

大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌甜瓜专化型生长、生理的影响及其田间防治效果

刘 玲* 王 旭 张培光 沈良伟 杨 磊 徐 晴

(淮南师范学院生物工程学院, 安徽 淮南 232038)

摘要: 为探究大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌甜瓜专化型 *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* 的抑制效果, 采用微波超声法提取大蓟种子中的总黄酮, 并测定其对其尖孢镰刀菌甜瓜专化型生长、生理指标的影响及其田间防治效果。结果显示, 大蓟总黄酮浓度为 10 mg/mL 时, 对尖孢镰刀菌甜瓜专化型的菌丝生长抑制率和孢子萌发抑制率达到 100.0%, 菌丝畸变、断裂; 尖孢镰刀菌甜瓜专化型 $OD_{650\text{ nm}}$ 和 pH 最小, 分别为 0.3 和 5.5; 其电导率是对照组 1.2 倍。不同浓度大蓟总黄酮处理下尖孢镰刀菌甜瓜专化型呼吸强度、超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 和过氧化氢酶 (catalase, CAT) 活性均呈现先上升后下降的趋势, 羧甲基纤维素酶和 β -葡萄糖苷酶活性降低, 浓度为 10 mg/mL 大蓟总黄酮处理尖孢镰刀菌甜瓜专化型 60 h 后, 呼吸强度、SOD 和 CAT 活性均降至最低, 分别为 $7.8\text{ mgCO}_2\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 、22.9 U/mL 和 20.8 U/mL。田间防治结果表明, 浓度为 10 mg/mL 大蓟总黄酮处理下, 甜瓜枯萎株数最少, 防治效果最佳, 为 93.5%。表明大蓟总黄酮能够有效地抑制尖孢镰刀菌甜瓜专化型生长, 具有进一步发展为绿色新型植物源尖孢镰刀菌甜瓜专化型防治剂的能力。

关键词: 大蓟总黄酮; 尖孢镰刀菌; 生长指标; 生理指标

Inhibition of total flavonoids in *Cirsium japonicum* DC on growth physiological indexes and control effect of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* in field

LIU Ling* WANG Xu ZHANG Peiguang SHEN Liangwei YANG Lei XU Qing

(School of Biological Engineering, Huainan Normal University, Huainan 232038, Anhui Province, China)

Abstract: In order to investigate the inhibitory effect of total flavonoids of *Cirsium japonicum* DC on *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*, the total flavonoids in *C. japonicum* DC of seeds were extracted with the method microwave ultrasonic, the effects on growth physiological indexes and field control of *F. oxysporum* f. sp. *melonis* were determined. The results showed when the total flavonoid concentration of *C. japonicum* was 10 mg/mL, the inhibition rate of hyphae growth and spore germination all reached 100.0%, mycelium were distortion and fracture; the $OD_{650\text{ nm}}$ and pH of *F. oxysporum* f. sp. *melonis* reached to the lowest, which were 0.3 and 5.5; its electrical conductivity was 1.2 times of the control group; SOD and CAT activities went up firstly and then went down with the increase of total flavonoids concentrations, CMCase and β -glucase activity decreased, when *F. oxysporum* f. sp. *melonis* were treated for 60 h with total flavonoids of *C. japonicum* DC, respiration rate, SOD and CAT activity all decreased to the lowest level ($7.8\text{ mgCO}_2\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, 22.9 U/mL and 20.8 U/mL, respectively). Field control results showed that the wilted symptom on melon were the least when treated with 10 mg/mL

of total flavonoids from *C. japonicum* DC, and the control effect was the best up to 93.5%. The study indicated that total flavonoids of *C. japonicum* DC could effectively inhibit the growth of *F. oxysporum* f. sp. *melonis*, and could be further developed into a new type of control agent of *F. oxysporum* f. sp. *melonis*.

Key words: total flavonoids of *Cirsium japonicum* DC; *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*; growth indexes; physiological indexes

尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum* 是世界上的一种土壤病原菌,通过感染作物根部造成植物根部腐烂坏死。瓜类番茄(耿丽华等,2012;袁微微等,2013)、大豆(魏巍等,2013)、玉米(孙静等,2014)、三七(谭勇等,2017)、烟草(于庆涛和姚廷山,2018)等多种农作物均可被尖孢镰刀菌严重侵染。其中,尖孢镰刀菌甜瓜专化型 *F. oxysporum* f. sp. *melonis* 所引起的甜瓜腐烂坏死已给甜瓜种植造成严重影响。农业防治、化学农药防治、生物防治等成为防治尖孢镰刀菌的主要措施(魏丹丽,2017),化学防治为最常见、效果最好,但过量使用会导致农药残留、土壤微生物系统失衡和抗药性的产生(胡文召和周常勇,2010;卜春亚等,2014)。随着现代社会的迅速发展,化学农药防治与生态环保相背离。因此,安全绿色的生物技术防治尖孢镰刀菌已成为当前研究热点(Wang et al., 2016; 周登博等, 2016; Fu et al., 2017)。

大蓟 *Cirsium japonicum* DC 为菊科蓟属草本植物,分布广泛。大蓟味甘、微苦、性凉,有止血、祛瘀、消肿及防治高血压等相关药理作用,其活性成分主要包括总黄酮、挥发油等物质(史礼貌和解成喜,2011)。大量试验研究表明,总黄酮不仅有降压、抗糖尿病和抗肿瘤作用、还有杀菌活性以及清除氧自由基等诸多功能(植飞等,2001; Shand et al., 2003; Liu et al., 2006)。目前,国内外关于大蓟提取物抑制植物致病菌方面已有报道,如魏朝霞等(2013)证实大蓟提取物对石榴枯萎病菌 *Ceratocystis fimbriata*、玉米小斑病菌 *Bipolaris maydis*、烟草蛙眼病菌 *Cercospora nicotianae* 等植物病菌均具有一定的抑制作用;周璇等(2007)研究表明 80% 大蓟乙醇提取液能有效抑制茄子黄萎病菌 *Verticillium dahlia* 的生长;Yoon et al. (2011) 从大蓟甲醇提取物中分离纯化的 3 种抗真菌物质,对水稻稻瘟病菌 *Pyricularia grisea* 等 7 种植物病原菌均具有良好的防治作用。但是,大蓟总黄酮在对尖孢镰刀菌甜瓜专化型方面的报道较少。

因此,本研究利用大蓟种子中总黄酮对尖孢镰

刀菌甜瓜专化型进行离体抑菌试验,测定大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌菌落直径、菌丝干重、菌丝形态、菌丝生长抑制率、孢子萌发抑制率等生长指标和 OD_{650 nm}、pH、电导率、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、呼吸强度、羧甲基纤维素酶和 β -葡萄糖苷酶活性等生理指标的影响,并对不同浓度的大蓟总黄酮进行田间防效试验,以期为大蓟总黄酮在尖孢镰刀菌的生物防治方面提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物及病菌:大蓟种子购于安徽亳州中药材国强药业;尖孢镰刀菌甜瓜专化型病菌购于上海北诺生物科技有限公司。

培养基:马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)培养基:去皮马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂粉 15 g、蒸馏水 1 000 mL;PDA 培养基中不添加琼脂粉即为马铃薯葡萄糖(potato dextrose, PD)液体培养基。

试剂及仪器:氮蓝四唑、钼酸铵、葡萄糖、DNS、NaCl、KH₂PO₄、Na₂HPO₄·12H₂O、KCl 等试剂均为国产分析纯。AB-8 大孔树脂,天津波鸿树脂科技有限公司;IKA RV 10 digital V 型旋转蒸发仪,艾卡(广州)仪器设备有限公司;GTOP 型智能光照培养箱,浙江托普仪器有限公司;UV5800 紫外分光光度计,上海元析仪器有限公司;XB-K-25 血球计数板,上海市求精生化试剂仪器有限公司;LDZX-50KBS 型高压灭菌锅,上海申安医疗器械厂;Sartorius PB-10 型 pH 计和 DDS-12A 电导仪,上海川翔生物科技有限公司;CX23LED RFS1C 光学显微镜,奥林巴斯(广州)工业有限公司。

1.2 方法

1.2.1 大蓟种子中总黄酮提取

参考盛玮等(2015)方法将大蓟种子烘干研磨成粉,称取 5 g 于 150 mL 70% 乙醇中,在功率为 260 W 条件下超声提取 30 min, 180 r/min 旋转蒸发

30 min得粗总黄酮浓缩液,加入300 mL无水乙醇在4℃下静置过夜,过滤、浓缩及石油醚萃取得到下层溶液,将适量30%乙醇缓缓加入到收集的溶液中,摇匀。AB-8大孔树脂进一步分离纯化大蓟总黄酮。

1.2.2 生长指标的测定

参考李燕等(2011)方法并进行改良,测定样品液总黄酮含量并配制0(CK)、2、4、6、8、10 mg/mL六个浓度的总黄酮溶液,将不同浓度总黄酮溶液加入PDA培养基配制100 mL含总黄酮的PDA平板,备用。

参考严希等(2017)方法测定菌丝生长抑制率。将尖孢镰刀菌甜瓜专化型接种到PDA平板中活化7 d,在菌落边缘打取直径为5 mm菌饼接至于含不同浓度总黄酮的PDA平板中,30℃培养7 d。十字交叉法测定菌丝直径,重复3次。菌落净直径=菌落直径-菌饼直径,菌丝生长抑制率=(1-处理组菌落净直径/对照组菌落净直径)×100%。

采用插片培养法对菌丝形态进行观察(孙建广等,2014),将培养7 d的尖孢镰刀菌甜瓜专化型接至于含不同浓度总黄酮的PDA平板中,30℃培养2 d,于10×40倍光学显微镜下随意选取3个视野观察菌丝形态并进行拍摄,重复3次。

参考崔志峰等(2008)方法测定孢子萌发抑制率。将尖孢镰刀菌甜瓜专化型接种到PDA平板中活化3 d,在菌落边缘打取直径为5 mm的菌饼接于PDA平板中,30℃恒温培养7 d至产孢,用pH 7.4磷酸缓冲液(NaCl 8.0 g、KH₂PO₄ 0.2 g、Na₂HPO₄·12H₂O 2.9 g、蒸馏水1 000 mL、KCl 0.2 g)将分生孢子冲至血球计数板计算孢子浓度,再将孢子悬浮液稀释至10⁵个/mL。吸取0.1 mL孢子悬浮液接种至不同浓度大蓟总黄酮处理的PDA平板中央,迅速均匀涂开。30℃恒温培养3 d,观察并记录孢子萌发数。重复3次。孢子萌发抑制率=(1-处理组孢子萌发数/对照组孢子萌发数)×100%。

采用王远遐等(2015)方法并略作改动测定菌丝干重。打取5个直径为5 mm的尖孢镰刀菌甜瓜专化型菌饼接至50 mL含大蓟总黄酮的PD液体培养基中,30℃、200 r/min摇床中培养7 d,不同浓度总黄酮处理的菌液各取10 mL进行过滤、清洗、烘干后,将处理过的菌丝称重,3次重复处理。

1.2.3 OD_{650 nm}、电导率及pH的测定

参考朱育菁等(2007)方法将5个直径为5 mm的尖孢镰刀菌甜瓜专化型菌饼接至50 mL含不同浓度大蓟总黄酮的PD液体培养基中制成PD发酵液,分别取6种浓度处理的PD发酵液3.5 mL,使用紫外

分光光度计测定该病菌生物量OD_{650 nm};参考王桂清和张涛(2011)方法分别取上述处理的PD发酵液7 mL,10 000 r/min,4℃下冷冻离心15 min,去沉淀,使用Sartorius PB-10型pH计和DDS-12A电导仪测定尖孢镰刀菌甜瓜专化型的pH以及电导率。重复3次。

1.2.4 SOD和CAT活性测定

向离心管中分别加入7 mL pH 7.4磷酸缓冲液和发酵1 h后的1 mL经不同大蓟总黄酮浓度处理的病菌PD发酵液,8 000 r/min,4℃下冷冻离心5 min,弃上清液,取2 mL pH 7.4磷酸缓冲液漂洗、破碎菌体1 min,再次10 000 r/min、4℃冷冻离心10 min,获得上清液即为粗酶液,用于测定尖孢镰刀菌甜瓜专化型SOD和CAT活性。分别于0、12、24、36、48、60 h测定。

采用NBT光化还原法(Sofa et al., 2004)测定SOD活性。取0.1 mL粗酶液并加入3 mL反应液(含2 μmol/L核黄素、10 μmol/L L-甲硫氨酸、2 μmol/L乙二胺四乙酸二钠、50 μmol/L NBT、65 μmol/L pH 7.4磷酸缓冲液),在光照培养箱中照射20 min后,NBT光化还原产物蓝色化合物在560 nm处有最大吸收。酶活性单位定义为应被抑制50%所需酶量为1个活力单位。重复3次。结果以单位U/mL表示。

采用钼酸铵比色法(焦铭等,2015)测定CAT活性,将0.25 mL粗酶液定容至100 mL,即为待测酶液。取4支试管分别标记为空白管1、2、3和测定样品管。在空白管1中加入0.5 mL基质液,0.1 mL待测液,在空白管2中加入0.5 mL基质液,0.1 mL缓冲液,空白管3中加0.6 mL缓冲液。在测定样品管中加0.5 mL基质液(每毫升磷酸缓冲液含65 μmol H₂O₂),0.1 mL待测液,37℃水浴保温5 min后立即加入3 mL钼酸铵,充分混匀,2 min后于405 nm以水调零比色。记录吸光度值A。定义每1 min分解1 mmol的H₂O₂即为1个CAT活性单位。重复3次。结果以单位U/mL表示。

1.2.5 羧甲基纤维素酶和β-葡萄糖苷酶的测定

参考余丽和晏爱芬(2012)方法测定羧甲基纤维素酶活性。取0.5 mL粗酶液加入试管,加0.05% CMC-Na缓冲液(用pH 4.5、0.1 mol/L乙酸缓冲液配制)2 mL混匀。40℃恒温水浴中30 min后加入2.5 mL DNS,沸水浴中煮沸5 min,流水冷却。在520 nm测羧甲基纤维素酶活性,酶活单位表示1 mL酶液每分钟催化底物产生1 μg葡萄糖所需的酶量,结果以单位U/mL表示。

参考唐慧(2017)方法并稍作改动测定β-葡萄糖

苷酶活性。取0.5 mL稀释10倍的酶液,加1 mL 1%水杨苷溶液。50℃酶解30 min,立即加入3 mL DNS终止反应,充分摇匀后在沸水浴中显色10 min,取出冷却。在540 nm处测 β -glase活性。 β -葡萄糖苷酶活表示1 mL酶液每分钟催化底物产生1 μ g还原糖为1个酶活力单位,结果以单位U/mL表示。

1.2.6 呼吸强度的测定

参照孙芬变(2013)的小篮子法并略作改动测定样品的呼吸强度。在锥形瓶内装上0.05 mol的Ba(OH)₂,取5个直径为5 mm菌饼放在纱布制成的小篮内,将小篮子挂在锥形瓶内,并立刻塞进瓶塞。每隔10 min左右缓慢摇动1次锥形瓶,1 h后快速加入2滴酚酞指示剂,用0.023 mol/L的草酸滴定至溶液无色,记录草酸的体积。以mgCO₂·cm⁻²·h⁻¹为单位,每个处理2个平行,重复3次。

1.2.7 田间防治试验

于2019年3月26—5月26在淮南市潘集区亚鹏盛农生态农业有限公司日光温室进行,该温室已连续3年种植甜瓜。总黄酮浓度设6个处理:0(CK)、2、4、6、8、10 mg/mL,每个小区面积为16 m×1.4 m,黑地膜覆盖地表,吊蔓式栽培,重复3次。于2019年4月16日、4月26日和5月6日进行3次灌根,每株用量约350 mL,常规化田间管理。5月20日对各处理组植株进行枯萎病情调查,计算病情指数

和相对防效。病情分级标准为5级,0级:全样区植株无病;1级:全样区植株25%以下叶片萎蔫;2级:全样区植株50%以上叶片萎蔫;3级:全样区植株75%以上叶片萎蔫;4级:全样区植株因病枯死。病情指数=Σ(各级病株数×相应级数值)/最高级数值×调查总株数×100;防治效果=(对照组病情指数-处理组病情指数)/对照组病情指数×100%。

1.3 数据分析

试验数据采用SPSS 17.0进行统计分析,经ANOVA法进行组间差异分析,采用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌甜瓜专化型生长的影响

随着大蓟总黄酮浓度增加,尖孢镰刀菌甜瓜专化型菌落净直径与菌丝干重逐渐下降,菌丝生长抑制率和孢子萌发抑制率反之,且不同浓度处理间存在显著差异。总黄酮浓度为2 mg/mL时,菌丝生长抑制率和孢子萌发抑制率超过54.5%;为10 mg/L时,菌落净直径、菌丝干重分别为0和0.1 g,菌丝生长抑制率和孢子萌发抑制率达到100.0%(表1)。同时,尖孢镰刀菌甜瓜专化型菌丝分支增多、弯曲、畸形肿大和断裂(图1)。这表明大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌甜瓜专化型菌丝体有较强的抑制作用。

表1 不同浓度大蓟总黄酮处理下尖孢镰刀菌甜瓜专化型的生长状况

Table 1 Growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* under different concentrations of total flavonoids of *Cirsium japonicum* DC

浓度 Concentration/ (mg/mL)	菌落净直径 Colony diameter/mm	菌丝生长抑制率 Inhibition rate of hyphae growth /%	菌丝干重 Dry weight of hypha/g	孢子萌发抑制率 Inhibition rate of spore germination/%
0(CK)	70.1±0.3 a	0.0±0.0 f	0.4±0.1 ab	0.0±0.0 e
2	31.9±0.8 b	54.5±1.2 e	0.5±0.5 a	59.3±4.3 d
4	20.0±3.3 c	71.5±4.7 d	0.3±0.1 bc	79.0±1.2 c
6	9.7±0.8 d	86.1±1.2 c	0.3±0.0 cd	94.8±0.3 b
8	5.3±1.0 e	92.4±1.5 b	0.1±0.0 de	100.0±0.0 a
10	0.0±0.0 f	100.0±0.0 a	0.1±0.0 e	100.0±0.0 a

表中数据为平均数±标准差。同列后不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

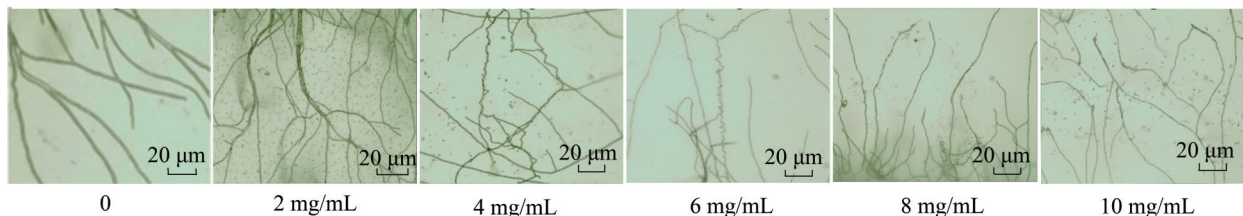


图1 大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌菌丝的影响

Fig. 1 Effects of the colony *Fusarium oxysporum* treated with different concentrations of total flavonoids in *Cirsium japonicum* DC

2.2 大蓟总黄酮对OD_{650 nm}、pH和电导率的影响

尖孢镰刀菌甜瓜转化型的OD_{650 nm}、pH均随大蓟总黄酮浓度增加呈现出逐渐递减趋势。对照处理的OD_{650 nm}和pH值均最大,分别为2.2和7.2;总黄酮浓度为10 mg/mL时最小,分别为0.3和5.5。处理组的

电导率均显著大于对照组,总黄酮浓度为10 mg/mL时,电导率最大,为47.4 μs/cm,是对照组1.2倍(表2)。说明大蓟总黄酮能有效减小尖孢镰刀菌的生物量和破坏尖孢镰刀菌菌丝体,增大菌体通透性。

表2 不同浓度大蓟总黄酮处理下尖孢镰刀菌甜瓜专化型OD_{650 nm}、pH和电导率的变化

Table 2 Characteristics of OD_{650 nm}, pH and electrical conductivity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* at different concentrations of total flavonoids in *Cirsium japonicum* DC

浓度 Concentration/(mg/mL)	OD _{650 nm}	pH	电导率 Electrical conductivity/(μs/cm)
0(CK)	2.2±0.3 a	7.2±0.1 a	39.1±0.2 e
2	1.9±0.1 b	6.3±0.1 b	42.0±1.7 d
4	1.5±0.1 c	5.9±0.1 c	43.7±0.6 c
6	0.9±0.1 d	5.8±0.2 c	45.3±0.6 b
8	0.8±0.0 e	5.6±0.3 d	45.5±0.2 b
10	0.3±0.0 f	5.5±0.1 e	47.4±0.3 a

表中数据为平均数±标准差。同列数据后不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.3 大蓟总黄酮对SOD和CAT活性的影响

处理组尖孢镰刀菌甜瓜专化型SOD和CAT活性均随时间增长呈现先升高后下降趋势。24 h时,不同处理组SOD和CAT活性达到峰值,2 mg/mL总黄酮浓度处理组的SOD活性最大,为76.0 U/mL;4 mg/mL总黄酮浓度处理组的CAT活性最大,为26.0 U/mL。24 h后,尖孢镰刀菌甜瓜专化型SOD

和CAT活性大幅度下降,60 h时,10 mg/mL总黄酮浓度处理下的SOD和CAT活性均最小,分别为22.9 U/mL和20.5 U/mL。说明不同浓度大蓟总黄酮短时间内可增大尖孢镰刀菌甜瓜专化型的SOD和CAT活性,从而提高其抗氧化能力;24 h后将严重破坏菌体,导致其活性下降(表3)。

表3 不同浓度大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌甜瓜专化型SOD和CAT活性的影响

Table 3 Effects of different concentrations of total flavonoids in *Cirsium japonicum* DC on SOD activities in *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*

指标 Index	浓度 Concentration/(mg/mL)	不同时间点的酶活性 Enzymatic activity at different time points					
		0 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h
SOD 活性	0(CK)	41.6±0.7 a	43.2±0.4 e	41.2±0.8 f	40.8±0.5 a	41.3±0.6 a	40.5±0.7 a
SOD activity/ (U/mL)	2	41.2±0.4 a	69.7±0.6 a	76.0±0.4 a	35.5±1.0 c	32.9±0.4 b	31.7±0.3 b
	4	38.4±0.5 b	61.7±0.9 c	65.1±0.4 d	30.1±0.8 d	30.5±0.4 c	29.9±0.3 c
	6	41.1±0.8 a	66.3±0.5 b	68.1±0.7 b	36.8±0.4 b	29.8±0.4 c	28.1±0.3 d
	8	40.7±0.4 a	66.3±0.5 b	67.0±0.2 c	36.0±0.2 bc	27.6±0.4 d	25.8±0.2 e
	10	40.8±0.9 a	56.8±0.2 d	62.8±0.2 e	30.5±0.4 d	25.0±0.2 e	22.9±0.6 f
CAT 活性	0(CK)	21.7±0.1 c	21.9±0.1 d	21.6±0.2 d	21.4±0.1 e	21.5±0.1 b	21.7±0.1 a
CAT activity/ (U/mL)	2	22.4±0.1 b	23.0±0.1 b	25.5±0.1 b	23.8±0.1 a	21.8±0.1 a	21.4±0.1 ab
	4	21.7±0.1 c	23.1±0.1 b	26.0±0.2 a	23.6±0.1 b	21.5±0.1 b	21.3±0.1 b
	6	22.2±0.1 b	23.1±0.1 b	25.7±0.1 b	23.5±0.1 b	21.5±0.1 b	21.3±0.1 ab
	8	22.7±0.0 a	23.3±0.1 a	25.5±0.1 b	22.9±0.2 c	21.4±0.1 b	21.1±0.1 b
	10	21.7±0.2 c	22.3±0.1 c	23.7±0.1 c	22.6±0.1 d	21.1±0.1 c	20.5±0.4 c

表中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.4 大蓟总黄酮对羧甲基纤维素酶和β-糖苷酶的影响

随着对照组尖孢镰刀菌甜瓜专化型不断的增殖,其羧甲基纤维素酶和β-糖苷酶活性不断缓慢增

加(表4)。其中,对照组β-糖苷酶活性和羧甲基纤维素酶活性分别在36 h和48 h达到最大值,分别为398.0 U/mL和449.3 U/mL。而不同浓度总黄酮处

理的2种酶活性呈现出先上升后下降趋势,总体水平低于对照组,且随着总黄酮浓度的不断增加,羧甲基纤维素酶和 β -葡萄糖苷酶活性显著降低,60 h时,10 mg/mL 总黄酮浓度处理下的羧甲基纤维素酶和 β -葡萄糖苷酶活性为最小,分别为218.0 U/mL和216.3 U/mL。表明大蓟总黄酮可以降低尖孢镰刀菌甜瓜专化型的纤维素酶活性,影响其正常生长。

表4 不同浓度大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌甜瓜专化型羧甲基纤维素酶和 β -葡萄糖苷酶活性的影响
Table 4 Effects of different concentrations of total flavonoids in *Cirsium japonicum* DC on CMCase and β -glase activities in *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* U/mL

酶 Enzyme	浓度 Concentration/(mg/mL)	不同时间点的酶活性 Enzymatic activity at different time points					
		0 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h
羧甲基纤维素酶	0(CK)	401.0±9.6 b	413.7±3.2 b	426.3±1.5 a	418.0±2.0 a	449.3±4.2 a	431.0±3.6 a
	2	412.7±3.1 a	425.7±2.5 a	403.3±4.2 b	352.0±4.0 c	314.3±4.0 c	287.7±2.5 b
	4	404.0±4.0 ab	416.7±6.1 b	402.7±3.1 b	374.0±4.0 b	323.0±2.6 b	272.7±2.5 c
	6	381.7±3.5 d	410.3±2.5 b	377.3±3.1 c	336.3±3.2 d	304.7±4.2 d	262.3±2.5 d
	8	391.3±4.2 c	415.3±3.1 b	364.3±4.0 d	310.7±3.1 e	282.3±5.9 e	245.0±3.0 e
	10	382.3±2.5 cd	398.7±3.1 c	344.7±5.0 e	318.0±2.6 f	260.0±2.0 f	218.0±2.0 f
β -葡萄糖苷酶	0(CK)	360.0±2.0 ab	367.0±2.6 a	381.0±2.6 a	398.0±3.6 a	386.3±3.8 a	378.7±7.6 a
	2	352.7±3.1 cd	367.7±1.5 a	325.3±1.2 d	317.7±2.5 b	284.3±4.0 b	278.7±1.5 b
	4	357.3±3.1 bc	363.7±3.2 a	333.3±3.1 c	317.7±3.5 b	278.3±3.5 bc	251.7±1.5 d
	6	362.7±2.5 a	366.3±2.1 a	340.7±4.0 b	303.0±2.6 d	277.0±2.6 c	259.0±3.6 c
	8	350.7±3.1 d	354.3±4.0 b	324.0±3.6 d	308.0±2.0 c	261.0±3.6 d	239.7±4.5 e
	10	352.0±2.0 d	355.0±2.6 b	323.0±2.6 d	260.0±2.0 e	264.3±2.5 d	216.3±1.5 f

表中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.5 大蓟总黄酮对呼吸强度的影响

随着处理时间延长,不同浓度大蓟总黄酮处理下的尖孢镰刀菌甜瓜专化型呼吸强度在24 h时达到峰值,2 mg/mL 总黄酮处理组的呼吸强度最大,为21.7 mgCO₂·cm⁻²·h⁻¹。24 h后,各处理组呼吸强度均显著降低,60 h时处理组尖孢镰刀菌甜瓜专化型呼吸强度均最低,其中10 mg/mL 总黄酮处理组的呼吸强度最小,为7.8 mgCO₂·cm⁻²·h⁻¹(表5)。说明10 mg/mL 总黄酮浓度对尖孢镰刀菌甜瓜专化型呼吸强度影响最大,干扰其代谢能力最强。

表5 不同浓度大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌甜瓜专化型呼吸强度的影响
Table 5 Effect of respiration rate by different concentrations of total flavonoids in *Cirsium japonicum* DC in *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* mgCO₂·cm⁻²·h⁻¹

浓度 Concentration/(mg/mL)	0 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h
0(CK)	10.9±0.1 b	13.1±0.1 c	16.5±0.2 f	20.6±0.1 a	18.8±0.2 a	17.1±0.2 a
2	10.2±0.2 d	14.5±0.3 a	21.7±0.2 a	13.5±0.2 b	9.9±0.1 b	9.1±0.2 c
4	10.7±0.1 b	13.3±0.2 c	19.7±0.2 b	12.6±0.2 c	10.1±0.1 b	10.6±0.1 b
6	10.4±0.2 cd	11.3±0.4 e	19.0±0.2 c	11.6±0.1 e	9.8±0.2 b	8.8±0.2 c
8	11.2±0.2 a	14.0±0.2 b	18.3±0.3 d	12.7±0.2 c	9.9±0.3 b	8.5±0.3 d
10	10.6±0.2 bc	12.1±0.1 d	16.9±0.3 e	12.2±0.3 d	9.1±0.3 c	7.8±0.2 e

表中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.6 田间防治效果

田间防治效果结果显示,不同总黄酮处理组之间防治效果存在显著差异。其中,2 mg/mL 总黄酮浓度防治效果为67.1%;10 mg/mL 总黄酮处理组的防治效果为93.5%,是2 mg/mL 处理组的1.4倍(表6)。由此可知,随着处理组总黄酮浓度升高,对尖孢镰刀菌甜瓜专化型的田间防治效果越好,10 mg/mL 处理组效果最佳。

表 6 不同浓度大蓟总黄酮处理下尖孢镰刀菌甜瓜专化型的病情指数和防治效果
Table 6 The disease index and control efficiency of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* under different concentrations of total flavonoids of *Cirsium japonicum* DC

浓度 Concentration/(mg/mL)	病情指数 Disease index	防治效果 Control efficiency/%
0(CK)	70.8±2.2 a	—
2	45.4±0.7 b	67.1±0.9 e
4	40.8±0.3 c	75.3±0.8 d
6	37.3±0.5 d	80.6±0.6 c
8	33.3±0.2 e	87.5±0.4 b
10	29.0±0.4 f	93.5±1.1 a

表中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan’s new multiple range test.

3 讨论

目前,国内外利用安全、绿色的植物源农药对尖孢镰刀菌进行防治已成为研究热点,本试验通过探究大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌甜瓜转化型的生长、生理的抑制作用和大田防治效果发现,大蓟提取物总黄酮对尖孢镰刀菌甜瓜专化型具有较好的抑制作用,类似结果在其它研究中也有报道,如赵雅萌等(2018)研究表明黄花蒿叶水提物对尖孢镰刀菌菌丝的生长、孢子产量和镰刀酸的产生均有抑制作用;周文楠等(2019)发现 0.1 mg/mL 茉莉酸甲酯对由尖孢镰刀菌引起的根腐病抑制效果最佳;李晶等(2018)试验证实黄芩甙有机溶剂提取物对尖孢镰刀菌等多种保护地辣椒病原菌有显著的抑制作用。本研究为尖孢镰刀菌甜瓜转化型的防治提供新的研究思路和理论依据。

抑菌剂对病原菌的作用途径之一是通过抑制其菌丝生长和改变其菌丝形态和细胞膜通透性来破坏菌丝的正常生长。本试验结果显示,随着大蓟总黄酮浓度增加,尖孢镰刀菌甜瓜专化型菌丝生长和孢子萌发均有明显的抑制作用,这与严希等(2017)报道肉桂乙醇提取物能够很好地抑制尖孢镰刀菌的菌丝生长和孢子萌发,抑制率为 100.0% 的结论相似。细胞膜对细胞维持内环境稳态和进行生命活动起着重要作用,本试验中大蓟总黄酮能够破坏尖孢镰刀菌甜瓜专化型菌丝体,导致细胞膜通透性增大,细胞内电解质外流,进而引起其电导率增加,这与张涛等(2018)研究表明 4 株拮抗菌能使黄萎病菌细胞膜造成不同程度的破坏,导致电解质外流而电导率增大的结论类似。

SOD 和 CAT 活性容易受到氧化胁迫。通过检测 SOD 和 CAT 活性可以反映菌体受到氧化胁迫的程度(焦铭等,2015)。Özyurt et al.(2004)研究表明

随着咖啡酸苯乙基酯浓度的增加,小鼠肺细胞内的 SOD 和 CAT 活性呈先增加再减小的趋势,此现象称为毒物兴奋效应。本研究中也出现类似现象,即随着总黄酮浓度和处理时间的增加,尖孢镰刀菌甜瓜专化型 SOD 和 CAT 活性总体先上升后下降的趋势。本研究发现,随着总黄酮浓度升高,而尖孢镰刀菌甜瓜专化型呼吸强度越低,呼吸代谢是通过细胞内三羧酸循环和糖代谢为细胞生命活动提供能量的过程,呼吸代谢被抑制则导致细胞不能正常繁殖,从而起到抑菌作用(黄聪亮等,2015)。羧甲基纤维素酶和 β -葡萄糖苷酶是最为常见和研究较深入的纤维素酶,也可影响尖孢镰刀菌的致病力(高芬等,2018)。本研究中,大蓟总黄酮可以抑制尖孢镰刀菌羧甲基纤维素酶和 β -葡萄糖苷酶活性,这与孙芬变和王金胜(2012)的研究结果一致。由此可知,大蓟总黄酮处理尖孢镰刀菌可以使菌丝体通透性增大,纤维素酶活性降低,进而使菌体抗氧化能力减弱、呼吸代谢紊乱,最终起到抑菌作用;尖孢镰刀菌甜瓜转化型的抑制作用不仅体现在离体试验中,田间防治试验的结果能进一步证实大蓟总黄酮抑菌效果。田永永等(2011)研究指出,尖孢镰刀菌是甜瓜枯萎病的主要致病菌。本田间防治试验结果显示,10 mg/mL 总黄酮处理组甜瓜植株枯萎数量最少,防治效果达到 93.5%。综上所述,大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌有很好的抑制作用,当总黄酮浓度达到 10 mg/mL 时,对尖孢镰刀菌甜瓜转化型的抑制效果最佳。

参 考 文 献 (References)

BU CY, SUN Y, ZHANG TW, WANG S, ZHANG YY, NIU W, GUAN XQ, WANG YN, SHI GL. 2014. Isolation and antagonistic character analysis of endophytic bacteria from the strawberry. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 20(2): 300–304 (in Chinese) [卜春亚, 孙晔, 张天蔚, 王帅, 张英英, 牛薇, 官学琼, 王有年, 师光禄. 2014. 一株草莓根腐烂尖孢镰刀菌拮抗内生细菌

- 的分离鉴定及抑菌特性. 应用与环境生物学报, 20(2): 300–304]
- CUI ZF, DING ZK, FENG YA, WANG K, ZHU TH. 2008. The conditions of sporulation and spore germination of *Botrytis cinerea*. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 20(6): 441–445 (in Chinese) [崔志峰, 丁贞科, 冯贻安, 汪琨, 朱廷恒. 2008. 灰葡萄孢产孢和孢子萌发条件. 浙江农业学报, 20(6): 441–445]
- FU L, PENTON CR, RUAN YZ, SHEN ZZ, XUE C, LI R, SHEN QR. 2017. Inducing the rhizosphere microbiome by biofertilizer application to suppress banana *Fusarium* wilt disease. *Soil Biology and Biochemistry*, 104: 39–48
- GAO F, YUE HD, QIN XM, LEI ZH, WANG ML. 2018. Research advances on cell wall degrading enzymes produced by pathogenic *Fusarium* causing plant diseases. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 34(4): 955–960 (in Chinese) [高芬, 岳换弟, 秦雪梅, 雷振宏, 王梦亮. 2018. 植物致病镰刀菌细胞壁降解酶的研究进展. 江苏农业学报, 34(4): 955–960]
- GENG LH, LI CB, CHI SQ, WANG LJ, CHAI M. 2012. Identification of pathogen causing *Fusarium* crown and root rot of tomato and its growth affecting factors. *Acta Phytopathologica Sinica*, 42(5): 449–455 (in Chinese) [耿丽华, 李常保, 迟胜起, 王丽君, 柴敏. 2012. 番茄颈腐根腐病原鉴定及不同条件对其生长的影响. 植物病理学报, 42(5): 449–455]
- HU WZ, ZHOU CY. 2010. Advances in pathogen of citrus Huanglongbing. *Plant Protection*, 36(3): 30–33 (in Chinese) [胡文召, 周常勇. 2010. 柑橘黄龙病病原研究进展. 植物保护, 36(3): 30–33]
- HUANG CL, PENG MF, CHEN WX. 2015. Bacteriostatic action and mechanism of extract from *Amomum tsao-ko* on *Staphylococcus aureus*. *The Food Industry*, 36(9): 185–188 (in Chinese) [黄聪亮, 彭美芳, 陈文学. 2015. 草果萃取物对金黄色葡萄球菌的抑菌作用及其机理研究. 食品工业, 36(9): 185–188]
- JIAO M, SUN X, LI B, HUANG JC. 2015. Protective effects of vitamin E on CAT and SOD in serum of zebrafish with chlorpyrifos stress. *Hubei Agricultural Sciences*, 54(7): 1590–1592 (in Chinese) [焦铭, 孙雪, 李笔, 黄俊潮. 2015. 维生素E对毒死蜱胁迫下斑马鱼血清CAT和SOD的保护作用. 湖北农业科学, 54(7): 1590–1592]
- LI J, LI N, DING P, YANG HX, LIU JX, WU JR, DU WJ, ZHANG JJ. 2018. Inhibition activities and control efficiency of extracts from *Ligularia virgaurea* against 4 fungal diseases of greenhouse peppers. *Acta Prataculturae Sinica* 27(4): 56–68 (in Chinese) [李晶, 李娜, 丁品, 杨海兴, 刘锦霞, 武建荣, 杜文静, 张建军. 2018. 黄帚橐吾提取物对保护地辣椒4种病原真菌的抑制活性及其病害防效. 草业学报, 27(4): 56–68]
- LI Y, ZENG QH, CHEN LM. 2011. The extraction process of total flavonoids from *Perilla* leaves was optimized by orthogonal test. *Food Engineering*, (6): 148–150 (in Chinese) [李燕, 曾庆华, 陈利梅. 2011. 正交试验法优选紫苏叶中总黄酮提取工艺. 食品工程, (6): 148–150]
- LIU SJ, LUO X, LI DX, ZHANG J, QIU DL, LIU W, SHE Y, YANG ZR. 2006. Tumor inhibition and improved immunity in mice treated with flavone from *Cirsium japonicum* DC. *International Immunopharmacology*, 6: 1387–1393
- ÖZYURT H, SÖĞÜT S, YILDIRIM Z, KART L, IRAZ M, ARMUT-CU F, TEMEL I, ÖZEN S, UZUN A, AKYOL O. 2004. Inhibitory effect of caffeic acid phenethyl ester on bleomycin-induced lung fibrosis in rats. *Clinics Chimica Acta*, 339(1/2): 65–75
- SHAND B, STREY C, SCOTT R, MORRISON Z, GIESEG S. 2003. Pilot study on the clinical effects of dietary supplementation with Enzogenol®, a flavonoid extract of pine bark and vitamin C. *Phytotherapy Research*, 17(5): 490–494
- SHENG W, TENG JT, XUE JP, DUAN YB, GENG QJ. 2015. Optimization of ultrasonic-microwave synergistic extraction of total flavonoids from *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench by response surface methodology. *Science and Technology of Food Industry*, 36(8): 290–293, 314 (in Chinese) [盛玮, 滕井通, 薛建平, 段永波, 耿秋瑾. 2015. 响应面优化超声-微波协同提取黄秋花中总黄酮工艺的研究. 食品工业科技, 36(8): 290–293, 314]
- SHI LM, JIE CX. 2011. Ultrasonic extraction and antioxidant activity of total flavonoids from *Cirsium japonicum*. *Food Science*, 32(6): 121–123 (in Chinese) [史礼貌, 解成喜. 2011. 新疆大蓟总黄酮的超声提取及抗氧化性研究. 食品科学, 32(6): 121–123]
- SOFO A, DICHIO B, XILOYANNIS C, MASIA A. 2004. Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree. *Plant Science*, 166(2): 293–302
- SUN FB, WANG JS. 2012. The influence of aqueous emulsion (AE) of tagetes on *Fusarium oxysporum* infect activity. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 40(10): 1085–1087 (in Chinese) [孙芬变, 王金胜. 2012. 万寿菊杀菌素水剂乳剂对尖孢镰刀菌侵染活性的影响. 山西农业科学, 40(10): 1085–1087]
- SUN J, XIE SN, LIU JZ, LIU JB, HAO JJ, DENG SZ. 2014. Morphological and molecular identification of *Fusarium* isolated from basal stalk of maize in Henan Province. *Acta Phytopathologica Sinica*, 44(2): 8–16 (in Chinese) [孙静, 谢淑娜, 刘佳中, 刘京宝, 郝俊杰, 邓士政. 2014. 河南省玉米茎基部镰刀菌的形态和分子鉴定. 植物病理学报, 44(2): 8–16]
- SUN JG, ZHOU X, XIAO JL, YIN J, ZHAN YG, ZHAN Y, JIANG LC, GONG Y. 2014. A convenient culture method for observing filamentous fungi. *Plant Physiology Journal*, 50(2): 229–232 (in Chinese) [孙建广, 周欣, 肖佳雷, 尹静, 詹亚光, 战妍, 姜丽超, 巩媛. 2014. 一种便于丝状真菌显微观察的培养方法. 植物生理学报, 50(2): 229–232]
- TAN Y, CUI YZ, JI XL, WEI YL, CUI XM. 2017. Research progress in microorganism changes of rhizospheric soil and root endogenous and ecology during continuous cropping of *Panax notoginseng*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 48(2): 391–399 (in Chinese) [谭勇, 崔尹贻, 季秀玲, 魏云林, 崔秀明. 2017. 三七连作的根际、根内微生物变化与生态学研究进展. 中草药, 48(2): 391–399]
- TANG H. 2017. Isolation and identification of main spoilage fungi on the post-harvest *Lotus* roots and antimicrobial mechanisms of air discharge. Master Thesis. Wuhan: Huazhong Agricultural University (in Chinese) [唐慧. 2017. 莲藕采后主要腐败菌的分离鉴定及空气放电对其抑菌机理的研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学]
- TIAN YY, CHEN L, XIE Y, LI MY, CHEN WL. Selection of antago-

- nistic bacteria to melon *Fusarium* wilt and their biocontrol effect in fields. Chinese Agricultural Science Bulletin, 27(5): 367–371 (in Chinese) [田永永, 陈立, 谢云, 李茂毅, 陈五岭. 2011. 甜瓜枯萎病拮抗细菌的筛选及大田防效试验. 中国农学通报, 27(5): 367–371]
- WANG BB, SHEN ZZ, ZHANG FG, WASEEM R, YUAN J, HUANG R, RUAN YZ, LI R, SHEN QR. 2016. *Bacillus amyloliquefaciens* strain W19 can promote growth and yield and suppress *Fusarium* wilt in banana under greenhouse and field conditions. Pedosphere, 26(5): 733–744
- WANG GQ, ZHANG T. 2011. The effect of *Asarum* essential oils on the hyphae membrane permeability of *Botrytis cinerea*. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 26(5): 5–8 (in Chinese) [王桂清, 张涛. 2011. 辽细辛精油对黄瓜灰霉病菌菌丝体细胞膜通透性的影响. 华北农学报, 26(5): 5–8]
- WANG YX, JI LZ, LIU Y, ZHANG Y, YI XM. 2015. Mechanism of extracts obtained from *Polygonum cuspidatum* to suppress *Valsa mali*. Chinese Journal of Biological Control, 31(1): 148–156 (in Chinese) [王远遐, 姬兰柱, 刘艳, 张悦, 易雪梅. 2015. 虎杖提取物对苹果腐烂病菌的抑菌机制. 中国生物防治学报, 31(1): 148–156]
- WEI DL. 2017. Green technical system renovation for notoginseng rot disease control. Master Thesis. Kunming: Yunnan Agricultural University (in Chinese) [魏丹丽. 2017. 三七根腐病绿色防治技术体系研发. 硕士学位论文. 昆明: 云南农业大学]
- WEI W, XU YL, ZHANG SJ, LI S. 2013. Denaturing gradient gel electrophoresis assay of population diversity and pathogenicity of dominant pathogenic *Fusarium* species of soybean root rot. Acta Phytopathologica Sinica, 43(5): 500–508 (in Chinese) [魏巍, 许艳丽, 张思佳, Li S. 2013. 大豆根腐病原镰孢菌种群多样性 DGGE 分析及其致病性研究. 植物病理学报, 43(5): 500–508]
- WEI ZX, YAO RY, TANG JY. 2013. Anti-phytopathogenic fungi active constituent in extract from *Cirsium japonicum* DC. Agrochemicals, 52(7): 529–532 (in Chinese) [魏朝霞, 姚茹瑜, 唐嘉义. 2013. 大蓟提取物对植物病原真菌的抑菌活性成分研究. 农药, 52(7): 529–532]
- YAN X, TIAN SJ, PEI Y, CHEN Y, ZHANG WP. 2017. Inhibitory effects of different Chinese herbs extracts against pathogenic fungi from tomato disease. Jiangsu Agricultural Sciences, 45(20): 129–134 (in Chinese) [严希, 田山君, 裴芸, 陈颖, 张万萍. 2017. 几种中药提取液对番茄病害病原真菌的抑制效果. 江苏农业科学, 45(20): 129–134]
- YOON MY, CHOIG J, CHOI YH, JANG KS, CHA B, KIM JC. 2011. Antifungal activity of polyacetylenes isolated from *Cirsium japonicum* roots against various phytopathogenic fungi. Industrial Crops Products, 34(1): 882–887
- YU L, YAN AF. 2012. A study of microorganisms in Gaoligong Mountains: screening of cellulolytic microbes. Journal of Biology, 29(2): 34–36, 76 (in Chinese) [余丽, 晏爱芬. 2012. 高黎贡山土壤中纤维素分解菌的筛选. 生物学杂志, 29(2): 34–36, 76]
- YU QT, YAO TS. 2018. Advances in tobacco root rot caused by *Fusarium*. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 46(17): 34–36 (in Chinese) [于庆涛, 姚廷山. 2018. 烟草镰刀菌根腐病研究进展. 安徽农业科学, 46(17): 34–36]
- YUAN WW, LI XF, GAO JM, WANG JM, HAO XJ, HE YC. 2013. Isolation and identification of *Fusarium* from roots of cucurbits crops in Shanxi Province. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 41(3): 246–250, 258 (in Chinese) [袁微微, 李新风, 高俊明, 王建明, 郝晓娟, 贺运春. 2013. 山西省瓜类作物根茎部镰刀菌的分离与鉴定. 山西农业科学, 41(3): 246–250, 258]
- ZHANG T, LI XY, YANG HM, CHU M, GAO Y, ZENG J, HUO XD, ZHANG T, LIN Q, MAHEMUTI O, et al. 2018. Biocontrol effect and mechanism of four strains of antagonistic bacteria against cotton *Verticillium* wilt. Chinese Journal of Biological Control, 34(6): 882–889 (in Chinese) [张涛, 李雪艳, 杨红梅, 楚敏, 高雁, 曾军, 霍向东, 张涛, 林青, 欧提库尔, 等. 2018. 4株拮抗细菌对棉花黄萎病的防治效果及机制. 中国生物防治学报, 34(6): 882–889]
- ZHAO YM, MA YN, CHEN CJ, CHEN YX, DONG X, XU FR. 2018. Inhibitory effects of water soluble extract from *Artemisia annua* leaves on the growth of rhizosphere *Fusarium oxysporum* associated with *Panax notoginseng*. Natural Product Research and Development, 30(3): 373–378, 353 (in Chinese) [赵雅萌, 马玉楠, 陈传娇, 程永现, 董鲜, 徐福荣. 2018. 黄花蒿叶水提取物对三七根际尖孢镰刀菌生长的抑制作用. 天然产物研究与开发, 30(3): 373–378, 353]
- ZHI F, KONG LY, PENG SQ. 2001. Progress in chemical and pharmacological studies on *Cirsium japonicum*. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 32(7): 664–667 (in Chinese) [植飞, 孔令义, 彭司勤. 2001. 中药大蓟的化学及药理研究进展. 中草药, 32(7): 664–667]
- ZHOU DB, JING T, ZHANG XY, QI DF, CHEN YF, WANG F. 2016. Screening and antibacterial activity of antagonistic bacteria against banana *Fusarium* wilt disease. Journal of Plant Protection, 43(6): 913–921 (in Chinese) [周登博, 井涛, 张锡炎, 起登凤, 陈宇丰, 王飞. 2016. 香蕉枯萎病拮抗菌筛选及其抑菌活性. 植物保护学报, 43(6): 913–921]
- ZHOU WN, GUO ZP, NIU JP, CAO XL, ZHAO T, JIANG WB, ZHANG Q, WANG Y, WANG QZ. 2019. Effect of methyl jasmonate on resistance of alfalfa root rot caused by *Fusarium oxysporum*. Acta Phytopathologica Sinica, 49(3): 379–390 (in Chinese) [周文楠, 郭志鹏, 牛军鹏, 曹新龙, 赵恬, 蒋文博, 张泉, 王瑜, 王俭珍. 2019. 外源茉莉酸甲酯对紫花苜蓿尖孢镰刀菌根腐病抗病性的作用. 植物病理学报, 49(3): 379–390]
- ZHOU X, ZHOU BL, LI ZW, DONG CF. 2007. Screening of plant extracts against eggplant *Verticillium dahlia*. Chinese Journal of Ecology, 26(8): 1217–1221 (in Chinese) [周璇, 周宝利, 李志文, 董春风. 2007. 抑制茄子黄萎菌的植物提取物的筛选. 生态学杂志, 26(8): 1217–1221]
- ZHU YJ, CHE JM, XIAO RF, SU MX, HUANG XY, LAN JL. 2007. Growth characteristics of *Fusarium oxysporum* Schl. Chinese Agricultural Science Bulletin, 23(8): 373–376 (in Chinese) [朱育菁, 车建美, 肖荣凤, 苏明星, 黄晓芸, 蓝江林. 2007. 尖孢镰刀菌 (*Fusarium oxysporum* Schl.) 的生长特性. 中国农学报, 23(8): 373–376]

(责任编辑:王璇)