77±1.43)b
	1	(100.00±0.00)a	(96.67±0.33)a	(15.05±0.19)a	(2.09±0.03)b	(129.62±1.68)a	(96.67±0.33)a	(100.00±0.00)a	(14.53±0.36)a	(1.57±0.04)c	(88.77±2.19)c
	3	(93.33±0.67)a	(96.67±0.33)a	(13.44±0.16)b	(2.04±0.03)b	(68.01±0.82)b	(93.33±0.33)a	(100.00±0.00)a	(13.86±0.31)a	(0.85±0.02)d	(40.32±0.88)d
	5	(70.00±0.58)b	(80.00±0.58)b	(9.79±0.55)c	(0.48±0.01)c	(23.83±1.35)c	(63.33±1.20)b	(63.33±0.67)b	(8.78±0.69)b	(0.46±0.04)e	(19.13±1.51)e
蒜苗叶 Leaf	0	(86.67±0.33)a	(96.67±0.33)a	(15.40±0.53)a	(2.35±0.08)a	(130.51±4.50)a	(96.67±0.33)a	(96.67±0.33)a	(15.40±0.24)a	(2.36±0.04)a	(145.05±2.23)a
	0.5	(96.67±0.33)a	(83.33±1.20)a	(13.00±1.04)bc	(2.40±0.19)a	(133.64±10.7)a	(86.67±0.33)a	(83.33±0.33)a	(13.70±0.32)b	(2.39±0.06)a	(137.61±3.20)b
	1	(96.67±0.33)a	(93.33±0.33)a	(14.59±0.25)ab	(2.09±0.04)a	(120.91±2.10)a	(93.33±0.33)a	(90.00±0.58)a	(14.57±0.33)ab	(2.09±0.05)b	(118.79±2.69)c
	3	(93.33±0.33)a	(93.33±0.33)a	(13.70±0.11)ab	(1.23±0.07)b	(94.52±4.69)b	(90.00±0.58)a	(93.33±0.33)a	(14.59±0.29)ab	(1.69±0.06)c	(82.12±3.44)d
	5	(63.33±1.20)b	(95.00±0.33)a	(11.44±0.22)c	(0.87±0.02)c	(43.72±0.84)c	(93.33±0.33)a	(96.67±0.33)a	(14.97±0.26)a	(1.11±0.02)d	(82.03±1.41)d
蒜苗茎 Stem	0	(96.67±0.33)a	(96.67±0.33)a	(15.40±0.53)a	(2.35±0.08)ab	(130.51±4.50)a	(96.67±0.33)a	(96.67±0.33)a	(15.40±0.24)a	(2.36±0.04)a	(144.17±2.68)a
	0.5	(90.00±0.58)a	(93.33±0.33)a	(14.76±0.59)a	(2.50±0.10)a	(130.97±5.28)a	(80.00±0.58)a	(90.00±0.58)a	(12.31±0.32)b	(1.25±0.03)d	(103.47±3.60)b
	1	(93.33±0.33)a	(93.33±0.33)a	(14.70±0.18)a	(2.35±0.03)ab	(130.21±1.63)a	(76.67±0.88)a	(86.67±0.88)a	(12.47±0.45)b	(1.42±0.05)c	(99.21±1.97)b
	3	(96.67±0.33)a	(100.00±0.00)a	(15.11±0.18)a	(2.21±0.07)b	(78.52±0.93)b	(93.33±0.33)a	(83.33±1.20)a	(14.93±0.04)a	(1.83±0.03)b	(105.10±3.08)b
	5	(80.00±1.15)a	(85.00±0.33)a	(10.28±0.15)b	(0.35±0.01)c	(13.22±0.20)c	(83.33±0.88)a	(80.00±1.15)a	(13.00±1.21)b	(0.99±0.09)e	(32.97±1.28)c
蒜苗根 Root	0	(96.67±0.33)a	(96.67±0.33)a	(15.40±0.53)a	(2.35±0.08)a	(130.51±4.50)a	(96.67±0.33)a	(96.67±0.33)a	(15.40±0.14)a	(2.36±0.02)ab	(142.89±1.3)ab
	0.5	(93.33±0.67)a	(90.00±1.00)a	(14.28±0.71)a	(2.17±0.11)ab	(124.46±6.20)ab	(86.67±0.88)ab	(83.33±0.88)ab	(13.70±0.94)ab	(2.32±0.16)ab	(130.96±9.0)bc
	1	(86.67±0.67)a	(83.33±0.88)a	(13.55±0.26)a	(2.21±0.04)ab	(113.17±2.20)bc	(83.33±0.33)ab	(83.33±0.33)ab	(13.17±0.62)b	(2.57±0.12)a	(123.21±5.75)c
	3	(90.00±0.58)a	(93.33±0.67)a	(13.88±0.90)a	(2.01±0.12)b	(101.55±8.84)c	(85.00±0.33)ab	(90.00±0.00)ab	(13.78±0.28)ab	(2.17±0.06)bc	(152.35±3.91)a
	5	(80.00±0.00)a	(76.67±0.33)a	(8.82±0.48)b	(0.67±0.04)c	(35.52±1.93)d	(73.33±0.67)b	(76.67±0.33)b	(11.93±0.65)b	(1.90±0.10)c	(103.90±5.69)d

1) 差异显著基于 ANOVA 检验。表中数据为 3 次重复的平均值±标准误差。小写字母代表 $P<0.05$ 时的显著性差异。下同。

Significant differences are analyzed by using ANOVA test. Data in the table are the average of 3 replicates±standard error. Lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2 大蒜不同部位浸提液对黄瓜种子萌发的影响

Table 2 Effects of the extracts of different garlic tissues on cucumber seed germination

部位 Tissue	浓度/ mg·mL ⁻¹ Concentration	紫皮蒜 Purple-skinned garlic				白皮蒜 White-skinned garlic			
		发芽势/% Germinating potential	发芽率/% Germination percentage	发芽指数 Germination index	活力指数(鲜重) Vigor index (Fresh weight)	发芽势/% Germinating potential	发芽率/% Germination percentage	发芽指数 Germination index	活力指数(鲜重) Vigor index (Fresh weight)
蒜瓣 Clove	0.00	(96.67±0.33)a	(100.00±0.00)a	(15.65±0.28)a	(1.79±0.03)c	(96.67±0.33)ab	(100.00±0.00)a	(15.65±0.28)ab	(1.79±0.03)c
	4.17	(96.67±0.33)a	(93.33±0.33)a	(15.35±0.51)a	(2.17±0.07)a	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(15.93±0.00)a	(2.74±0.00)a
	8.33	(96.67±0.33)a	(93.33±0.67)a	(14.96±0.66)a	(1.73±0.08)c	(90.00±0.00)b	(90.00±0.00)b	(14.34±0.00)c	(1.81±0.00)c
	41.70	(100.00±0.00)a	(90.00±0.67)a	(15.49±0.22)a	(1.98±0.03)b	(93.33±0.33)ab	(93.33±0.33)ab	(14.63±0.30)bc	(1.96±0.05)b
	250.00	(93.33±0.67)a	(96.67±0.33)a	(14.95±0.20)a	(0.47±0.01)d	(96.67±0.33)ab	(96.67±0.33)ab	(15.06±0.60)abc	(0.58±0.02)d
蒜苗叶 Leaf	0.00	(90.00±0.58)a	(90.00±0.58)a	(14.19±0.35)b	(1.52±0.04)b	(80.00±0.58)a	(86.67±0.33)ab	(12.31±0.62)a	(2.14±0.11)ab
	4.17	(100.00±0.00)a	(93.33±0.33)a	(15.83±0.05)a	(1.64±0.00)b	(73.33±0.88)a	(73.33±0.33)bc	(10.96±0.07)ab	(1.84±0.01)b
	8.33	(93.33±0.33)a	(93.33±0.33)a	(14.87±0.29)ab	(1.59±0.03)b	(83.33±0.88)a	(96.67±0.33)a	(13.06±0.75)a	(2.02±0.12)b
	41.70	(93.33±0.67)a	(93.33±0.67)a	(14.87±0.56)ab	(1.85±0.07)a	(76.67±0.67)a	(80.00±0.58)bc	(11.73±0.80)ab	(2.00±0.13)b
	250.00	(93.33±0.33)a	(100.00±0.00)a	(15.39±0.27)a	(0.81±0.01)c	(70.00±0.58)a	(70.00±0.58)c	(10.11±0.71)b	(2.47±0.17)a
蒜苗茎 Stem	0.00	(90.00±0.58)a	(90.00±0.58)a	(15.85±1.81)a	(1.70±0.19)a	(80.00±0.58)a	(86.67±0.33)a	(13.08±0.63)a	(2.27±0.11)a
	4.17	(90.00±0.58)a	(93.33±0.67)a	(15.94±1.35)a	(1.74±0.15)a	(86.67±0.33)a	(86.67±0.33)a	(13.86±0.16)a	(2.27±0.03)a
	8.33	(90.00±1.00)a	(90.00±1.00)a	(16.00±1.75)a	(1.95±0.21)a	(73.33±0.33)a	(83.33±0.33)a	(12.02±0.44)a	(1.99±0.07)a
	41.70	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(17.60±1.67)a	(2.08±0.20)a	(76.67±0.67)a	(80.00±0.57)a	(12.26±0.97)a	(2.09±0.17)a
	250.00	(93.33±0.33)a	(93.33±0.33)a	(16.37±1.33)a	(0.76±0.06)b	(83.33±0.33)a	(90.00±0.57)a	(13.74±0.35)a	(2.18±0.06)a
蒜苗根 Root	0.00	(90.00±0.58)a	(90.00±0.58)a	(14.19±0.35)a	(1.52±0.04)bc	(80.00±0.58)a	(86.67±0.33)a	(13.08±0.63)a	(2.27±0.11)ab
	4.17	(96.67±0.33)a	(96.67±0.33)a	(15.08±0.59)a	(1.73±0.07)ab	(73.33±0.33)a	(76.67±0.33)a	(12.17±0.64)a	(1.94±0.10)b
	8.33	(90.00±1.00)a	(90.00±1.00)a	(14.40±1.32)a	(1.78±0.16)ab	(80.00±1.00)a	(83.33±0.33)a	(13.20±1.05)a	(2.55±0.20)a
	41.70	(90.00±0.58)a	(90.00±0.58)a	(14.34±0.43)a	(1.90±0.06)a	(73.33±1.20)a	(80.00±0.58)a	(12.27±0.60)a	(2.26±0.11)ab
	250.00	(86.67±0.88)a	(86.67±0.88)a	(13.86±0.59)a	(1.39±0.06)dc	(26.67±0.88)b	(83.33±0.58)a	(5.86±0.32)b	(1.06±0.06)c

其中,蒜瓣、蒜苗叶、茎、根在含量 ≤ 3 g/皿时对黄瓜种子的发芽势、发芽率和发芽指数都无显著影响,只有含量达到 5 g/皿时才表现出抑制效果。另外,大蒜不同品种不同部位对黄瓜种子活力指数的抑制强于其对种子萌发的影响。其中紫皮蒜和白皮蒜在含量 3 g/皿时对活力指数(鲜重/胚芽长)的抑制率分别为 15%/51%和 65%/71%;紫皮蒜蒜苗叶和茎对黄瓜种子活力指数的影响也弱于白蒜,在蒜苗叶组织含量为 1 g/皿时对黄瓜种子活力指数无影响,而白皮蒜蒜苗叶和茎在此含量下表现出显著的抑制效果。

2.2.2 大蒜浸提液对黄瓜种子萌发和生长的影响

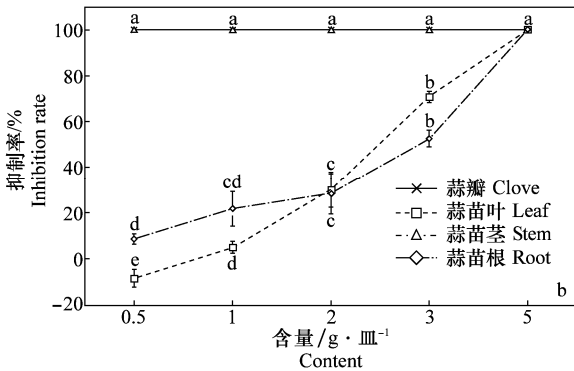
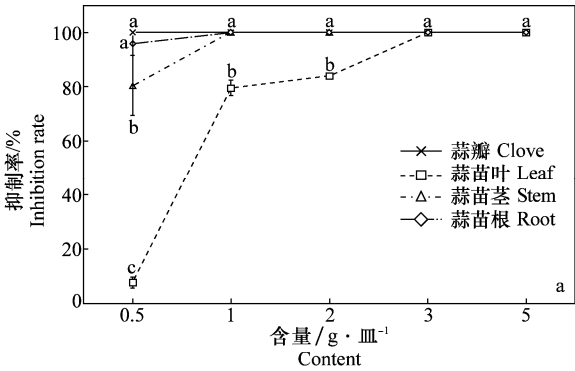
结果见表 2。紫皮蒜各部位不同浓度浸提液均对黄瓜种子萌发(发芽势、发芽率和发芽指数)无影响;而白皮蒜蒜苗叶和根也仅在最高浓度 250 mg/mL 时分别对黄瓜种子发芽率和发芽势产生显著抑制效果。同时,大蒜不同部位浸提液对黄瓜种子生长均表现出低浓度促进、高浓度抑制的效果:紫皮蒜和白皮蒜蒜瓣浸提液在浓度为 4.17 mg/mL 时黄瓜种子活力指数(鲜重/胚芽长)的增长率分别为 21%/20%和 53%/53%;紫蒜蒜苗叶、茎和根浸提液在浓

度 41.7 mg/mL 时表现出最大促生长作用,对黄瓜种子活力指数(鲜重/胚芽长)的增长率分别为 22%/75%、22%/21%和 25%/31%;而白蒜蒜苗叶、茎和根浸提液在低浓度并未表现出显著的促生长效果,只是在浓度 250 mg/mL 表现出对黄瓜种子活力指数(鲜重/胚芽长)的抑制现象。

2.3 大蒜不同组织挥发物和浸提液对 *P. melonis* 生长的影响

2.3.1 大蒜不同组织挥发物对 *P. melonis* 菌丝生长的影响

试验结果表明(图 3),大蒜不同组织的挥发物在较低浓度下对 *P. melonis* 菌丝生长就有较强的抑制作用,且随着挥发物的浓度增加抑菌效果进一步增强。其中,蒜瓣和蒜苗茎挥发物对菌丝生长的抑制效果最强,在含量仅为 0.5 g/皿时抑菌率(紫皮蒜/白皮蒜)分别达到了 100%/100%和 80%/100%。蒜苗叶和白皮蒜蒜苗根对菌丝生长则无显著的抑制效果。另外,紫皮蒜蒜苗根对 *P. melonis* 菌丝生长的抑制效果显著强于白皮蒜,在 1 g/皿时的抑制率比白皮蒜的抑制率高 78%。



a: 紫皮蒜挥发物对 *P. melonis* 的抑菌活性; b: 白皮蒜挥发物对 *P. melonis* 的抑菌活性。误差线表示均值的标准误差($n=3$)。差异显著性基于 ANOVA 检验 5% 水平。不同小写字母表示同一部位不同浓度大蒜挥发物对疫霉菌菌丝生长的抑制率具有显著性差异
a: Antibacterial activity of the volatiles from purple-skinned garlic; b: Antibacterial activity of the volatiles from white-skinned garlic. The error bars indicate standard error of means ($n=3$). Significant differences are analyzed by using ANOVA test. Different lowercase letters indicate significant difference in the inhibition activity of garlic volatiles against mycelial growth of *Phytophthora melonis* at different concentrations in the same tissue

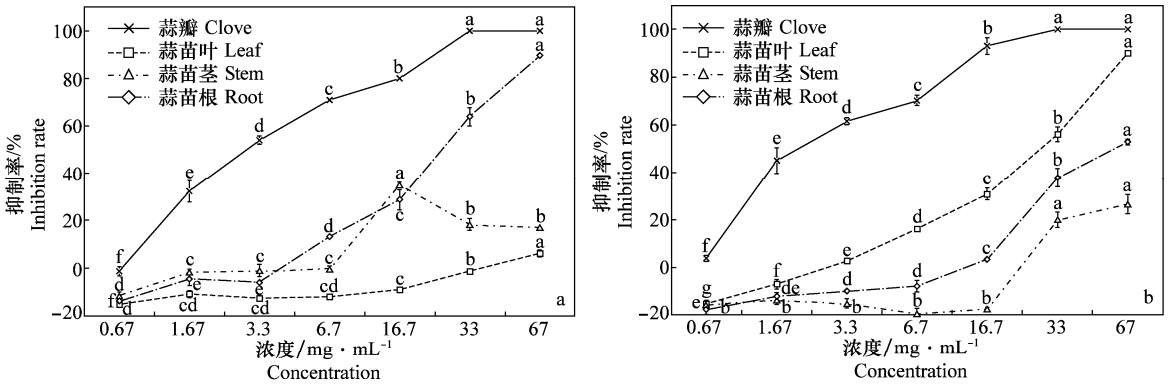
图 3 大蒜不同组织挥发物对 *Phytophthora melonis* 的抑菌活性

Fig. 3 The antibacterial activity of the volatiles from different tissues of garlic against *Phytophthora melonis*

2.3.2 大蒜不同组织浸提液对 *P. melonis* 菌丝生长的影响

试验结果表明(图 4),紫皮蒜和白皮蒜蒜瓣浸提液对 *P. melonis* 菌丝生长都具有很强的抑制活性,且随着浸提液浓度增加抑制活性逐渐增强,在浓度 6.7 mg/mL 时抑制率分别达到 71%和 70%。紫

皮蒜蒜苗根和白皮蒜蒜苗叶也能显著的抑制 *P. melonis* 菌丝生长,在浓度 33 mg/mL 时的抑制率分别为 64%和 56%。另外,白皮蒜苗茎、根对 *P. melonis* 菌丝生长的抑制较弱,在 67 mg/mL 的抑制率仅为 27%和 38%,紫皮蒜叶和茎对 *P. melonis* 菌丝生长没有显著影响。



a: 紫皮蒜浸提液对 *P. melonis* 的抑菌活性; b: 白皮蒜浸提液对 *P. melonis* 的抑菌活性。误差线表示均值的标准误差($n=3$)。差异显著性基于ANOVA 检验5%水平。不同小写字母表示同一部位不同浓度大蒜浸提液对疫霉菌菌丝生长的抑制率具有显著性差异
a: Antibacterial activity of the extracts from purple-skinned garlic; b: Antibacterial activity of the extracts from white-skinned garlic. The error bars indicate standard error of means ($n=3$). Significant differences are analyzed by suing ANOVA test. Different lowercase letters indicate significant difference in the inhibition activity of garlic extracts against mycelial growth of *Phytophthora melonis* at different concentrations in the same tissue

图 4 大蒜不同组织浸提液对 *Phytophthora melonis* 的抑菌活性

Fig. 4 The antibacterial activity of garlic extracts from different tissues against *Phytophthora melonis*

2.3.3 大蒜不同部位浸提液对 *P. melonis* 游动孢子的影响

试验结果表明(表 3),大蒜各部位浸提液都能有效抑制 *P. melonis* 游动孢子游动,其中蒜瓣浸提液对游动孢子游动的抑制最强,紫皮蒜瓣浸提液浓度为 0.125 mg/mL 时在 5 min 内即可以使 70%以上 *P. melonis* 游动孢子停止游动,抑制效果显著高于白皮蒜。白皮蒜瓣、蒜苗叶、蒜苗茎的浸提液浓度为 2.5 mg/mL 时在 5 min 内使 70%以上 *P. melonis* 游动孢子停止游动。

同时,大蒜各部位浸提液对 *P. melonis* 休止孢的萌发也有良好的抑制效果。其中蒜瓣浸提液的抑制效果最强,紫皮蒜和白皮蒜蒜瓣浸提液在 1.25 mg/mL 时能够完全抑制 *P. melonis* 休止孢的萌发。另外,紫皮蒜其他部位浸提液对 *P. melonis* 休止孢萌发的抑制效果要强于白皮蒜,在浸提液浓度为 2.5 mg/mL 时紫皮蒜蒜苗叶、茎和根的抑制率分别为 78%、94%和 94%,而白皮蒜在相同浓度下只有蒜苗茎浸提液能够抑制 *P. melonis* 休止孢萌发(抑制率 51%),蒜苗叶和根浸提液还会促进休止孢的萌发。

表 3 大蒜不同部位浸提液对 *Phytophthora melonis* 游动孢子休止的影响¹⁾

Table 3 Effects of extracts of different garlic tissues on the zoospores of *Phytophthora melonis*

浓度/mg·mL ⁻¹ Concentration	紫皮蒜 Purple-skinned garlic				白皮蒜 White-skinned garlic			
	蒜瓣 Clove	叶 Leaf	茎 Stem	根 Root	蒜瓣 Clove	叶 Leaf	茎 Stem	根 Root
12.500	—	+	—	+	—	+	+	++
2.500	+	++	+	+	+	+	+	++
1.250	+	++	+	+	++	++	+	++
0.250	+	++	++	++	++	++	++	++
0.125	+	+++	++	++	++	++	++	++++
0.025	++	+++	++	++	++	+++	++	++++
0.000	++	+++	++	+++	+++	+++	++	++++

1) —为全部游动孢子静止;+为 70%以上游动孢子静止;++为 30%~70%的游动孢子静止;+++为 30%以下的游动孢子静止;++++为没有游动孢子静止。
—: All zoospores are stationary;+: More than 70% of the zoospores are stationary;+: 30%—70% of the zoospores are stationary;+: Less than 30% of the zoospores are stationary;++++: No zoospores are stationary.

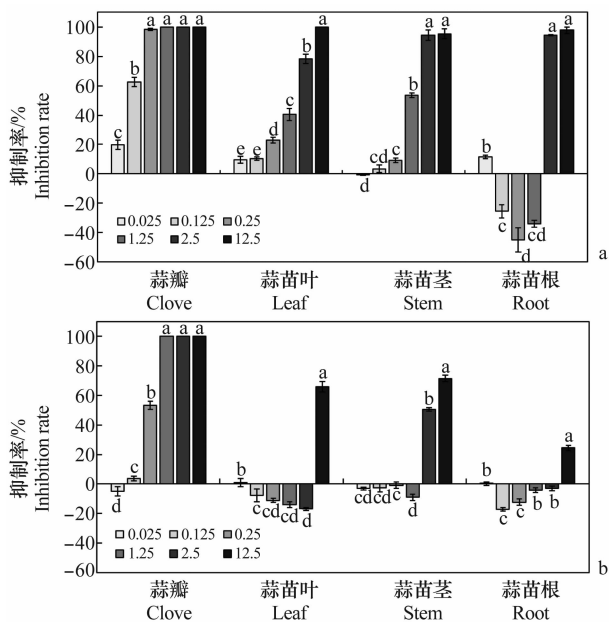
3 结论与讨论

3.1 研究结论

大蒜/大蒜秸秆和黄瓜轮作可以有效地减轻黄

瓜疫病的发生。其中大蒜残留组织分解产生的挥发物和浸提液对 *P. melonis* 生长的抑制作用可能是轮作控病的重要原因,同时大蒜挥发物和浸提液还能有效抑制 *P. melonis* 游动孢子游动和休止孢萌发,

这一过程能够干扰黄瓜疫病的传播和发生。本研究为生产上利用黄瓜和大蒜轮作降低黄瓜疫病在田间的传播,降低化学农药的使用量,实现病害的生态防控供了理论依据。



a: 紫皮蒜浸提液; b: 白皮蒜浸提液。误差线表示均值的标准误($n=3$)。差异显著性基于ANOVA检验5%水平,不同小写字母表示大蒜同一部位不同浓度浸提液对疫霉菌游动孢子萌发的抑制率具有显著性差异

a: Purple-skinned garlic extracts; b: White-skinned garlic extracts. The error bars indicate standard error of means ($n=3$). Significant differences are analyzed by using ANOVA test. Different lowercase letters indicate significant difference in the inhibition rate against germination of *Phytophthora melonis* zoospores by garlic extracts among different concentrations in the same tissue

图5 大蒜不同部位浸提液对 *Phytophthora melonis* 游动孢子萌发的影响

Fig. 5 The effects of extracts of different garlic tissues on the germination of *Phytophthora melonis* zoospores

3.2 讨论与展望

生产实践表明,生物多样性种植是减轻土传病害的有效方法之一^[21]。轮作是从时间上利用生物多样性的种植模式,轮作对土传病害、叶部病害、线虫病害具有较好的防治效果。本研究的结果表明,黄瓜单作时黄瓜疫病发病率达到42.28%,与大蒜轮作或者将大蒜秸秆还田后发病率分别降低至35.89%和29.80%,因此,利用大蒜及大蒜秸秆与黄瓜轮作能够有效控制黄瓜疫病的发生。其他人的研究也表明,前茬作物选择洋葱、大蒜、葱等作物时,后茬作物病害比如马铃薯晚疫病和辣椒疫病的发生和危害显著减轻^[22]。金扬秀等发现大蒜与瓜类轮作能够显著减轻瓜类枯萎病的危害^[19]。大蒜与烤烟轮作对烟草黑胫病也有良好的防治效果^[8]。由此可见,采用具备强化感效应的植物与农作物轮作能

够有效控制土传病害的发生。

化感作用是植物通过向环境释放化学物质而对其他植物(包括微生物)产生有益作用、伤害作用以及自毒作用,释放出来的化学物质被称作化感物质。化感物质主要通过地上部挥发、雨雾淋溶、根分泌、残渣降解等途径进入环境中。轮作中前茬植物通过残体挥发物和浸提液抑制土壤中病原菌的生长,减轻后茬植物病害的发生^[23]。本研究发现,大蒜挥发物和浸提液都能显著抑制 *P. melonis* 菌丝生长,其中蒜瓣抑菌效果最强。大蒜是一种具有较强化感作用的物质,大蒜素、大蒜鳞茎水提液以及大蒜植株水提液均可通过使病菌孢子变形、孢壁或分生孢子梗破裂,内含物外渗而使蔬菜上常见病害的病原菌失去活力,对其产生明显的抑制作用。大葱提取物对植物土传病害例如番茄枯萎病菌、水稻纹枯病菌、番茄黄萎病菌和茄根腐疫病菌的菌丝生长具有不同程度的抑菌活性,对这些病原菌引起的病害也有较好的防治效果^[24-26]。同时,在本研究中,大蒜各部位浸提液还能有效抑制 *P. melonis* 游动孢子游动和休止孢萌发。疫霉属卵菌通过游动孢子搜索寄主,并转化为休止孢萌发后侵染寄主,这一过程对于疫病发生和传播非常重要。周清等的研究发现大蒜素对辣椒疫霉游动孢子的萌发有抑制作用^[27];廖静静等的研究也表明,大蒜浸提液对辣椒疫霉游动孢子的游动具有显著的影响^[28]。因此,大蒜残体挥发物和浸提液对 *P. melonis* 的抑制效果可能是大蒜-黄瓜轮作降低疫病发生的重要原因。

董林林等的研究结果表明,20 mg/mL 浓度范围内的大蒜鳞茎浸提液对黄瓜生长有益,但当浓度为40 mg/mL 时,浸提液对黄瓜发芽率、苗高、根长的抑制作用显著^[29]。刘素慧等研究表明大蒜秸秆水浸液对番茄、辣椒和黄瓜具有有利的化感作用,但同时同属作物具有有害的化感作用^[30]。本研究也证明,大蒜挥发物和浸提液在低浓度时对黄瓜种子的萌发无显著抑制效果,但在中高浓度(挥发物 ≥ 3 g/皿或浸提液=250 mg/mL)时会表现出延缓生长的现象,因此,在生产中应当制定合理的轮作体系,尽可能地避免化感植物的有害影响并充分利用其有益价值。

综上所述,大蒜能够成为有益的前茬作物,主要源于两个方面,一是大蒜的化感物质对病原菌 *P. melonis* 的各个阶段有较强的抑制作用,二是大蒜的化感物质在低浓度下对黄瓜等蔬菜有促生作用。因此,大蒜可以作为前茬有益化感作物控制黄瓜疫病。

参考文献

[1] ZHU Youyong, CHEN Hairu, FAN Jinghua, et al. Genetic diversity and disease control in rice [J]. Nature, 2000, 406 (6797): 718.

[2] 朱有勇. 农业生物多样性控制作物病虫害的效应原理与方法 [M]. 北京:中国农业大学出版社, 2012: 305.

[3] WANG Ying, REN Zhong, ZHENG Xiaobo, et al. Detection of *Phytophthora melonis* in samples of soil, water, and plant tissue with polymerase chain reaction [J]. Canadian Journal of Plant Pathology, 2007, 29(2): 172–181.

[4] 张存英. 黄瓜疫病及防治[J]. 北方园艺, 2006(5): 131.

[5] SCHOOFS A, ENTZ M H, VAN A R C, et al. Agronomic performance of pesticide free production under two crop rotations [J]. Renewable Agriculture & Food Systems, 2005, 20 (2): 91–100.

[6] 梁春启, 甄文超, 张承胤, 等. 玉米秸秆腐解液中酚酸的检测及对小麦土传病原菌的化感作用[J]. 中国农学通报, 2009, 25 (2): 210–213.

[7] ICIEK M, KWIECIEŃ I, WŁODEK L. Biological properties of garlic and garlic-derived organosulfur compounds [J]. Environmental & Molecular Mutagenesis, 2010, 50(3): 247–265.

[8] 钊有聪, 张立猛, 焦永鸽, 等. 大蒜与烤烟轮作对烟草黑胫病的防治效果及作用机理初探[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(5): 55–62.

[9] 张敬德, 周丽娟. 蔬菜病虫害防治技术[J]. 吉林农业, 2009(19): 32–33.

[10] 张百俊, 王广印, 陈英照. 大蒜浸提液对西葫芦种子活力及幼苗生长的影响[J]. 河南农业大学学报, 2005, 39(1): 63–65.

[11] DONG L L, HAO Z P, ZUO Y M, et al. Effects of garlic bulb aqueous extract on cucumber seedlings, soil microbial counts, and enzyme activities[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 2012, 43(22): 2888–2896.

[12] 周艳丽, 程智慧, 孟焕文. 大蒜根系分泌物对不同受体蔬菜的化感作用[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 81–86.

[13] 周艳丽, 程智慧, 孟焕文, 等. 大蒜根系水浸液及根系分泌物的化感作用评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(10): 87–92.

[14] 程智慧, 佟飞, 金瑞. 大蒜秸秆水浸液的抑菌作用和抑菌成分初步分析[J]. 西北植物学报, 2008, 28(2): 324–330.

[15] 王春会, 程智慧, 牛青, 等. 大蒜植株超声波浸提液对不同受体蔬菜的化感作用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(7): 103–109.

[16] HAN Xu, CHENG Zhihui, MENG Huanwen. Soil properties, nutrient dynamics, and soil enzyme activities associated with garlic stalk decomposition under various conditions [J/OL]. PLoS ONE, 2012, 7(11): e50868.

[17] HAN Xu, CHENG Zhihui, MENG Huanwen. Growth of wheat and lettuce and enzyme activities of soils under garlic stalk decomposition for different durations [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2017, 97(9): 2727–2735.

[18] 赖荣泉, 曾文龙, 江桂花, 等. 大蒜乙醇提取物对烟草青枯病及普通花叶病的控制作用初报[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2011, 26(2): 284–287.

[19] 金扬秀, 谢关林, 孙祥良, 等. 大蒜轮作与瓜类枯萎病发病的关系[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2003, 21(1): 9–12.

[20] 陈志杰, 张锋, 张淑莲, 等. 温室黄瓜根结线虫病非化学防治技术研究初报[J]. 中国农学通报, 2008, 24(1): 367–370.

[21] KRUPINSKY J M, BAILEY K L, MCMULLEN M P, et al. Managing plant disease risk in diversified cropping systems [J]. Agronomy Journal, 2002, 94(2): 198.

[22] ERIC BLOCK. 神奇的葱蒜——传说与科学[M]. 唐岑, 译. 北京: 化学工业出版社, 2017: 343.

[23] HANSEN Z R, KEINATH A P. Increased pepper yields following incorporation of biofumigation cover crops and the effects on soilborne pathogen populations and pepper diseases [J]. Applied Soil Ecology, 2013, 63(1): 67–77.

[24] 宋兴舜, 宋凤杰, 于广建. 大蒜素对番茄三种真菌病害的影响[J]. 东北农业大学学报, 2004, 35(4): 395–398.

[25] 林辰壹, 郑成锐, 程智慧. 大蒜鳞茎提取液对黄瓜 2 种种传病害的抑制及化感作用研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(10): 140–144.

[26] 佟飞, 程智慧, 金瑞, 等. 大蒜植株水浸液醇溶成分的化感作用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(6): 119–124.

[27] 周清, 李保同, 汤丽梅. 大蒜素对辣椒炭疽病和辣椒疫病病菌的室内抑制活性测定及田间防效研究[J]. 草业学报, 2014, 23 (3): 262–268.

[28] 廖静静, 刘屹湘, 杨敏, 等. 大蒜挥发物和浸提液对辣椒疫霉菌的抑菌活性分析[J]. 云南农业大学学报, 2014, 29(3): 337–346.

[29] 董林林, 李振东, 王倩. 大蒜鳞茎浸提液对黄瓜幼苗的化感作用[J]. 华北农学报, 2008, 23(S2): 47–50.

[30] 刘素慧, 徐金强, 刘庆涛, 等. 大蒜秸秆水浸液化感作用的研究[J]. 北方园艺, 2015(9): 10–13.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 105 页)

[20] 秦虎强, 高小宁, 韩青梅, 等. 油菜菌核病发生流行与菌源量、气候因子关系分析及病情预测模型的建立[J]. 植物保护学报, 2018, 45(3): 496–502.

[21] 颜学海, 邓元宝, 韩冬, 等. 西南地区稻瘟病菌群体遗传多样性分析[J]. 植物保护学报, 2016, 43(4): 537–543.

[22] KEMP P F, ALLER J Y. Bacterial diversity in aquatic and other environments: what 16S rDNA libraries can tell us [J].

FEMS Microbiology Ecology, 2004, 47(1): 161–177.

[23] 王大平, 李道高. 夏橙绿斑病的病原鉴定及其生长特性研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(6): 288–291.

[24] 王大平, 叶宝兴. 夏橙绿斑病病理机制的解剖学研究[J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 2090–2095.

(责任编辑: 杨明丽)