

西兰花植株残体还田对棉花黄萎病的防治效果及其安全性评价

赵卫松, 李社增, 鹿秀云, 郭庆港, 王亚娇, 王培培, 张晓云, 董丽红, 苏振贺, 马平*

(河北省农林科学院植物保护研究所/河北省农业有害生物综合治理工程技术研究中心/农业部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 保定 071000)

摘要: 本研究探讨了温室和田间试验条件下西兰花植株残体还田对棉花黄萎病的防治效果以及西兰花残体对棉花生长的安全性, 以期深入研究西兰花植株残体对棉花黄萎病的生态防治机制提供依据。将粉碎的西兰花植株残体与培养基质分别按 1%、3%、5%、7% 和 14% 处理混匀, 在 $(28 \pm 2)^\circ\text{C}$ 条件下分别腐解 7 和 30 d 后种植棉花, 测定其对棉花出苗率、株高的影响以及对黄萎病的防治效果。研究结果表明, 当腐解时间为 7 d, 西兰花残体处理比例为 1% 和 3% 时, 棉花出苗率与不添加西兰花残体的空白对照处理不存在显著差异, 但对株高具有显著促生长作用, 增幅分别为 19.46%、42.41% 和 36.96%; 西兰花残体添加比例为 5%、7% 和 14% 时, 对出苗具有不同程度的抑制作用。当腐解时间为 30 d 时, 上述各比例西兰花残体处理后的棉花出苗率和株高与空白对照之间差异不显著。西兰花残体处理显著降低了棉花黄萎病的发病率和病情指数, 其 21 d 后的防治效果达到 72.55%。田间试验表明, 西兰花残体在棉花全生育期内对黄萎病的防治效果为 43.06%。综合分析表明, 西兰花残体的施入, 促进了棉花生长, 降低了黄萎病的发病率和病情指数, 且在发病初期的防治效果优于后期。研究结果为深入研究西兰花残体防治棉花黄萎病的生态机制提供理论依据和技术指导, 最终为棉花黄萎病的绿色防控和化学农药的减量提供了新途径和思路。

关键词: 西兰花残体; 棉花; 安全性; 黄萎病; 防治效果

中图分类号: S476 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2019)03-0449-07

Safety Evaluation of Broccoli Residues Returning on Cotton Growth and Its Control Effect on *Verticillium* Wilt

ZHAO Weisong, LI Shezeng, LU Xiuyun, GUO Qinggang, WANG Yajiao, WANG Peipei,
ZHANG Xiaoyun, DONG Lihong, SU Zhenhe, MA Ping*

(IPM Center of Hebei Province/Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture/Institute of Plant Protection, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Baoding 071000, China)

Abstract: Plant disease was controlled to some extent by plant residues. In order to provide basis for further study on the ecological control mechanism of broccoli residues on cotton *Verticillium* wilt, the safety of broccoli residues on cotton growth was discussed, and the control effect of broccoli residue on *Verticillium* wilt was evaluated by greenhouse and field experiments. Cotton was planted at culture medium mixed with crushed broccoli residues, 7 days and 30 days after decomposition at $(28 \pm 2)^\circ\text{C}$, respectively. The emergence rate and plant height of cotton and the control effect of *Verticillium* wilt were determined. Greenhouse experiment showed that the application of broccoli residues had different effects on the growth of cotton. When the proportion of broccoli residues were 1%—3% at 7 days after decomposition, there was no significant difference in emergence rate between treatments, but

收稿日期: 2018-11-23

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0200601); 国家棉花产业技术体系 (CARS-15-17); 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (201503109)

作者简介: 赵卫松, 博士, 副研究员, E-mail: zhaoweisong1985@163.com; *通信作者, 博士, 研究员, E-mail: pingma88@126.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.03.012

the plant height were promoted by 19.46%, 42.41% and 36.96%, respectively. When the proportion of broccoli residues was 5%—14%, there were significant inhibitory effects on cotton emergence. When the proportion of broccoli residue were 1%—14% at 30 days after decomposition, there was no significant difference in emergence rate in comparison to control. Meanwhile, the incidence and disease index of *Verticillium* wilt were significantly decreased after treatment with broccoli residues. The relative control efficacy of broccoli residues on *Verticillium* wilt reached to 72.55%. Field experiments showed that the control efficacy of broccoli residues on *Verticillium* wilt was 43.06% during the whole growth period of cotton. The results could provide theoretical basis and technical guidance for further study on the ecological mechanism of broccoli residues in controlling cotton *Verticillium* wilt, and finally provide new ways and ideas for green control of cotton *Verticillium* wilt and reduction of chemical pesticides.

Key words: broccoli residues; cotton; safety; *Verticillium* wilt; control effect

棉花黄萎病 (cotton *Verticillium* wilt) 是由大丽轮枝菌 *Verticillium dahliae* Kleb 侵染引起的真菌性维管束病害, 被称为“棉花上的癌症”, 是导致棉花减产和纤维品质下降的主要病害^[1,2]。目前, 有关棉花黄萎病防治的研究多集中在抗性品种、农业措施及微生物菌剂和化学药剂等方面^[1,3-5], 在一定程度上达到了防治黄萎病的目的, 但由于该病原菌主要由土壤和种子传播, 寄主范围广, 流行性强, 至今仍缺乏低成本、绿色高效的防治技术^[2]。有研究报道利用植物化感作用原理, 采用间作、轮作、秸秆还田、残体深翻等种植模式, 改善耕地肥力和土壤微生物种群, 能够有效降低土传病害发生^[6]。因此, 利用植物及其残体被认为是植物保护和病害控制的有效途径之一^[7]。

目前很多研究表明, 残体或秸秆还田对病害具有积极的防治效果^[8-12]。Subbarao 等^[8]研究发现, 西兰花残体深翻后能够抑制花椰菜黄萎病的发生, 降低了土壤中大丽轮枝菌微菌核的数量; Inderbitzin 等^[9]研究表明, 西兰花残体深翻后降低了茄子黄萎病的发生, 并且土壤微生物区系由“真菌型”向“细菌型”占主导趋势的方向转化; 李淑敏等^[10]研究表明, 芥菜混入土壤中对茄子黄萎病的发生具有良好的防治效果, 改变了土壤微生物区系。乔俊卿等^[11]研究指出玉米秸秆还田能够降低番茄枯萎病害的发生。张政文等^[12]研究发现在一定程度上小麦秸秆还田能够降低赤霉病菌的存活率, 降低病害的发生。然而并不是所有的植物残体或秸秆还田都对病害具有防治作用, 在一定程度上某些植物残体或秸秆还田能够提高病害的发生^[13-15]。Chawla 等^[13]研究发现, 花生秸秆还田对棉花种子萌发具有抑制作用, 且秸秆用量与棉花黄萎病的发生呈正相关关系, 其认为秸秆还田为病原菌的繁殖提供了场所, 导致了土壤中大丽轮枝菌微菌核数量的增加。李洪林等^[14]研究指出水稻秸秆还田后能够增加稻瘟病、鞘腐病和纹枯病的发生。然而有关西兰花植株残体对棉花生长及其黄萎病发生影响方面的研究鲜有报道。

本研究开展了不同腐解时间的西兰花残体对棉花生长的影响, 明确西兰花残体使用的安全性, 在此基础上通过温室和田间试验对棉花黄萎病的防治效果进行评价, 为深入研究西兰花残体防治棉花黄萎病的生态机制提供理论依据和技术指导, 最终为制定西兰花残体作为棉花黄萎病有效防治措施的技术体系提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试西兰花品种为“炎秀”; 棉花品种“鄂荆 1 号”, 感黄萎病品种, 用于温室盆栽试验和田间试验; 大丽轮枝菌 *Verticillium dahliae* wx-1 均由河北省农林科学院植物保护研究所植物病害生物防治实验室提供。

培养基质: 采集连续多年种植棉花地块的耕作层土壤 (15~20 cm) 与泥炭土有机基质 (PINDSTRUP) 按照 2:1 比例充分混匀, 用于温室试验。

1.2 大丽轮枝菌孢子悬浮液的制备

将保存的大丽轮枝菌 wx-1 在 PDA 培养基平板上 25 °C 活化培养, 打取菌饼 (直径为 5 mm) 并挑取 5 个菌饼转接于装有 200 mL PDB 培养液的 300 mL 三角瓶中, 25 °C、180 r/min 振荡培养 7 d, 采用血球计

数板检测孢子浓度, 用无菌水调节孢子浓度至 1×10^7 孢子/mL, 备用。

1.3 温室试验西兰花植株残体对棉花生长的安全性评价

2017年7月至2018年10月, 在河北省农林科学院植物保护研究所日光温室内进行。西兰花残体收集与处理: 西兰花收获后将其剩余的植物组织部分(包括地上部和根部)带回实验室, 用小型粉碎机(DR-801, 山东鑫通炊具机械厂)打碎残体, 称取西兰花新鲜残体, 按照不同比例(1%、3%、5%、7%和14%, w/w)与供试培养基混匀, 喷洒少量的水保持土壤含水量为30%, 覆盖塑料薄膜, 在温室中(28 ± 2) °C条件下分别腐解7和30 d, 之后将含有不同比例西兰花残体的培养基装于书式育苗盒中(长 \times 宽 \times 高, 25 cm \times 20 cm \times 10 cm, 每盒4孔/排 \times 8排)。挑选均匀一致的种子, 先用70%的乙醇处理3 min, 再用1% (v/v)的次氯酸钠消毒10 min, 无菌水冲洗3次, 按照3粒种子/孔将种子播种于含有上述不同比例西兰花残体的育苗盒中, 以不含有西兰花残体的培养基为空白对照(CK), 每个处理4次重复。将育苗盒置于日光温室内进行培养, 在此期间加强植株虫害和肥水管理, 并适时补充水分保持湿度。温室培养一定时间后, 调查腐解不同时间的西兰花植株残体对棉花植株生长相关性状(出苗、株高)的影响, 株高采用卷尺测定。通过计算校正出苗率、株高指标评价不同腐解时间的西兰花残体对棉花生长的安全性, 并初步明确西兰花植株残体适宜的用量范围。出苗率(%) = (出苗数量/播种数量) \times 100; 校正出苗率(%) = (处理的出苗率/空白对照的出苗率) \times 100。

1.4 温室试验评价西兰花残体对棉花黄萎病的防治效果

在1.3中明确西兰花残体适宜用量的基础上, 通过温室试验评价西兰花残体对棉花黄萎病防治效果。将西兰花残体与培养基按照2.5:100 (w/w)的比例进行混匀, 腐解7 d后按照1.3方法种植棉花, 待棉苗长至2片真叶1片心叶时, 从育苗盒中取出棉花植株, 剪去根尖1~2 cm, 重新放回原来育苗盒中, 然后整个育苗盒在盛有2 L的菌株wx-1孢子悬浮液(10^7 分生孢子/mL)的盒子中浸泡接种30 min, 之后重新放置在原来的环境中培养, 接种后21 d开始调查发病情况, 计算病情指数、发病率和防治效果。参考金利容等^[16]病情指数分级标准调查病情指数, 0级: 健株; 1级: 1~2片子叶发病; 2级: 1片真叶发病; 3级: 2片以上真叶发病或脱落; 4级: 全株枯死。发病率(%) = (发病株数/调查总株数) \times 100, 病情指数(DI) = \sum (相应病级 \times 各级病株数) / (最高病级 \times 总株数) \times 100, 防治效果(%) = (对照病情指数 - 处理病情指数) / 对照病情指数 \times 100。

1.5 田间试验评价西兰花残体对棉花黄萎病的防治效果

2017年8月—2018年10月在河北省邯郸市曲周县槐桥乡西漳头村进行。选取地势平坦、肥力相对均匀、多年连续种植棉花的地块作试验田。土壤基本理化性质为有机质含量16.2 g/kg, 铵态氮10.6 mg/kg, 速效磷34.7 mg/kg, 速效钾159.9 mg/kg, 土壤EC值226.5 μ S/cm, pH 7.8~8.0。2017年8月种植西兰花, 行距70 cm, 株距35 cm, 种植密度约为2720株/666.7 m²; 2017年10月中旬收获西兰花, 之后将剩余的植株地上部分和地下部分经粉碎机粉碎、旋耕机深翻25~30 cm作为处理区(T, 施入西兰花残体约为3808 kg/666.7 m²), 未种植西兰花的地块做为空白对照区(CK)。2018年4月20日分别在处理区和对照区播种棉花(品种鄂荆1号), 每个处理3次重复, 每小区面积为30 m² (长6 m, 宽5 m), 行距50 cm, 株距35 cm。在棉花生长期, 按照当地生产技术加强肥水、植株虫草害管理, 在黄萎病发生时期, 按照李社增等^[17]分级标准于7月19日、8月22日和9月3日调查病情, 分别记作DI_{T1}、DI_{T2}和DI_{T3}, 并按照1.4的公式计算病情指数和防治效果。病情调查标准如下, 0: 棉株健康, 无病叶, 生长正常; 1: 棉株1/4以下叶片发病, 变黄萎焉; 2: 棉株1/4以上, 1/2以下叶片发病, 变黄萎焉; 3: 棉株1/2以上, 3/4以下叶片发病, 变黄萎焉; 4: 棉株3/4以上叶片发病, 或叶片全部脱落, 棉株枯死。

为了明确西兰花残体处理在整个棉花生育期内对棉花黄萎病的防治效果, 建立病情指数-时间的病程发展曲线图并计算病程发展曲线下面积(area under disease progress curve, AUDPC), 进一步计算整体防治效果。AUDPC = $1/2 \times [(DI_{T1} + DI_{T2}) / (T2 - T1 + 1) + (DI_{T2} + DI_{T3}) / (T3 - T2 + 1)]$, 整体防治效果(%) = (对照的AUDPC - 处理的AUDPC) / 对照的AUDPC \times 100。

1.6 数据统计与分析

试验数据采用Microsoft Excel 2010进行数据整理和SigmaPlot 12.0进行作图, 采用SPSS 17.0软件的

邓肯新复极差法 (DMRT) 进行单因素方差分析。

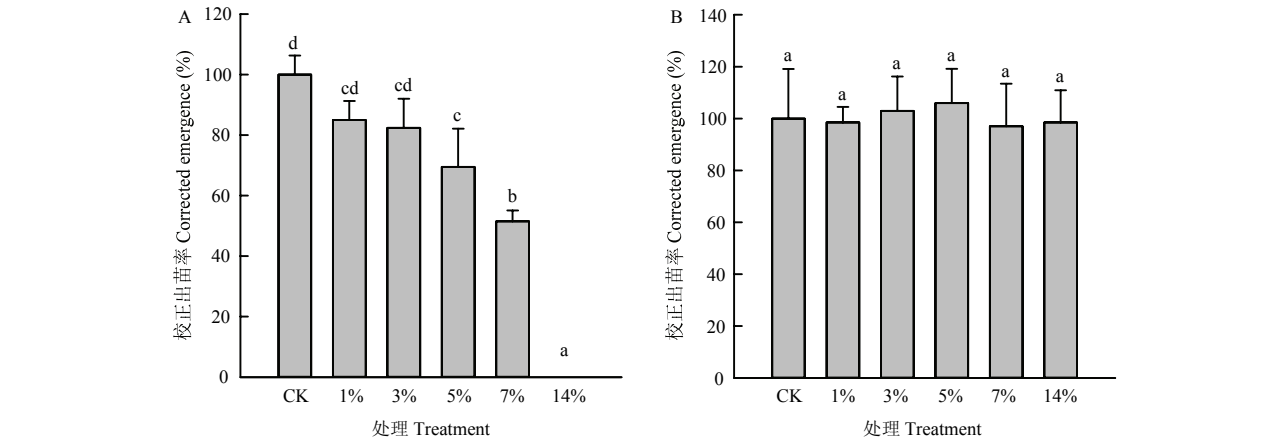
2 结果与分析

2.1 西兰花残体对棉花出苗的影响

温室培养基质中添加不同比例的西兰花残体腐解不同时间后对棉花出苗表现出不同程度的影响, 试验结果表明, 腐解 7 d 后, 西兰花残体比例 1%、3%、5%、7% 和 14% 处理的校正出苗率分别为 84.96%、82.39%、69.51%、51.49% 和 0%, 结果表明出苗率随着西兰花残体添加比例的增加呈下降趋势; 当西兰花残体达 14% 时, 达到完全抑制效果。西兰花残体比例为 1% 和 3% 时, 校正出苗率与空白对照间不存在显著性差异, 而西兰花残体比例 $\geq 5\%$ 所有处理的校正出苗率均显著低于空白对照, 对棉花出苗表现出显著的抑制作用 (图 1A)。腐解 30 d 后, 添加西兰花残体处理的出苗率与空白对照之间不存在显著性差异 (图 1B)。

2.2 西兰花残体对棉花株高的影响

播种 30 d 后, 西兰花残体比例分别为 1%、3% 和 5% 处理的棉花株高显著高于空白对照的棉花株高 (25.7 cm), 增长率分别为 19.46%、42.41% 和 36.96% (图 2A)。腐解 30 d 后, 除了西兰花残体比例为 1% 的株高 (30.87 cm) 低于空白对照 (32.30 cm) 外, 其他西兰花残体比例对棉花植株株高具有一定的促生长作用, 但与空白对照差异不显著 (图 2B)。



注: 图中误差线表示标准差大小, 不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。
Note: Values in the chart were mean \pm SE. Different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level among different treatments. The same below.

图 1 培养基中西兰花残体不同比例处理对棉花出苗的影响

Fig. 1 Effects of different proportions of broccoli residues in culture substrates on cotton emergence

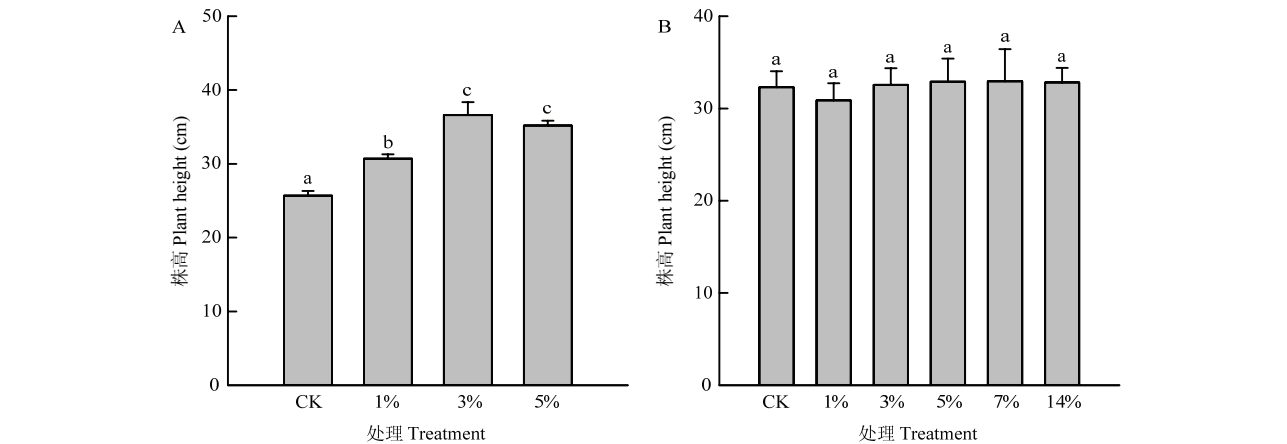


图 2 西兰花残体不同比例处理对棉花生长的影响

Fig. 2 Effects of different proportions of broccoli residues in culture substrates on cotton growth

2.3 西兰花残体对棉花黄萎病防治效果温室试验评价

研究了培养基质中添加西兰花残体（比例为 2.5%）与未添加西兰花残体处理（空白对照）的黄萎病发生情况结果表明，接种 21 d 后空白对照的发病率和病情指数分别为 70.06%和 22.45，添加西兰花残体处理后的发病率和病情指数分别为 24.65%和 6.16，对棉花黄萎病的防治效果为 72.55%，随着病程的发展，接种大丽轮枝菌 35 d 后，发病率和病情指数呈上升趋势，防治效果仅为 13.99%（表 1）。

表 1 西兰花残体对棉花黄萎病的防治效果

处理 Treatment	接种 Inoculation 21 d			接种 Inoculation 35 d		
	发病率	病情指数	防治效果	发病率	病情指数	防治效果
	Incidence rate (%)	Disease index	Control effect (%)	Incidence rate (%)	Disease index	Control effect (%)
2.5%西兰花残体 Broccoli residues	24.65±5.75 a	6.16±1.44 a	72.55±6.40	93.21±6.11 a	40.15±1.51 a	13.99±3.25
空白对照 Control	70.06±10.68 b	22.45±1.81 b	—	100.00±0.00 b	46.69±5.95 b	—

注：表中的数值分别代表平均值±标准差，同一列中的小写字母表示在 0.05 水平差异显著。
Note: Values were mean±SD in the table. Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level.

2.4 西兰花残体还田对棉花黄萎病的防治效果田间小区试验评价

西兰花残体对棉花黄萎病的田间试验结果表明，在调查时间范围内（7 月 19 日至 9 月 3 日）不同处理的棉花黄萎病病情指数呈上升趋势，西兰花残体处理后能够降低黄萎病的病情指数（图 3A）。在棉花发病初期（7 月 19 日），西兰花残体处理的防病效果达到 78.35%，随着病程发展，西兰花残体处理对黄萎病的防效有所下降，为了客观评价西兰花残体在整个生育期内对棉花黄萎病的防治效果，建立了病情指数—时间病程发展曲线图，整体防治效果达到 43.60%（图 3B）。

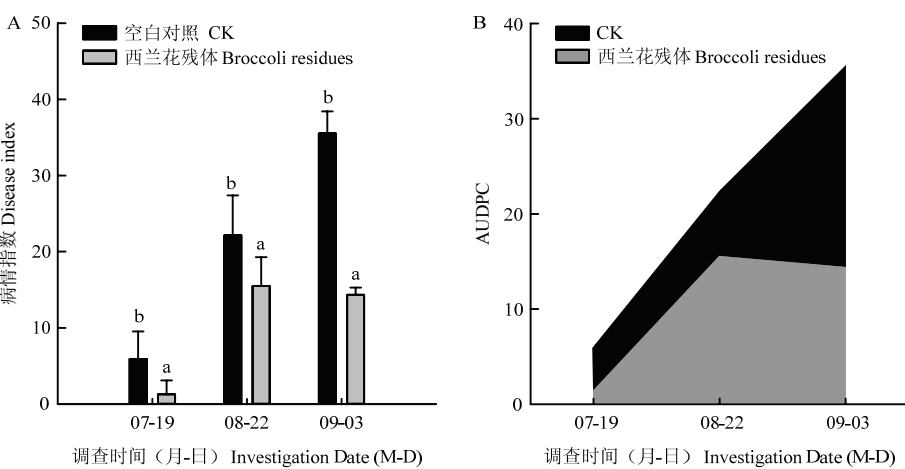


图 3 西兰花残体对棉花黄萎病病情指数的影响（月-日）

Fig. 3 Effects of broccoli residues on disease index of *Verticillium* wilt of cotton

3 讨论

西兰花残体对棉花植株生长的研究结果综合分析表明，西兰花残体腐解时间的长短对棉花生长的安全性用量具有重要的作用。由图 1 可知，腐解 7 d 后不同比例的西兰花残体处理对出苗和株高具有不同程度的影响，其中西兰花残体比例在 1%和 3%时，出苗率与空白对照之间不存在显著差异，但对棉花的株高具有促生长作用；当西兰花残体比例在 5%和 7%时，对棉花的株高有促生长作用，但对出苗具有抑制作用；当西兰花残体比例为 14%时完全抑制棉花出苗。腐解 30 d，西兰花残体处理在出苗和株高方面与空白对照差异不显著，综合以上因素考虑得出：西兰花残体腐解时间较短时，西兰花残体适宜的使用范围为 1%~3%，若腐解时间较长时，西兰花残体适宜的使用范围可适当放宽。李巧峡等^[18]研究认为高浓度的化感物

质对莴苣种子萌发和幼苗生长具有显著的抑制作用。本试验中腐解不同时间的西兰花残体处理对棉花生长的促生长作用不同,这可能是由于不同比例的西兰花残体腐解产生的化感物质造成的,具体还有待进一步分析验证。

棉花黄萎病属于土传病害,发病的严重程度除受环境因素如温度、湿度、土壤酸碱度等影响外,主要还取决于土壤中病原菌的数量。国内外研究表明,作物残体或秸秆还田后能够有效防治作物黄萎病的发生^[8,10,19-21]。Subbarao等^[8]研究得出,西兰花残体还田后能够抑制花椰菜黄萎病的发生,通过平板分离法发现西兰花残体处理降低土壤中大丽轮枝菌微菌核的数量;Davis等^[19]研究表明,甜玉米秸秆还田后能够抑制马铃薯黄萎病的发生,对其防治效果为60%~70%,但其秸秆还田后对土壤中的大丽轮枝菌数量并没有直接影响,而是降低了植株地上部位和根部的病原菌定殖数量。Ikeda等^[20]研究发现西兰花残体深翻后能够抑制茄子黄萎病的发生,利用QNRT-PCR检测不同处理土壤中病原菌动态变化,结果表明西兰花残体深翻后降低了土壤中大丽轮枝菌DNA数量的拷贝数;Larkin等^[21]研究发现芥菜残体深翻后能够抑制马铃薯黄萎病的发生。李淑敏等^[10]研究表明,不同种类的芥菜混入土壤中对茄子黄萎病具有良好的防治效果,并且降低了耕作层土壤中大丽轮枝菌的数量。

本研究温室试验表明,土壤中添加2.5%西兰花残体处理对黄萎病的防治效果可达70%以上,随着黄萎病病程的发展,防治效果呈下降趋势(13.99%)。进一步的田间试验表明,在棉花黄萎病发病初期(7月19日),西兰花残体处理明显降低了棉花黄萎病的病情指数,防治效果达到80%左右,随着棉花黄萎病病程发展(8月22日和9月3日),防病效果有所下降,但在整个棉花生育期内对黄萎病的整体防病效果仍达到43.60%。综合温室和田间试验结果分析得出,西兰花残体使用能够有效降低黄萎病的发生,并且其防治效果在发病初期优于后期。关于西兰花残体使用后对棉花根际土壤中病原菌数量的影响如何,还有待于进一步研究。此外,针对施用西兰花残体防治作物黄萎病可能出现后期防治效果不佳的情况,为了避免此类情况的发生,在农业生产上是否可结合使用微生物类杀菌剂从而达到持久防治该病害发生的目的,需要进一步研究证明。

关于西兰花残体对土壤理化性状、微生物多样性的影响尚待深入研究。同时,高通量测序技术已成为一种分析土壤微生物的物种多样性变化规律和土壤质量评价的常用方法,从微生态角度对西兰花残体不同处理的土壤微生物群落组成的变化规律做进一步分析以及土壤微生物组成与土壤理化性质之间的相关性分析将是我们今后的重点工作之一。

参 考 文 献

- [1] 王娜,陶伟,陈双林,等.植物内生细菌在棉花体内的定殖动态及对棉花黄萎病的生物防治效果[J].植物保护学报,2016,43(2):207-214.
- [2] Fradin E F, Thomma B P H J. Physiology and molecular aspects of *Verticillium* wilt diseases caused by *V. dahliae* and *V. albo-atrum*[J]. Molecular Plant Pathology, 2006, 7(2): 71-86.
- [3] Oktay E, Kemal B. Biological control of *Verticillium* wilt on cotton by the use of fluorescent *Pseudomonas* spp. under field conditions[J]. Biological Control, 2010, 53(1): 39-45.
- [4] Kurt S, Dervis S, Sahinler S. Sensitivity of *Verticillium dahliae* to prochloraz and prochloraz-manganese complex and control of *Verticillium* wilt of cotton in the field[J]. Crop Protection, 2003, 22(1): 51-55.
- [5] Zheng Y, Xue Q Y, Xu L L, et al. A screening strategy of fungal biocontrol agents towards *Verticillium* wilt of cotton[J]. Biological Control, 2011, 56(3): 209-216.
- [6] 韩哲,徐丽红,刘聪,等.小麦残茬对连作西瓜生长及根际土壤微生物的影响[J].中国农业科学,2016,49(5):952-960.
- [7] 连宾,王进军,陆玲.植物与微生物的化感作用[J].南京师范大学学报(自然科学版),2007,30(1):88-94.
- [8] Subbarao K V, Hubbard J C, Koike S T. Evaluation of broccoli residue incorporation into field soil for *Verticillium* wilt control in cauliflower[J]. Plant Disease, 1999, 83(2): 124-129.
- [9] Inderbitzin P, Ward J, Barbella A, et al. Soil microbiomes associated with *Verticillium* wilt suppressive broccoli and chitin amendments are enriched with potential biocontrol agents[J]. Phytopathology, 2018, 108(1): 31-43.
- [10] 李淑敏,郑成斌,张润芝,等.生物熏蒸对大棚连作茄子产量和黄萎病发病率影响[J].东北农业大学学报,2017,48(5):35-41.

- [11] 乔俊卿, 刘卮洲, 余翔, 等. 集成生物防治和秸秆还田技术对设施番茄增产及土传病害防控效果研究[J]. 中国生物防治学报, 2013, 29(4): 547-554.
- [12] 张政文, 孙秀娟, 胡乃娟, 等. 麦秸掩埋还田对赤霉菌(*Fusarium graminearum* Sehwa.)存活率和水稻带菌的影响[J]. 植物病理学报, 2014, 44(4): 443-448.
- [13] Chawla S, Woodward J E, Wheeler T A. Influence of *Verticillium dahliae* infested peanut residue on wilt development in subsequent cotton[J]. International Journal of Agronomy, 2014, 2012(12): 1-5.
- [14] 李洪林, 刘凤艳, 龚振平, 等. 稻秆还田对水稻主要病害发生的影响[J]. 作物研究, 2012, 26(1): 7-10.
- [15] Ochiai N, Powelson M L, Crowe F J, *et al.* Green manure effects on soil quality in relation to suppression of *Verticillium* wilt of potatoes[J]. Biology and Fertility of Soils, 2008, 44(8): 1013-1023.
- [16] 金利容, 万鹏, 黄薇, 等. 长江流域棉花黄萎病菌的致病力多样性和遗传多样性分析[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2016 (2): 120-126,134.
- [17] 李社增, 马平, 刘杏忠, 等. 利用拮抗细菌防治棉花黄萎病[J]. 华中农业大学学报, 2001, 20(5): 422-425.
- [18] 李巧峡, 张丽娟, 师晓晓, 等. 化感物质对苜蓿种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2012, 48(2): 74-77.
- [19] Davis J R, Huisman O C, Everson D O, *et al.* The suppression of *Verticillium* wilt of potato using corn as a green manure crop[J]. American Journal of Potato Research, 2010, 87(2): 195-208.
- [20] Ikeda K, Banno S, Furusawa A, *et al.* Crop rotation with broccoli suppresses *Verticillium* wilt of eggplant[J]. Journal of General Plant Pathology, 2015, 81: 77-82.
- [21] Larkin R P, Honeycutt C W, Olanya M O. Management of *Verticillium* wilt of potato with disease-suppressive green manures and as affected by previous cropping history[J]. Plant Disease, 2011, 95(5): 568-576.