

韭菜和辣椒间作对辣椒疫病的防治效果及其化感机理

江冰冰¹ 张 彧¹ 郭存武¹ 杨翠枝² 朱书生^{1*} 杨 敏^{1*}

(1. 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; 2. 云南省大理州宾川县植保植检站, 宾川 671600)

摘要: 为明确韭菜和辣椒间作对辣椒疫病的防治效果及其化感机理, 比较了韭菜和辣椒不同行比间作对辣椒疫病的防治效果, 测定了韭菜茎、叶挥发物与浸提液对辣椒疫霉菌的抑制作用, 并分析了韭菜根系对辣椒疫霉菌游动孢子侵染和传播行为的影响。结果表明, 韭菜与辣椒行比为 3:1 间作能显著控制辣椒疫病的扩展与传播; 2.0 g/皿韭菜茎挥发物及 0.15 mL/mL 茎浸提液对辣椒疫霉菌菌丝生长的抑制活性可达 33.33% 和 88.75%; 辣椒疫霉菌游动孢子对韭菜根系具有明显的趋化活性, 且于根围迅速休止并萌发, 丧失在土壤中继续寻找寄主的能力, 其传播侵染行为受到干扰。研究表明, 韭菜和辣椒间作可以有效控制辣椒疫病的扩展蔓延, 实现对辣椒疫病的生态防控。

关键词: 韭菜; 辣椒疫病; 化感作用; 挥发物; 浸提液

Control effects and allelopathic mechanism of pepper and Chinese chives intercropping on pepper *Phytophthora* blight

Jiang Bingbing¹ Zhang Yu¹ Guo Cunwu¹ Yang Cuizhi² Zhu Shusheng^{1*} Yang Min^{1*}

(1. State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-Resources in Yunnan, Key Laboratory for Agro-Biodiversity and Pest Control of Ministry of Education, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, Yunnan Province, China;
2. Binchuan Plant Protection and Quarantine Station, Binchuan 671600, Yunnan Province, China)

Abstract: To study the control effect and allelopathic mechanism of pepper and Chinese chives intercropping on pepper *Phytophthora* blight, the control effect of intercropping pepper and Chinese chives were determined, the inhibitory activities of Chinese chives stem and leaf volatiles and extracts to *Phytophthora capsici* were tested, and the effect of Chinese chives root on infection and spread of *P. capsici* zoospores were analyzed. The results showed that intercropping two or three lines of Chinese chives with one line of pepper could significantly control the spread of pepper *Phytophthora* blight. When the concentration of Chinese chives stem volatiles was 2.0 g/petri and the stem extracts was 0.15 mL/mL, the inhibition rate of mycelium growth reached 33.33% and 88.75%, respectively. The zoospores of *P. capsici* showed obviously chemotropic activity to Chinese chives root. After reached rhizosphere, zoospores quickly stopped, and then encysted into cystospores to germinate. Thus, zoospores lost their ability to spread in the soil and infect host. Chinese chives intercropped with pepper could effectively control pepper *Phytophthora* blight.

Key words: Chinese chives; pepper *Phytophthora* blight; allelopathy; volatiles; extracts

辣椒疫病是由辣椒疫霉菌 *Phytophthora capsici* 产造成毁灭性的危害(周启明和李林英, 1980; 李海燕等, 2002)。当外界条件适宜时, 在露地或保护地 Leonian 侵染引起的一种土传卵菌病害, 可对辣椒生

基金项目: 国家自然科学基金(31260447), 云南农业大学自然科学基金(2015ZR01)

* 通讯作者(Authors for correspondence), E-mail: yangminsenc@126.com, shushengzhu79@126.com, Tel: 0871-65220591

收稿日期: 2015-04-28

均会发生辣椒疫病,严重时发病率可达 80% 以上(关天舒等,1999),最终导致辣椒种植区大面积绝收(易图永等,2002)。因此,辣椒疫病已成为辣椒生产的主要限制因素之一,当前防治措施包括选用抗病品种、药剂防治、生物防治和轮作等(王志田等,1993)。但由于辣椒疫病寄主范围广、卵孢子在土壤中存活时间长,给该病的防治带来了极大的困难,目前,作物间作和轮作是控制辣椒疫病最经济有效的措施(Yang et al., 2014)。

作物间作和轮作控制病害的主要原理就是利用作物与病原菌之间的化感效应,很多植物挥发的、根系分泌及组织降解释放的化合物均具有抑菌活性(Kennedy & Smith, 1995; Janvier et al., 2007)。生产上尤以葱属 *Allium* 作物(蒜、葱、洋葱、韭菜等)与其它作物间作或轮作对尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum*、立枯丝核菌 *Rhizoctonia solani* 等病原真菌引起的土传病害的防治效果为好(金扬秀等, 2003; Bekele & Sommartya, 2006; Zewde et al., 2007)。张伟等(2013)认为葱属植物的挥发物和浸提液对大多数植物病原真菌和卵菌均具有较强的抑制作用,可能与其中含有蒜素类含硫化合物有关。

韭菜能释放多种挥发性物质(Block et al., 1992; Pino et al., 2001),如二甲基二硫、二甲基三硫、甲基甲烷硫代磺酸盐、二甲基酯硫磺酸、杂环化合物以及角鲨烯和阿魏酸甲酯等抑菌活性物质(吴莉和张平, 2005; 冯岩等, 2011; 崔倩等, 2014)。已有研究表明,韭菜与香蕉轮作可明显降低香蕉枯萎病的发生(黄永红等, 2011a, b),且其浸提液对许多植物病原真菌均具有一定的抑制活性(贾江斌等, 1999; 何衍彪等, 2005)。但是,生产上利用韭菜的抑菌特性来防治卵菌病害还未见报道,其控病机理更鲜有研究。

因此,本试验在温室条件下研究了韭菜和辣椒间作对辣椒疫病的防治效果,采用菌丝生长速率法测定了韭菜挥发物及其浸提液对辣椒疫霉菌菌丝生长的抑制活性,通过根系与游动孢子互作分析装置研究了韭菜根系对游动孢子侵染和传播行为的影响,旨在阐明韭菜与辣椒间作控制辣椒疫病的机理,为土传卵菌病害的生态防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试作物及菌株:韭菜品种为细叶韭菜,辣椒品种为线椒 8819,均购于市场,于 2013 年 3 月播种于

80 cm × 60 cm × 20 cm 的长方形塑料盆中,在温度为 18 ~ 25℃、相对湿度为 40% ~ 60%、光周期为 L:D 为 12 h:12 h 的温室中培养,常规水肥管理。生长 4 ~ 5 周后移栽。辣椒疫霉菌由本实验室分离自田间发病辣椒植株,于 25℃ 恒温箱中培养。

培养基及土壤:胡萝卜培养基(carrot agar medium, CA):胡萝卜 200 g、琼脂粉 20 g,去离子水定容至 1 L。所用土壤按稻田土与有机质 6:4 的比例混匀后经 160℃ 高温灭菌 4 h 后备用。

仪器:Serial No. 09-16434 干热灭菌箱,德国 Binder 公司;DM2000 型显微镜,德国 Leica 公司;SLI-700 恒温培养箱,中国上海爱朗仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 韭菜与辣椒间作对辣椒疫病控制效果的测定

试验在云南农业大学工程中心温室内进行。采用随机区组设计,共设 6 个处理,即辣椒单作 3 个处理,株距均为 5 cm,行距分别为 20、25 和 30 cm,分别作为 3 种不同行距韭菜间作模式的对照,即 CK 1:1、CK 1:2 和 CK 1:3;辣椒与韭菜间作 3 个处理,即行比分别为 1:1、1:2 和 1:3,株距均为 5 cm,辣椒与韭菜的行距均为 10 cm,韭菜与韭菜的行距均为 5 cm。每个处理 3 次重复,共 18 个种植小区,每个小区大小为 80 cm × 60 cm。试验于 4 月 2 日选用健康的辣椒和韭菜植株进行移栽。

将供试菌株接种在 CA 培养基上于 25℃ 恒温培养箱中培养 7 d 后,用适量无菌水洗脱孢子囊,置于 4℃ 下 20 min 诱导游动孢子释放,制备成游动孢子悬浮液,并将其浓度调节为 1×10^6 个/mL 备用。

4 月 22 日待辣椒长至 3 片真叶期,采用游动孢子悬浮液灌根接种法,将浓度为 1×10^6 个/mL 游动孢子悬浮液灌根接种在辣椒苗根部,接种剂量为 1 mL/株,接种后每 5 d 观察记录接种行和指示行(包括左边行和右边行)辣椒的发病情况。

1.2.2 韭菜挥发物对辣椒疫霉菌抑制活性的测定

将辣椒疫霉菌在 CA 培养基上培养 5 d 后,用直径为 0.5 cm 打孔器沿菌落边缘打取菌饼。将韭菜茎、叶分别洗净,用 1.5% NaClO 表面消毒 3 min 后,在超净工作台中切成 1 cm × 1 cm 的小块,然后置于灭菌培养皿盖中,在 CA 平板中央接种辣椒疫霉菌菌饼,随后将培养皿用封口膜密封后倒置放于 25℃ 恒温箱内培养。试验分为 3 个处理,分别为在培养皿盖上放入 0.5、1.0、2.0 g 韭菜组织,以不放韭菜组织作为空白对照。每个处理 4 次重复。

1.2.3 韭菜浸提液对辣椒疫霉菌抑制活性的测定

将韭菜茎、叶分别洗净晾干,各称取 30 g 并加入等量无菌水,在无菌研钵中捣碎研磨成浆后浸提 3 h,用 4 层纱布过滤,滤液经 12 000 r/min、4℃ 离心 30 min,上清液用 0.22 μm 滤膜过滤后备用。

分别取制备好的韭菜组织浸提液 1.8、4.5、9.0 mL 于 100 mL 无菌三角瓶中,加入冷却至 40℃ 的灭菌 CA 培养基定容至 60 mL,配制成 0.03、0.075、0.15 mL/mL 不同浓度含韭菜组织浸提液的培养基,混合均匀后制成平板。每个处理 4 次重复。

将辣椒疫霉菌在培养基上培养 5 d 后,用直径为 0.5 cm 的打孔器沿菌落边缘打取菌饼。将供试菌饼接种于含有韭菜浸提液的平板中央,以无浸提液平板作空白对照,置于 25℃ 恒温培养箱中培养。培养 5 d 后,待空白对照菌落长到培养皿的 2/3 时,用十字交叉法测量菌落生长直径,计算抑制率。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%。

1.2.4 韭菜根系与辣椒疫霉菌游动孢子互作分析

根际游动孢子行为特征观察装置参照张立猛等 (2015) 方法制作。用直径 1 mm 的毛细管制成 U 形管并置于载玻片上,用盖玻片盖上形成 1 个一端开口的长 50 mm × 宽 25 mm × 高 1 mm 的槽。测定时在槽中加入 1×10^6 个/mL 的游动孢子悬浮液,将无损伤韭菜根系直接插入开口端,镜检根围的孢子分布情况,分别在 5、10、15、20 min 时拍照记录 1 次,

并计算不同时间的趋化指数 (chemotactic rate, CR), 确定辣椒疫霉菌对韭菜根系的趋化性, $CR = \text{处理孢子总量} / \text{对照孢子总量}$, 当 $CR > 1$ 时表示吸引增多趋势, 当 $CR < 1$ 时表示排斥增多趋势。同时观察游动孢子在根围的游动、休止和萌发情况, 每处理 3 次重复, 每重复观察 100 个孢子, 并计算休止率和萌发率。游动孢子休止率 = 休止孢子数 / 观察孢子总量 × 100%; 休止孢萌发率 = 萌发孢子数 / 观察孢子总量 × 100%。以插入封口的直径 1 mm 毛细管作对照。

1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 18.0 软件进行统计分析, 应用 Duncan 氏新复极差法和独立样本 t 测验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 辣椒和韭菜间作对辣椒疫病的控制效果

2.1.1 间作对辣椒疫病在接种行纵向扩展的影响

辣椒与韭菜行比 1:1 间作对辣椒疫病在行内的传播无明显抑制作用; 韭菜和辣椒按行比 2:1 和 3:1 间作后, 辣椒疫病在行内的传播在 6 月 11 日前均无显著差异, 随着时间的延长, 对照处理接种行辣椒疫病发病率急剧上升, 达 91.11%, 而韭菜与辣椒间作处理中辣椒疫病在行内的扩展较缓慢, 发病率在 60.89% ~ 73.04% 之间, 显著低于对照处理 (表 1)。表明辣椒和韭菜间作对辣椒疫病在行内扩展具有一定的抑制作用。

表 1 韭菜与辣椒间作对辣椒疫病在接种行发病率的影响

Table 1 Effect of pepper intercropping with Chinese chives on the spread of pepper *Phytophthora* blight in the inoculation line

%

日期 Date	辣椒单作 Pepper monoculture			辣椒与韭菜不同行比间作 Pepper and Chinese chives intercropping in different patterns		
	CK 1:1	CK 1:2	CK 1:3	1:1	1:2	1:3
4-27	2.78 ± 1.61 a	3.34 ± 1.93 a	0.00 ± 0.00 a	5.10 ± 5.10 a	2.22 ± 2.22 a	7.25 ± 3.66 a
5-02	12.34 ± 2.50 bc	6.67 ± 3.85 c	4.35 ± 0.70 c	21.83 ± 2.63 a	17.67 ± 1.45 ab	16.65 ± 2.50 ab
5-07	15.11 ± 4.10 ab	10.00 ± 5.77 ab	7.47 ± 1.10 b	21.83 ± 2.63 a	19.34 ± 3.50 a	16.65 ± 2.42 ab
5-12	15.11 ± 4.10 ab	13.33 ± 7.70 ab	7.47 ± 1.10 b	23.79 ± 3.75 a	24.56 ± 1.37 a	19.37 ± 4.23 ab
5-17	15.11 ± 4.10 ab	13.33 ± 7.70 ab	9.03 ± 2.00 b	24.38 ± 3.91 a	24.56 ± 1.37 a	19.37 ± 4.23 ab
5-22	15.11 ± 4.10 bc	13.34 ± 7.70 bc	9.03 ± 2.00 c	36.93 ± 5.89 a	25.11 ± 1.56 ab	19.37 ± 4.23 bc
5-27	17.89 ± 5.71 b	20.00 ± 5.77 ab	16.85 ± 0.74 b	45.59 ± 5.43 a	26.22 ± 2.32 a	42.70 ± 6.22 ab
6-01	27.89 ± 0.06 b	25.56 ± 8.34 b	38.03 ± 0.78 ab	49.51 ± 2.35 a	36.22 ± 3.47 ab	46.61 ± 5.81 a
6-06	45.45 ± 3.78 a	55.56 ± 6.42 a	53.47 ± 5.21 a	55.39 ± 5.29 a	44.22 ± 2.99 a	49.95 ± 2.67 a
6-11	85.22 ± 5.32 a	70.56 ± 5.45 ab	61.81 ± 0.40 bc	61.28 ± 8.17 bc	48.22 ± 6.02 c	58.86 ± 3.14 bc
6-16	94.00 ± 3.46 a	76.11 ± 2.25 bc	85.42 ± 1.20 ab	65.20 ± 10.12 cd	54.22 ± 4.93 d	61.89 ± 5.79 cd
6-21	96.00 ± 2.31 a	83.34 ± 1.93 ab	89.76 ± 0.50 ab	71.08 ± 13.26 bc	57.56 ± 1.67 c	63.85 ± 4.45 c
6-26	100.00 ± 0.00 a	91.11 ± 1.28 ab	100.00 ± 0.00 a	73.04 ± 14.60 bc	60.89 ± 1.87 c	63.85 ± 4.45 c

表中数据为平均数 ± 标准误。同行不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are

mean $\pm$ SE. Different letters in the same row indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.1.2 间作对辣椒疫病跨行传播的影响

韭菜与辣椒间作对辣椒疫病的跨行传播具有显著的抑制效果,且抑制作用随着间作韭菜行数增加而增强(表2)。在对照处理中,辣椒疫病在5月27日就可以跨行传播到指示行,而在韭菜和辣椒的间作处理中,跨行传播的时间推后至6月6日,且发病

率显著低于对照。韭菜和辣椒不同的行比间作模式下,1:1间作模式可以有效控制辣椒疫病的跨行传播;但当间作韭菜增加到2~3行时,辣椒疫病扩展到指示行时发病率显著降低。因此在辣椒韭菜间作控制辣椒疫病的体系中,可以采用2~3行韭菜间作1行辣椒的模式以达到控制辣椒疫病的效果。

表2 韭菜与辣椒间作对辣椒疫病跨行传播的影响

Table 2 Effect of pepper intercropping with different lines of Chinese chives on the spread of pepper *Phytophthora* blight

日期 Date	左边行 Left line						右边行 Right line						%
	CK 1:1	CK 1:2	CK 1:3	1:1	1:2	1:3	CK 1:1	CK 1:2	CK 1:3	1:1	1:2	1:3	
5-27	0.00 $\pm$ 0.00 a	0.00 $\pm$ 0.00 a	0.00 $\pm$ 0.00 a	0.00 $\pm$ 0.00 a	0.00 $\pm$ 0.00 a	0.00 $\pm$ 0.00 a	0.00 $\pm$ 0.00 b	5.00 $\pm$ 2.89 ab	9.09 $\pm$ 5.25 a	0.00 $\pm$ 0.00 b	0.00 $\pm$ 0.00 b	0.00 $\pm$ 0.00 b	
6-01	0.00 $\pm$ 0.00 a	0.00 $\pm$ 0.00 a	0.00 $\pm$ 0.00 a	0.00 $\pm$ 0.00 a	0.00 $\pm$ 0.00 a	0.00 $\pm$ 0.00 a	2.94 $\pm$ 1.70 bc	10.00 $\pm$ 5.77 b	38.64 $\pm$ 0.53 a	2.73 $\pm$ 2.73 bc	2.78 $\pm$ 2.78 bc	0.00 $\pm$ 0.00 c	
6-06	28.13 $\pm$ 1.08 a	1.68 $\pm$ 1.68 b	6.22 $\pm$ 4.52 b	4.51 $\pm$ 2.93 b	2.22 $\pm$ 2.22 b	0.00 $\pm$ 0.00 b	8.94 $\pm$ 1.77 bc	13.13 $\pm$ 3.97 b	53.13 $\pm$ 1.80 a	7.17 $\pm$ 3.88 bc	2.78 $\pm$ 2.78 c	3.03 $\pm$ 3.03 c	
6-11	46.88 $\pm$ 7.58 a	2.50 $\pm$ 1.44 b	12.88 $\pm$ 4.84 b	10.09 $\pm$ 2.12 b	2.22 $\pm$ 2.22 b	0.00 $\pm$ 0.00 b	34.94 $\pm$ 0.54 b	23.34 $\pm$ 9.62 bc	53.13 $\pm$ 1.80 a	10.50 $\pm$ 5.44 cd	2.78 $\pm$ 2.78 d	3.03 $\pm$ 3.03 d	
6-16	52.09 $\pm$ 10.34 a	11.07 $\pm$ 2.27 bc	22.89 $\pm$ 13.95 bc	26.01 $\pm$ 5.00 b	2.22 $\pm$ 2.22 bc	0.00 $\pm$ 0.00 c	48.71 $\pm$ 0.41 ab	40.63 $\pm$ 5.41 b	56.25 $\pm$ 3.61 a	13.53 $\pm$ 7.87 c	2.78 $\pm$ 2.78 c	3.03 $\pm$ 3.03 c	
6-21	54.17 $\pm$ 9.14 a	35.72 $\pm$ 0.82 b	52.78 $\pm$ 1.61 ab	44.54 $\pm$ 7.64 ab	7.22 $\pm$ 4.94 c	2.78 $\pm$ 2.78 c	70.59 $\pm$ 0.34 a	60.00 $\pm$ 5.77 a	65.63 $\pm$ 9.02 a	17.45 $\pm$ 4.93 b	6.11 $\pm$ 3.03 b	3.03 $\pm$ 3.03 b	
6-26	62.50 $\pm$ 9.96 bc	88.93 $\pm$ 2.27 a	72.78 $\pm$ 7.54 ab	52.01 $\pm$ 5.65 c	10.25 $\pm$ 3.42 d	6.11 $\pm$ 1.18 d	70.59 $\pm$ 0.34 a	75.63 $\pm$ 3.24 a	75.00 $\pm$ 14.43 a	27.44 $\pm$ 4.01 b	6.11 $\pm$ 3.09 c	3.03 $\pm$ 3.03 c	

CK 1:1、CK 1:2和CK 1:3: 分别表示辣椒以行距20、25、30 cm单作;1:1、1:2和1:3: 分别表示辣椒和韭菜间作行比。表中数据为平均数 $\pm$ 标准误。同行不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。CK 1:1, CK 1:2, CK 1:3: Pepper monoculture with 20, 25, 30 cm row spacing; 1:1, 1:2, 1:3: pepper and Chinese chives intercropping with different row spacing. Data are mean $\pm$ SE. Different letters in the same row indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.2 韭菜挥发物及浸提液对辣椒疫霉菌的抑制活性

韭菜茎、叶挥发物在低浓度时对辣椒疫霉菌菌丝生长无明显抑制活性,反而表现出一定程度的促进作用;当茎叶挥发物达到2.0 g/皿时,对辣椒疫霉菌菌丝生长均具有较强的抑制活性,韭菜茎挥发物的抑制率可达33.33%,韭菜叶挥发物的抑制率为29.57%(图1-A)。韭菜茎浸提液对辣椒疫霉菌的抑制活性高于叶片,其抑制活性随着浓度的增加而增强,在最高浓度0.15 mL/mL下抑制率可达到88.75%。韭菜叶浸提液的抑制活性在低浓度下可促进辣椒疫霉菌菌丝生长,但当浓度达0.15 mL/mL时对辣椒疫霉菌的抑制率可达68.43%(图1-B)。

2.3 韭菜根系对辣椒疫霉菌游动孢子行为的影响

显微观察结果表明,辣椒疫霉菌游动孢子对韭菜根部具有明显的趋化性,随着互作时间的延长CR

显著增加,但10 min之后增加不显著,表明游动孢子在朝着根系聚集(图2-A)。随后游动孢子开始在根系周围休止,韭菜根系周围游动孢子的休止率显著高于对照,互作20 min后根系周围的游动孢子休止率可达89.83%,而对照处理中游动孢子休止率仅为35.33%(图2-B)。韭菜根系还能促进休止孢子的萌发,互作20 min后孢子的萌发率可达69.83%,而对照萌发率仅为12.33%(图2-C)。

3 讨论

利用生物多样性控制作物病害的研究由来已久,许多植物在生长过程中会通过挥发、根系分泌或地上部淋溶(Kennedy & Smith, 1995; Rabinkov et al., 1998; Singh & Nagaich, 2000)等方式释放一些物质,从而对周围的植物或微生物产生影响(Janvier et

al., 2007; Zewde et al., 2007)。本研究结果表明, 利用韭菜和辣椒间作可以有效控制辣椒疫病跨行传播, 其控制作用随着间作韭菜行数的增加而增加。Yang et al. (2014) 研究认为, 玉米和辣椒间作也能有效地控制辣椒疫病在行间的传播, 其主要原理是玉米根系可以将辣椒疫霉菌游动孢子吸附在根际周

围, 并分泌出苯并噁嗪类抑菌物质如丁布等抑制休止孢的萌发并使其裂解, 从而阻隔游动孢子在辣椒行间的传播, 有效控制辣椒疫病的蔓延。韭菜和辣椒间作可明显降低辣椒疫病的传播可能也与韭菜根系分泌或挥发的抑菌物质及其对辣椒疫霉菌孢子感染行为的干扰有关。

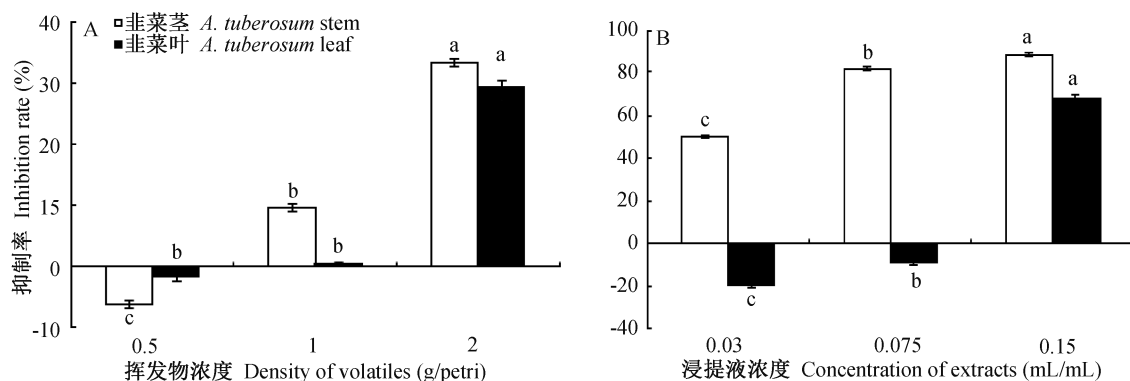


图1 不同浓度的韭菜挥发物和浸提液对辣椒疫霉菌菌丝生长的抑制作用

Fig. 1 Inhibition activity of volatiles and extracts of Chinese chives at different concentrations against the colony growth of *Phytophthora capsici*

图中数据为平均数 ± 标准误。不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验分别在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data in the figure are mean ± SE. Different letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

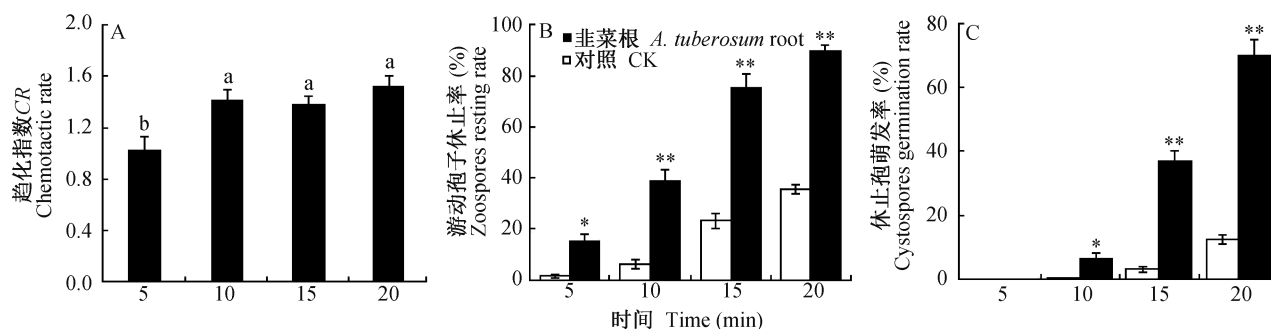


图2 韭菜根系对辣椒疫霉菌不同生育阶段的影响

Fig. 2 Effect of Chinese chives root on the different life stages of *Phytophthora capsici*

图中数据为平均数 ± 标准误。A 图中的不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验分别在 $P < 0.05$ 水平差异显著; B ~ C 图中的 *、** 表示经 t 测验法检验在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著。Data are mean ± SE. Different letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test in figure A; *, ** indicate significant difference at $P < 0.05$ or $P < 0.01$ level by t test in figure B - C.

本研究证实韭菜茎、叶的挥发物和浸提液在较高浓度下均可抑制辣椒疫霉菌菌丝生长, 这可能与韭菜茎、叶挥发物和浸提液中含有蒜素类含硫化合物有关。已有研究显示, 韭菜中的含硫化合物对棉花立枯病菌、苹果轮纹病菌 *Botryosphaeria dothidea*、小麦赤霉病菌 *Fusarium graminearum*、水稻纹枯病菌 *Rhizoctonia solani* 等均具有一定的抑制效果(吴莉和陈文利, 2005)。葱属作物产生的含硫化合物能够

氧化巯基, 这可以使与微生物生长繁殖有关的含硫巯基酶失活, 或对含硫氧基的化合物如肌氨酸、谷氨酸等产生竞争性抑制, 又或对某些酶的活性产生非竞争性抑制, 从而对众多病原菌起到抑制或杀灭作用(Kumari et al., 1995; Rabinkov et al., 1998; Miron et al., 2000)。

韭菜根系分泌物能吸引辣椒疫霉菌游动孢子并促进其休止和萌发。根系分泌物是植物与土壤进行

物质交换的重要载体物质,植物根系可以分泌多种物质吸引微生物在根际聚集,例如大豆连作3年以上,细菌数量减少,真菌数量增加,重茬较正茬真菌增加18.0%~35.5%,且以青霉菌、镰刀菌和立枯丝核菌占多数(林雁冰等,2008);玉米生长活动及根系代谢产物对土壤细菌、真菌和放线菌数量的增加有促进作用(许艳丽等,1995)。本研究表明韭菜根系能对根际周围的辣椒疫霉菌游动孢子产生吸引效应,并能使聚集到根际周围的游动孢子迅速休止并萌发。游动孢子侵染寄主包括孢子游动寻找寄主、休止、萌发、侵染等过程(Deacon,1988)。韭菜根系对辣椒疫霉菌的吸引及促进休止和萌发效应能使病原菌在土壤中失去继续寻找寄主的能力,同时对辣椒根系病原菌起到稀释作用,从而减轻辣椒疫病的发生和危害。后续研究还需进一步收集韭菜的根系分泌物,明确其中引起辣椒疫霉菌游动孢子休止、促进休止孢萌发的物质,为进一步解析韭菜间作或轮作控制辣椒疫病提供科学依据。

综上所述,韭菜根系可以干扰辣椒疫霉菌孢子在土壤中的传播侵染行为,并能分泌抑菌物质抑制辣椒疫霉菌的生长。生产上利用韭菜和辣椒间作或轮作可以有效降低辣椒疫病在田间的扩展危害,有利于实现病害的有效控制。但是,张伟等(2013)也发现,不同病原菌对葱属作物的敏感性存在较大差异,因此在田间利用韭菜轮作或间作防治病害时需要针对病原菌的类型进行合理间作或轮作,从而克服目前化学农药的环境污染和抗药性问题,实现病害的生态防控。

参 考 文 献 (References)

- Bekele K, Sommaria T. 2006. Effect of intercropping on potato late blight, *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary development and potato tuber yield in Ethiopia. *Kasetsart Journal, Natural Sciences*, 40(4): 914–924
- Block E, Putman D, Zhao SH. 1992. Allium chemistry: GC-MS analysis of thiosulfinates and related compounds from onion, leek, scallion, shallot, chive and Chinese chive. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(12): 2431–2438
- Cui Q, Wang MR, Yao Q, Shang WJ, Yang JR, Hu XP. 2014. Fungistasis of Chinese chives dry powder and its extracts on *Verticillium dahliae*. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 23(11): 1–7 (in Chinese) [崔倩, 王美入, 姚琴, 商文静, 杨家荣, 胡小平. 2014. 韭菜干粉及其提取物对大丽轮枝菌的抑菌作用. *西北农业学报*, 23(11): 136–142]
- Deacon JW. 1988. Behavioural responses of fungal zoospores. *Microbiological Sciences*, 5(8): 249–252
- Feng Y, Yang JM, Chen R, Wang XR. 2011. GC-MS analysis of solvent extracts from Chinese chive and their inhibitory action on banana vascular wilt. *Journal of Instrumental Analysis*, 30(1): 103–107 (in Chinese) [冯岩, 杨静美, 陈睿, 王晓容. 2011. 韭菜有机溶剂提取液的气相色谱-质谱分析及其对香蕉枯萎病菌的抑制作用研究. *分析测试学报*, 30(1): 103–107]
- Guan TS, Li FY, Zhao KH, Liu CY, Miao ZY, Qiao Y. 1999. The current situation of *Phytophthora capsici*. *Liaoning Agricultural Sciences*, (5): 24–27 (in Chinese) [关天舒, 李风云, 赵奎华, 刘长远, 苗则彦, 乔勇. 1999. 我国辣椒疫病的研究现状. *辽宁农业科学*, (5): 24–27]
- He YB, Zhan RL, Zhao YL, Ma WH. 2005. Effects of twenty plant extracts on inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. in mango. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 26(3): 86–90 (in Chinese) [何衍彪, 詹儒林, 赵艳龙, 马蔚红. 2005. 20种植物提取物对芒果炭疽菌的抑制作用. *热带作物学报*, 26(3): 86–90]
- Huang YH, Li CY, Wei YR, Zuo CW, Yi GJ. 2011a. Antagonism of Chinese leek against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* and its inhibitory effect on *Fusarium* wilt incidence of potted banana. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 23(6): 1162–1166 (in Chinese) [黄永红, 李春雨, 魏岳荣, 左存武, 易干军. 2011a. 韭菜对香蕉枯萎病菌的拮抗及其对盆栽香蕉枯萎病发生的抑制作用. *浙江农业学报*, 23(6): 1162–1166]
- Huang YH, Wei YR, Zuo CW, Li CY, Yi GJ. 2011b. Effect of Chinese leek on *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* growth and *Fusarium* wilt incidence in banana. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 31(9): 1840–1845 (in Chinese) [黄永红, 魏岳荣, 左存武, 李春雨, 易干军. 2011b. 韭菜对香蕉枯萎病菌生长及香蕉枯萎病发生的抑制作用. *西北植物学报*, 31(9): 1840–1845]
- Janvier C, Villeneuve F, Alabouvette C, Edel-Hermann V, Maitelle T, Steinberg C. 2007. Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators? *Soil Biology and Biochemistry*, 39(1): 1–23
- Jia JB, Liu J, Tan YF. 1999. Advances in chemical constituents of garlic. *Guangdong Pharmaceutical Journal*, 9(1): 1–5 (in Chinese) [贾江斌, 刘静, 谭亚非. 1999. 大蒜化学成分研究进展. *广东药学*, 9(1): 1–5]
- Jin YX, Xie GL, Sun YL, Cai XT. 2003. Relationship of garlic rotation and severity of fusarium wilt of melon. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 21(1): 9–12 (in Chinese) [金扬秀, 谢关林, 孙祥良, 蔡雪涛. 2003. 大蒜轮作与瓜类枯萎病发病的关系. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 21(1): 9–12]
- Kennedy AC, Smith KL. 1995. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil*, 170(1): 75–86
- Kumari K, Mathew BCJ, Augusti KT. 1995. Antidiabetic and hy-

- polipidemic effect of S-methyl cysteine sulfoxide isolated from *Allium cepa* Linn. India Journal of Biochemistry & Biophysics, 32(1): 49–54
- Li HY, Lu XH, Han WG, Mu YL, Liu TR. 2002. Effects of environmental conditions on the occurring regularity of the capsicum blight. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 14(2): 9–11 (in Chinese) [李海燕, 陆秀华, 韩文革, 穆允良, 刘惕若. 2002. 环境条件对辣椒幼苗疫病发生影响的研究. 黑龙江八一农垦大学学报, 14(2): 9–11]
- Lin YB, Xue QY, Yan X. 2008. Effects of the maize root on soil microbial flora under different cultivation patterns. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 36(12): 101–107, 114 (in Chinese) [林雁冰, 薛泉宏, 颜霞. 2008. 不同栽培模式下玉米根系对土壤微生物区系的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 36(12): 101–107, 114]
- Miron T, Rabinkov A, Mirelman D, Wilchek M, Weiner L. 2000. The mode of action of allicin: its ready permeability through phospholipid membranes may contribute to its biological activity. Biochimica et Biophysica Acta, 1463(1): 20–30
- Pino JA, Fuentes V, Correa MT. 2001. Volatile constituents of Chinese chive (*Allium tuberosum* Rottl. ex Sprengel) and Rakkyo (*Allium chinese* G. Don). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49(3): 1328–1330
- Rabinkov A, Miron T, Konstantinovski L, Wilchek M, Mirelman D, Weiner L. 1998. The mode of action of allicin: trapping of radicals and interaction with thiol containing proteins. Canadian Metallurgical Quarterly, 1379(2): 233–244
- Singh K, Nagaich S. 2000. Studies on the anthelmintic activity of *Allium sativum* (garlic) oil on common poultry worms *Ascaridia galli* and *Heterakis gallinae*. Journal of Parasitology and Applied Animal Biology, 9(1): 47–52
- Wang ZT, Cui YY, Yang H, He J. 1993. Research on identification and biological characteristics of *Phytophthora capsici* in Xinjiang. Xinjiang Agricultural Sciences, (4): 164–167 (in Chinese) [王志田, 崔元瑜, 杨华, 何疆. 1993. 新疆辣椒疫病菌鉴定及生物学特性研究. 新疆农业科学, (4): 164–167]
- Wu L, Chen WL. 2005. Study on biological activity of the leaves of *Allium tuberosum* Rottler. Chemistry & Bioengineering, 22(2): 49–51 (in Chinese) [吴莉, 陈文利. 2005. 韭叶中化学成分的生物活性研究. 化学与生物工程, 22(2): 49–51]
- Wu L, Zhang P. 2005. Study on flavor compositions of *Allium tuberosum* Rottler by GC/MS. Guangdong Chemical Industry, 32(7): 67–68 (in Chinese) [吴莉, 张平. 2005. 气-质联用法检测韭菜中香味成分的研究. 广东化工, 32(7): 67–68]
- Xu YL, Wang GH, Han XZ. 1995. The research of microbial ecology distribution on alternate and continuous planting soybean. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 11(4): 311–314 (in Chinese) [许艳丽, 王光华, 韩晓增. 1995. 连、轮作大豆土壤微生物生态分布特征与大豆根部病虫害关系的研究. 农业系统与科学综合性研究, 11(4): 311–314]
- Yang M, Zhang Y, Qi L, Mei XY, Liao JJ, Ding XP, Deng WP, Fan LM, He XX, Vivanco JM, et al. 2014. Plant-plant-microbe mechanisms involved in soil-borne disease suppression on a maize and pepper intercropping system. PLoS ONE, 9(12): e115052
- Yi TY, Xie BY, Zhang BX, Gao BD. 2002. Progress of studies on controlling of *Phytophthora capsici* of pepper crop. China Vegetables, (5): 52–55 (in Chinese) [易图永, 谢丙炎, 张宝玺, 高必达. 2002. 辣椒疫病防治研究进展. 中国蔬菜, (5): 52–55]
- Zewde T, Fininsa C, Sakhuja PK, Ahmed S. 2007. Association of white rot (*Sclerotium cepivorum*) of garlic with environmental factors and cultural practices in the North Shewa Highlands of Ethiopia. Crop Protection, 26(10): 1566–1573
- Zhang LM, Fang YT, Ji SG, Jiao YG, Liao JJ, Li JZ, Deng WP, Zhu SS, Yin JW, Yang M. 2015. Inhibitory activity of maize root exudates against *Phytophthora nicotianae* and antifungal compounds analysis. Chinese Journal of Biological Control, 31(1): 115–122 (in Chinese) [张立猛, 方玉婷, 计思贵, 焦永鸽, 廖静静, 李江舟, 邓维萍, 朱书生, 尹加文, 杨敏. 2015. 玉米根系分泌物对烟草黑胫病菌的抑制活性及其抑菌物质分析. 中国生物防治学报, 31(1): 115–122]
- Zhang W, Liao JJ, Zhu GL, Zhang H, Duan XL, Zhu SS, Yang M. 2013. The study of inhibitory activity of eight plant volatiles and extracts to *Panax notoginseng* root rot pathogens. Chinese Agricultural Science Bulletin, 29(30): 197–201 (in Chinese) [张伟, 廖静静, 朱贵李, 张卉, 段晓龙, 朱书生, 杨敏. 2013. 8种植物挥发物和浸提液对三七根腐病菌的抑制活性研究. 中国农学通报, 29(30): 197–201]
- Zhou QM, Li LY. 1980. The list of vegetable pests of Xining region (draft). Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, (4): 41–46 (in Chinese) [周启明, 李林英. 1980. 西宁地区蔬菜病虫害名录(初稿). 青海农林科技, (4): 41–46]

(责任编辑:高峰)