

生物诱抗剂防治大白菜根肿病效果 及对根际微生物群落影响

刘 琴^{1,2} 吴毅歆³ 张学传⁴ 熊菊惠⁴ 邓林富⁵ 何鹏飞¹

1. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 2. 云南农业职业技术学院, 昆明 650213;
3. 云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201; 4. 云南省禄劝县农技推广总站, 禄劝 651500;
5. 云南省禄劝县云龙乡农业综合服务中心, 禄劝 651505

摘要 为寻找防治大白菜根肿病的更好方法, 利用枯草芽孢杆菌 XF-1 和香菇菌丝体研发生物诱抗剂香菇菌丝体裂解液(EXF-1)和 EXF-1 丙酮抽提液, 并在盆栽条件下测定其防治大白菜根肿病效果及对大白菜根际土壤微生物群落多样性及土壤微生物量的变化。结果发现: 施用 EXF-1 和 EXF-1 丙酮抽提物对大白菜根肿病的防效分别达 65.07% 和 42.20%。同时该生物诱抗剂增加了大白菜根际芽孢菌和根际真菌, 但减少了放线菌总量, 起到调控根际微生态环境、改变土壤微生物群落功能多样性、促进大白菜根生长的作用。Biolog 生态板培养表面 31 个碳源中糖类和氨基酸的方差贡献率分别为 35.0% 和 10.7%。表明施入生物诱抗剂 EXF-1 和 EXF-1 丙酮抽提物促进根生长的物质主要是糖类和氨基酸, 从而起到调节抑制大白菜根肿病发生的作用。

关键词 生物诱抗剂; 根际真菌; 芽孢菌; 生物量; Biolog 生态板

中图分类号 S 436.349 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)01-0032-06

大白菜味道鲜美可口, 营养丰富, 为世界范围内的一种重要蔬菜。然而, 根肿病已成为大白菜生产的制约因子。对根肿病的防治仍以化学药剂为主体, 除笔者所在研究室的枯草芽孢杆菌 XF-1(专利号: 200810058919.0)是世界上第一个正式登记(农药登记号: PD20152110)的生防制剂外, 还未见其他商品性生防制剂的报道。前人研究^[1]表明某些特定微生物对宿主植物具有化感作用, 有益的方面包括改变宿主微环境、促生、固氮和防御病害作用等, 有害的方面包括连作障碍、自毒作用、病原微生物和协同病原微生物致病等。微生物的化感作用与植物根际环境有着密切关系, 环境条件与土壤理化性质对根际微生物的多样性、功能群体及生物量有重要影响^[2-5]。

生物诱抗剂(biological resistance inducer, BRI)为本课题组研制出的一种由真菌胞壁降解物为基础制作的一种生物制剂。主要用不同的细菌裂解真菌, 筛选出不同组合, 实验室前期玉米、黄瓜预处理实验筛选出的组合防效较好的是 XF-1 和香菇, 菌株 XF-1 具有很好降解真菌细胞壁的能力^[6],

本试验中主要是用细菌 XF-1 裂解香菇形成的裂解液, 本文中主要指 EXF-1。实验室前期利用它的这种能力, 研制出一种由真菌细胞壁降解物为基础的生物诱抗剂 BRI 用于防治玉米圆斑病^[7]。为了解该 XF-1 菌株和香菇制成的生物诱抗剂的防病机制与微生物多样性间关系, 本研究在证实其对大白菜根肿病的防治效果的基础上, 采用 Biolog ECO 技术解析了其对土壤微生物群落的影响, 以期为大白菜根肿病防治机制研究提供有效参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试大白菜品种为“青岛 83-1”, 属根肿病易感病品种。供试生防菌株为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)XF-1(下称 XF-1), 香菇(*Lentinus edodes*)为实验室保存菌种。

1.2 试验设计

耕作层土壤灭菌后作为生长栽培基质, 装入上口直径 80.0 cm、下口直径 75.0 cm、高 20.0 cm 的大盆中, 每处理 10 盆, 重复 3 次, 随机排列。每盆播大

收稿日期: 2017-03-30

基金项目: 农业部公益性(农业)行业计划项目(201003029); 云南省绿色强省计划项目(2009EB060)

刘 琴, 博士研究生. 研究方向: 植物病害生物防治. E-mail: 328702951@qq.com

通信作者: 何鹏飞, 博士, 讲师. 研究方向: 植物病理学. E-mail: nanhudaozhu@sina.com

白菜种子 15 粒,出苗后定苗 5 株。试验设 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 4 个处理。 T_1 :XF-1 发酵液 (3×10^9 cfu/mL); T_2 :EXF-1 丙酮抽提物,即将香菇在马铃薯蔗糖培养基中培养成菌丝后,以 XF-1 菌株 (3×10^9 cfu/mL) 裂解 3 mg 香菇菌丝体 72 h 成液体状,再以丙酮抽提; T_3 :EXF-1 裂解液,即 T_2 不加丙酮抽提,为香菇菌丝体裂解物与 XF-1 的混合物,不含有香菇菌丝和细菌菌体; T_4 :未处理浇清水空白对照。 T_2 和 T_3 被称为生物诱抗剂。于出苗后 7 d 浇灌第 1 次诱抗剂后,浇灌根肿菌 10 mL,即每克土壤含有根肿菌休眠孢子量 10^7 个。于出苗后 10、15 d 再浇灌诱抗剂 2 次。每次每盆灌 100 mL (T_2 和 T_3 均用干物质 1 g)。于第 3 次处理完后的 3、6、10、15、20、30 d 采集土样,用于细菌、真菌、放线菌数量测定。出苗后第 55 天按照吴道军等^[8]方法调查根肿病的防治效果。

1.3 根际微生物的收集

采用抖落法,取植株根围土。采样时,在每个重复中随机取 3 株根围土,混匀,过 2 mm 筛后备用。其中第 3 次浇灌后 30 d 的土样分成 2 份:1 份用于测定微生物群落水平多样性 (community-level physiological profiles, CLPP),另 1 份装入无菌塑料袋内,贮存于 4 °C 的冰箱中,用于芽孢细菌、真菌和放线菌数量的测定,其他时段所取土样只用于微生物数量的测定。

1.4 土壤微生物数量测定与计数

1) Biolog 接种液制备。参照 Schutter 等^[9] Biolog Eco-Plates (Biolog Inc., Hayward, CA, USA, 下称 ECO 板) 的试验方法,评价生物诱抗剂对土壤微生物的功能多样性的影响。称取 5 g 土壤加入 45 mL 无菌的 0.85% NaCl 溶液中,在摇床上以 200 r/min 的转速振荡 30 min 后静置 15 min,取上清液,并用同样的 NaCl 溶液分别稀释成 10^{-3} 倍接种液。

接种菌悬液和读数:将 Biolog ECO 平板从冰箱内取出,预热到 25 °C。将菌悬液分别接种在 Biolog ECO 平板的各孔中。每孔 150 μ L,每个样 32 孔。每块板 3 个重复。将加好样的 Biolog ECO 用毛巾加盖,置于保湿保鲜盒在 25 °C 恒温箱内进行培养。培养过程中分别在 4、24、48、72、96、120、144、168 h 读取 590 nm 波长的数据。

2) 芽孢细菌、真菌和放线菌数量分析。采用牛肉膏蛋白胨培养基分离培养土壤中的芽孢菌,28 °C

条件下培养 2~3 d;采用改良高氏 I 号培养基分离放线菌^[10],28 °C 培养 7~10 d;真菌采用马丁氏培养基,25 °C 培养 5~7 d^[11]。芽孢细菌数量的检测:将稀释好的土样悬液 (10^{-1} 、 10^{-2} 、 10^{-3}) 在 80 °C 的水浴锅中保温 10 min,以便杀死不耐高温的真菌、细菌、放线菌及其他土壤生物,然后涂布于平板培养基上,于 (30 ± 1) °C 培养 2~4 d 后,记数菌落数。各处理 3 次重复,菌量以菌落数 cfu/g 土样表示。

1.5 根际微生物群落代谢多样性的 Biolog 分析

将 ECO 板从冰箱内取出,预热到 25 °C。用 8 道移液器将土壤悬液分别接种在 ECO 板的各孔中。每孔 150 μ L,每个样 32 孔。每块板 3 个重复。将加好样的 ECO 板盖好盖子,置于保温盒中于 25 °C 培养。在培养过程中,分别于 4、24、48、72、96、120、144 h 读取数据 (590 nm 波长)^[12]。

1.6 数据分析

以 31 个孔的颜色平均变化率 (average well color development, AWCD) 作为整体活性的有效指数。常采用培养 120 h 的数据进行土壤微生物碳源利用分析和主成分分析,一般用来描述微生物对碳源的代谢活性,计算公式如下: $AWCD = \sum (C - R) / n$,其中 C 是每一个孔里的颜色变化 (光密度), R 是微孔板上空白孔的光密度, n 是碳源数目。Biolog ECO 微孔板碳源数目包括六大类共 31 种,具体为:10 种糖类、6 种氨基酸类、7 种羧酸类、4 种多聚物类、2 种酚酸类以及 2 种胺类化合物^[13]。碳源 3 次重复。以 Multibase 2014 及 MetaboAnalyst 3.0 进行最小二乘法判别法 (PLS-DA) 和最小二乘法增强判别法 (PLS-EDA)^[14-16] 分析。

2 结果与分析

2.1 生物诱抗剂防治大白菜根肿病效果

在灭菌的大白菜花盆里直接种植白菜,出苗后第 55 天调查根肿病发生情况, T_1 、 T_2 、 T_3 处理均具有一定的防治效果 (表 1)。在 4 个处理中,菌株 EXF-1 裂解液 (T_3) 和菌株 XF-1 (T_1) 处理的植株发病率最低,为 26.19% 和 24.39%,其次是诱抗剂菌株 EXF-1 丙酮抽提物 (T_2) 处理的植株发病率,为 45.34%;CK 处理植株的发病率最高,为 71.73%。4 个试验处理结果中:XF-1 对大白菜根肿病的防效达到 68.81%,病情指数仅为 11.58;其次为菌株 EXF-1 裂解液处理,植株的病情指数为 13.27,防效 65.07%;EXF-1 丙酮抽提物 (T_2) 处理的植株的病

表 1 盆栽试验中生物诱抗剂防治大白菜根肿病效果

Table 1 Control effect of the biological resistance inducers on clubroot of Chinese cabbage in the pot experiment

处理 Treatment	调查总数 Total plant	发病株数 Diseased plant	发病率/% Disease incidence	病情指数 Disease index	防效/% Control effect
T1	43	10	24.39	11.85aA	68.81
T2	43	19	45.34	21.95bB	42.20
T3	43	11	26.19	13.27aA	65.07
CK	43	30	71.73	37.98cC	—

注:不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著,不同大写字母表示 0.01 水平上差异显著。Note: The different lowercase and capital letters mean the different significances at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

情指数为 21.95,对大白菜根肿病的防效为 42.20%。

2.2 施入生物诱抗剂对大白菜根际微生物区系的影响

随着大白菜苗的生长,各处理土壤中的细菌逐渐增加,真菌数量因处理不同有增加和减少之分,而放线菌数量逐渐下降。但各处理与对照相比,EXF-1 丙酮抽提物处理后,土壤中芽孢菌数量最高,其次为 XF-1、EXF-1 裂解液(图 1)。与对照相比,处理后 6 d,EXF-1 丙酮抽提物处理根际土中芽孢菌数量对数为 1.25 倍,处理后 15 d,EXF-1 裂解液处理根际土中芽孢菌数量对数为 1.30 倍;XF-1 处理后,根际土中真菌数量最高,其次为 EXF-1 丙酮抽提物、EXF-1 裂解液(图 2),与对照相比,EXF-1 丙酮抽提物处理后 6 d 变化不大,处理后 10 d 呈现下降趋势,这可能与其防治根肿病抑制根系微生物生长有关(图 3);与对照相比,EXF-1 裂解液处理后放线菌数量最高,其次为 XF-1 和 EXF-1 丙酮抽提物。各处理 6 d 后,放线菌数量变化不大;但处理 10 d 后,EXF-1 裂解液处理菌落数量对数是对照的 1.28 倍,EXF-1 丙酮抽提物菌落数量对数是对照的 1.20 倍。

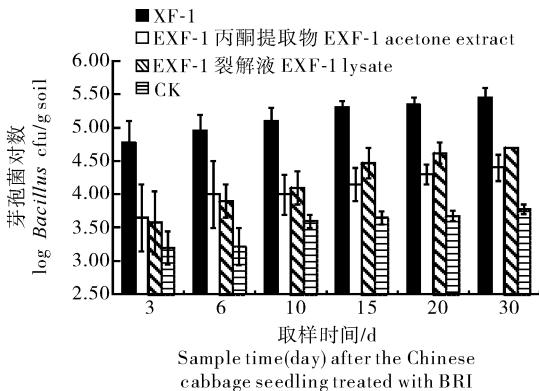


图 1 不同诱抗剂处理对大白菜根际土中芽孢菌数量的影响
Fig.1 Promotion of *Bacillus* biomass in the seedling rhizosphere of Chinese cabbage by applying BRIs

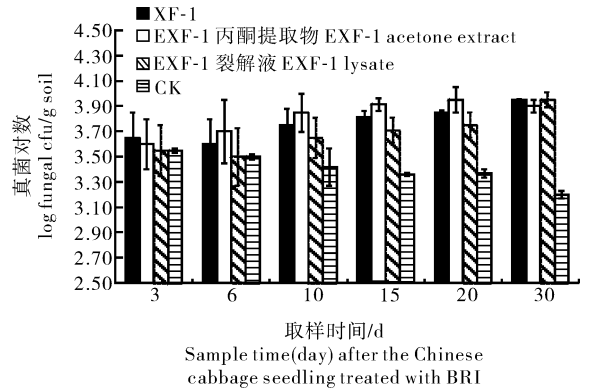


图 2 不同诱抗剂处理对大白菜根际土真菌生物量的影响
Fig.2 Effect of different BRI on the biomass of fungi around the seedling rhizosphere of Chinese cabbage

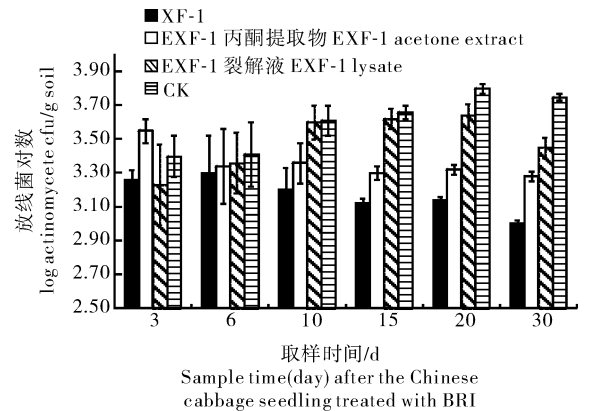


图 3 不同诱抗剂处理对大白菜根际放线菌生物量的影响
Fig.3 Effect of different BRI on the biomass of actinomycete growing in the seedling rhizosphere of Chinese cabbage

2.3 施入生物诱抗剂对大白菜根际微生物碳源代谢特征的影响

从大白菜施入 XF-1、EXF-1 丙酮抽提物和 EXF-1 裂解液处理后,根际微生物对碳源代谢特征均发生变化,各处理大白菜根际土 AWCD 显著高于不加任何处理的对照($P < 0.05$)。EXF-1 丙酮抽提物处理后,根际微生物的活力最大,EXF-1 裂解

液高于 XF-1 ($P < 0.05$) (图 4)。但六大类碳源在不同的处理中利用率差异显著, XF-1 发酵液(T1)、EXF-1 丙酮抽提物(T2)、EXF-1 裂解液(T3)利用率高于空白对照 T4 ($P < 0.01$)。就单类物质而言, T2、T3 处理中的微生物对酚类物质利用率较高 ($P < 0.01$), 对其他碳源利用率低于 XF-1 发酵液和空白对照处理 ($P < 0.01$); 除氨基酸外, XF-1 发酵液处理后的微生物对各类碳源利用率均低于其他处理 ($P < 0.01$)。依据大白菜根际微生物代谢活性 120 h 数据的微生物群落功能 PLS-EDA 分析, 31 个碳源, 糖类(PC1)和氨基酸(PC2)的方差贡献率分别为 35.0% 和 10.7%, 累计方差贡献率达到 45.7%。不同处理在根际形成了差别化的群落结构和特点, 从而产生了不同碳源的代谢特性, 处在同一方位的处理表明, 微生物群落对碳源代谢比较相近, 反之则远; 处理 XF-1 发酵液和 EXF-1 裂解液较为相近, 表

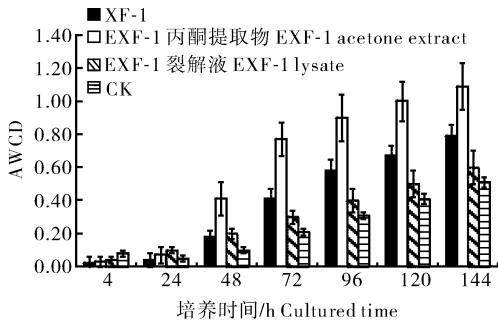


图 4 不同诱抗剂处理对大白菜根际微生物活力的影响
Fig.4 Promotion of microbial metabolic activity in the seedling rhizosphere of Chinese cabbage by applying different BRI

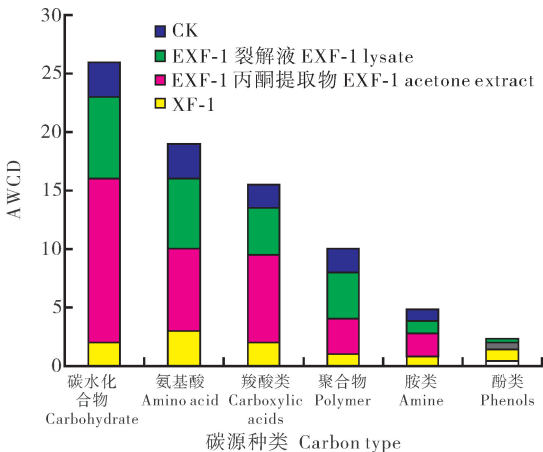
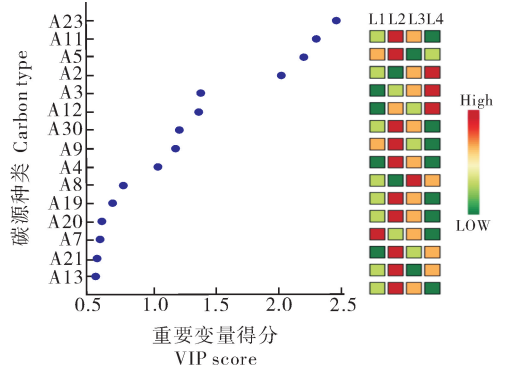


图 5 不同诱抗剂处理对大白菜根际微生物碳源种类利用率的影响

Fig.5 Effect of the BRI on the carbon sources utility of microbes in Chinese cabbage seedling rhizosphere



A2:丙酸甲基酯 Pyruvic acid methyl ester; A3:吐温 40 Tween 40; A4:吐温 80 Tween 80; A5:环糊精 Cyclodextrin; A7:D-纤维二糖 D-Cellulose; A8:α-D-乳糖 α-D-Lactose; A9:β-甲基-D-葡萄糖苷 β-Methyl-D-glucoside; A11:I-赤藓糖醇 I-Erythritol; A12:D-甘露醇 D-mannitol; A13:N-乙酰基-D-葡萄糖胺 N-Acetyl-D-glucosamine; A19:2-羟基苯甲酸 2-Hydroxy benzoic acid; A20:4-羟基苯甲酸 4-Hydroxy benzoic acid; A21:羟基丁酸 Hydroxy butyric acid; A23:α-丁酮酸 α-Ketobutyric acid; A30:甘氨酸-L-谷氨酸 Glycyl-L-glutamic acid.

图 6 不同诱抗剂处理对大白菜根际微生物单一碳源利用率的影响

Fig.6 Effect of the BRI on the sole carbon sources utility of microbes in the seedling rhizosphere of Chinese cabbage
明这两处理微生物碳源的代谢程度相近, EXF-1 丙酮抽提物与对照 XF-1 发酵液和 EXF-1 裂解液对碳源的利用率差异都较大(图 5)。由图 6 可知, 贡献较大的重要变量得分(VIP(variable important value) Score) ≥ 1.00 的碳源有 9 种, 其中糖类占 75.6%, 氨基酸类占 2.4%, 羧酸类占 22.0%, 是不同处理差异最大的碳源种类。按照重要性排序结果为 A4, 吐温 80; A5, 环糊精; A9, β-甲基-D-葡萄糖苷; A11, I-赤藓糖醇; A12, D-甘露醇; A19, 2-羟基苯甲酸; A23, α-丁酮酸; A30, 甘氨酸-L-谷氨酸, 是不同处理差异最大的碳源类型。

3 讨论

笔者所在实验室发现的枯草芽孢杆菌 XF-1 是一株高效防治根肿病的商品生防专利菌株, 主要通过产生蛋白酶裂解丝状真菌和根肿病菌休眠孢子^[17]以及分泌丰齐素实现十字花科作物根肿病防治。枯草芽孢杆菌 XF-1 与香菇形成的生物诱抗剂对大白菜根肿病和黄瓜白粉病有较好的防治效果, 但其裂解产物是否亦能作为激发子还尚未完全弄清楚。人们已知菇类多糖具有激活植物抗病能力, 并已开发出了多种产品。本研究采用 XF-1 裂解香菇

菌丝体用于防治根肿病,并初步了解它对根围微生物群落的影响。试验结果表明,在每克土 10^7 个休眠孢子的接种条件下,大白菜出苗后 7、10、15 d 连续浇灌 3 次,可实现对根肿病 68.81% 的防治效果, XF-1 与其裂解的香菇菌丝体的防效达 65.07%, 而单独施用香菇裂解物的丙酮抽提物对根肿病的防效为 42.20%, 远低于对黄瓜白粉病 89.10% 防效^[18], 这种裂解物本身不能杀死根肿病菌孢子(另文发表)。根据我们的研究结果,十字花科作物根肿病菌在种子萌发初期,特别是第 1 周为侵入高峰,且引起的症状最为严重,减产最多(未发表),本研究是在出苗后第 7 天才开始施用生防菌及生物诱抗剂,仍表现出较好的防治效果,防效低于对黄瓜白粉病效果的原因可能是根肿病菌一旦侵入,就难以通过提高植株抗性实现有效控制;并且黄瓜白粉病为地上部病害,这 2 种病害系统不一样。但在大白菜出苗当天施用生物诱抗剂能否提高控病效果还有待进一步证实。

本试验中生防菌 XF-1 和生物诱抗剂影响土壤微生物类群的组成,与空白对照相比,施入 3 d 后 EXF-1 发酵液丙酮抽提物(T2)处理、EXF-1 裂解液(T3)处理细菌和真菌数量明显增加,放线菌数量则无显著变化规律。同时增强了微生物对碳源的利用程度(AWCD),并显著提高了土壤微生物功能的多样性;这与顾美英等^[19]的研究结果一致,但与邓晓等^[20]的结果相反。本试验结果还表明,在不同处理对土壤-根际微生物区系,微生物生物量的变化规律表现为:细菌群落随培养时间推移,数量增加;对于大白菜根际细菌和真菌数量来说,施用 BRI 处理显著高于对照处理。但施用生防菌的处理放线菌数量显著低于对照,这与生防菌降低放线菌的生物量、提高根际细菌和根际真菌生物量的报道相一致^[13]。

不同生育时期施入生物诱抗剂,采用传统微生物分析方法与生态板相结合的方法,对大白菜根际土壤微生物区系和多样性的变化进行研究。结果表明,不同处理不同生育时期施入生物诱抗剂处理的土壤,各处理均能改善土壤中微生物数量,本试验中,生物诱抗剂 XF-1、EXF-1 发酵液丙酮粗提物、EXF-1 裂解液根际微生物的活力显著高于未处理的空白对照。T2 的颜色平均变化率(AWCD)最高,在 96 h 为空白对照的 4 倍,同时显色反应读数时颜色反应 T2 最明显,颜色反应分布均匀。这与 Yao 等^[21]结果相似,说明不同的发酵液及萃取处理

对根际微生物有重要影响。生物诱抗剂 T2 增强了微生物的活力,改善了大白菜根际微生态环境,调节大白菜根的生长发育,可能也是其防治根肿病作用机制之一。

参 考 文 献

- [1] 拱健婷,张子龙.植物化感作用影响因素研究进展[J].生物学杂志,2015,32(3):73-74.
- [2] CICATELLI A, BALDANTONI D, IOVIENO P, et al. Genetically biodiverse potato cultivars grown on a suitable agricultural soil under compost amendment or mineral fertilization: yield, quality, genetic and epigenetic variations, soil properties [J]. Science of the total environment, 2014, 493(5): 1025-1035.
- [3] SUN X, LONG G, ZHANG G H, et al. Properties of soil physical-chemistry and activities of soil enzymes in context of continuous cropping obstacles for *Panax notoginseng* [J]. Ecology environmental sciences, 2015, 24(3): 409-417.
- [4] ZHANG B C, ZHOU X B, ZHANG Y M. Responses of microbial activities and soil physical-chemical properties to the successional process of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, Xinjiang [J]. Journal of arid land, 2015, 7(1): 101-109.
- [5] SIJES J A, CAITHAML T, HERNANDEZ P, et al. Shifts in soil chemical properties and bacterial communities responding to bio-transformed dry olive residue used as organic amendment [J]. Microbial ecology, 2015, 70: 1-13.
- [6] 赵静,熊国如,王志远,等.枯草芽孢杆菌 XF-1 中脱乙酰几丁质酶在大肠杆菌中的表达及其抑菌活性[J].中国生物防治学报, 2011, 27(4): 504-509.
- [7] 薛原,吴毅毅,毛自朝,等.一种生物诱抗剂防治玉米圆斑病效果初报[J].玉米科学, 2013, 21(1): 144-148.
- [8] 吴道军,陈国康,杨晓琴,等.4 种甘蓝根肿病分级标准的应用评价[J].西南农业学报, 2013, 26(2): 591-594.
- [9] SCHUTTER M, DICK R. Shifts in substrate utilization potential and structure of soil microbial communities in response to carbon substrates [J]. Soil biology and biochemistry, 2001, 33(11): 1481-1491.
- [10] NIMISHA S, SUDARSAN Y, SHARMA R, et al. Rapid analysis of soil microbial diversity in western rajasthan [J]. Current science, 2008, 94(8): 1058-1061.
- [11] 甄文超,王晓燕,孔俊英,等.草莓根系分泌物和腐解物中的酚酸类物质及其化感作用[J].河北农业大学学报, 2004, 27(4): 15-19.
- [12] CHOI K H, DOBBS F C. Comparison of two kinds of biological microplates (GN and ECO) in their ability to distinguish among aquatic microbial communities [J]. Journal of microbiological methods, 1999, 36(3): 203-213.
- [13] PIETIKAINEN J, FRITZE H. Clear-cutting and prescribed burning in coniferous forest: comparison of effects on soil fungal and total microbial biomass, respiration activity and nitrification [J]. Soil biology and biochemistry, 1995, 27(1): 101-109.

- [14] CHEVALLIER S. Application of PLS - DA in multivariate image analysis[J]. *Journal of chemometrics*, 2006, 20(5): 221-229.
- [15] BUCHER A E, LANYON L E. Evaluating soil management with microbial community-level physiological profiles[J]. *Applied soil ecology*, 2005, 29: 59-71.
- [16] LI F M, SONG Q H, JEMBA P K, et al. Dynamics of soil microbial biomass C and soil fertility in cropland mulched with plastic film in a semiarid agro-ecosystem[J]. *Soil biology biochemistry*, 2004, 36(11): 1893-1902.
- [17] LI X Y, MAO Z C, WANG Y H, et al. Diversity and active mechanism of fengycin-type cyclopeptides from *Bacillus subtilis* XF-1 against *Plasmodiophora brassicae*[J]. *Journal of microbiology and biotechnology*, 2013, 23(3): 313-321.
- [18] 刘琴, 吴毅歆, 薛原, 等. 一种生物诱抗剂防治黄瓜白粉病效果及对诱导酶的影响[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(36): 367-371.
- [19] 顾美英, 徐万里, 茆军, 等. 新疆棉花黄萎病发病株根际土壤微生物生态特征[J]. *西北农业学报*, 2009, 18(2): 276-279.
- [20] 邓晓, 李勤奋, 侯宪文, 等. 香蕉枯萎病患病与健康蕉园土壤微生物群落功能多样性的比较研究[J]. *土壤通报*, 2013, 44(2): 355-362.
- [21] YAO Y H, WU F. Soil microbial community structure in cucumber rhizosphere of different resistance cultivars to fusarium wilt[J]. *Fems microbiology ecology*, 2010, 72(3): 456-463.

Control effect of biological resistance inducers on clubroot disease and rhizospheric microbe community of Chinese cabbage

LIU Qin^{1,2} WU Yixin³ ZHANG Xuechuan⁴ XIONG Juhui⁴ DENG Linfu⁵ HE Pengfei¹

1. *Plant Protection College, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;*

2. *Yunnan Agricultural Vocational-Technic College, Kunming 650201, China;*

3. *Agronomy and Biotechnology College, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;*

4. *Extension Station of Agricultural Technologies, Luchuan County, Luchuan 651500, China;*

5. *Agricultural Service Center of Yunlong Township, Luchuan County, Luchuan 651505, China*

Abstract To obtain more measures to control the clubroot disease of Chinese cabbage, *Bacillus subtilis* XF-1 lysis solution of *Lentinus edodes* mycelia (EXF-1) and its acetone extract were used as biological resistance inducers (BRI) and their effects on controlling clubroot disease and on microbial population in Chinese cabbage rhizosphere were tested based on the pot culture experiment. The results showed that EXF-1 and its acetone extract could control 65.07% and 42.20% of the clubroot disease, respectively. BRIs increased the numbers of *Bacillus* and fungi, but reduced that of actinomycetes. Based on the results of 120 h culture in Biolog Eco-Plates, sugars and amino acids could explain 35.0% and 10.7% of the variance among 31 principal factors. Therefore, BRI could control the clubroot disease and affect the microbial populations in the soil.

Keywords biological resistance inducer; rhizosphere fungus; *Bacillus*; biomass; biolug Eco-Plates

(责任编辑:边书京)