

3 种作物幼嫩茎叶干粉对连作辣椒幼苗生长 及根际土壤生物特性的影响

张福建^{1,2}, 王馨悦¹, 陈昱¹, 王丰¹, 范淑英¹, 吴才君^{1*}

(1 江西农业大学农学院, 江西南昌 330045; 2 上海市农业科学院生物技术研究所, 上海 201106)

摘要:【目的】探究 3 种作物幼嫩茎叶干粉施入对连作辣椒幼苗生长及根际土壤的影响, 旨在寻找一种安全有效的缓解辣椒连作障碍的方式。【方法】以线椒‘辛香 8 号’为供试作物, 在江西农业大学生态园蔬菜试验基地进行了盆栽试验。供试土壤取自江西省农业科学院试验基地辣椒连作 5 年的土壤, 将芥菜、大麦苗和芹菜的幼嫩茎叶烘干粉碎后, 用于处理连作土壤。设置 4 个处理, 以不加任何作物幼嫩茎叶干粉的连作土为对照 (CK), 按 1 : 50 (干重) 添加芥菜粉 (M)、大麦苗粉 (B) 和芹菜粉 (C)。定植 30 天后, 测定辣椒叶绿素含量和光合效率, 测量植株生长状况及生物量, 并分析了土壤微生物种群数量。【结果】与 CK 相比, 3 个处理均能够促进辣椒幼苗的生长发育。其中以 M 和 B 处理效果最好, 定植 30 天时辣椒株高、茎粗、生物量以及壮苗指数均高于对照; 同时 3 个处理可以促进辣椒根系生长, 与对照相比, 辣椒根系长度、根系表面积以及根系体积存在显著差异。处理后辣椒叶片 PS II 最大量子产量 (F_v/F_m)、PS II 实际量子产量 [$Y(II)$] 和光化学淬灭系数 (qP) 均有所提高, 但 3 个处理对非化学淬灭系数 (NQP) 影响不大。M 处理的辣椒叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a + b 含量均高于其他处理, 较对照分别增加了 25.3%、45.4% 和 30.6%。3 个处理均能够提高辣椒土壤 pH 值, 分别比 CK 提高了 27.6%、24.5% 和 25.4%。3 个处理均能增加土壤放线菌、细菌和总菌数量, 其中放线菌数量比 CK 增加了 71.9%、73.8% 和 67.5%, 细菌数量比 CK 增加了 1.18%、55.5% 和 30.4%, 总菌数量比 CK 增加了 4.55%、57.1%、33.9%。3 个处理均能降低土壤真菌数量, 降幅分别为 69.8%、68.1% 和 75.8%。3 个处理均能显著降低土壤电导率, 分别比 CK 降低了 44.2%、35.1% 和 48.0%。处理后的辣椒土壤蔗糖酶、酸性磷酸酶和多酚氧化酶活性显著提高, 但土壤脲酶活性要显著低于对照。【结论】3 种作物干粉处理均能促进连作辣椒的生长发育, 提高土壤蔗糖酶、酸性磷酸酶和多酚氧化酶活性, 增加土壤细菌和放线菌数量, 降低真菌数量, 有助于改善土壤环境和微生物结构, 其中以芥菜粉处理效果最佳。

关键词: 芥菜粉; 大麦苗粉; 芹菜粉; 辣椒幼苗; 连作障碍; 土壤微生物结构

Effects of applying dry powders of three crop seedlings on pepper seedling growth and rhizosphere soil biological characteristics in continuous cropping system

ZHANG Fu-jian^{1,2}, WANG Xin-yue¹, CHEN Yu¹, WANG Feng¹, FAN Shu-ying¹, WU Cai-jun^{1*}

(1 Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China; 2 Biotechnology Research Center of Shanghai Academy of Agriculture Science, Shanghai 201106, China)

Abstract: 【Objectives】To find a safe and effective way to alleviate pepper continuous cropping obstacle, the effects of applying dry powder of three crops seedlings on pepper seedling growth and rhizosphere soil biological characteristics. 【Methods】A pot experiment was conducted with four treatments: control treatment (CK, continuous cropping soil without application of plant dry powder), using mustard seedlings dry powder (M), barley young stem and leaf dry powder (B) and celery young stem and leaf dry powder (C). 【Results】Compared

收稿日期: 2018-10-08 接受日期: 2018-12-19

基金项目: 江西省现代农业科研协同创新专项经费 (JXXTCX2015005-002); 江西省重点研发计划项目重大项目 (20161ACF60015); 江西省现代农业产业技术体系建设 (JXARS-06)。

联系方式: 张福建 E-mail: zhangfujianxau@163.com; * 通信作者 吴才君 E-mail: wucj@126.com

with CK, three other treatments promoted the growth and development of pepper seedlings. Among them, M and B treatments had the best treatment effect, and the height of the pepper plant at 30 days after planting was higher than that in CK. At the same time, the three treatments promoted root growth of pepper, leading to significant differences in root length, root surface area and root volume. Processed pepper leaf PS II maximum quantum yield (Fv/Fm), PS II actual quantum yield [Y (II)] and light chemical quenching coefficient (qP) improved, but the three treatments had little impact on non chemical quenching coefficient (NQP). The contents of chlorophyll a, chlorophyll b and chlorophyll a + b of M treatment were higher than those in other treatments by 25.3%, 45.4% and 30.6%, respectively. All three treatments improved the pH of pepper soil by 27.6%, 24.5% and 25.4% compared to CK, respectively. The three treatments increased the amount of soil actinomycetes, bacteria and total bacteria. The amount of actinomycetes increased by 71.9%, 73.8% and 67.5%, compared with CK, the amount of bacteria increased by 1.18%, 55.5% and 30.4% compared with CK, and the total amount of bacteria increased by 4.55%, 57.1% and 33.9% compared with CK. All three treatments reduced the amount of soil fungi by 69.8%, 68.1% and 75.8%, respectively. After the treatments, the activity of sucrase, acid phosphatase and polyphenol oxidase was significantly increased, but the activity of soil urease was significantly lower than that of control.

【Conclusions】 The three crop dry powders all show the effect in promoting the growth and development of continuous cropping pepper, increasing the activity of soil invertase, acid phosphatase and polyphenol oxidase, increasing the number of soil bacteria and actinomycetes and reducing the number of fungi. Therefore their application is beneficial to improve soil environment and microorganism structure. Among the three tested dry powders, mustard seedlings dry powder has the best satisfactory effect.

Key words: mustard powder; barley powder; celery dry powder; pepper seedling; continuous cropping obstacles; soil microorganism structure

辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 是我国重要的经济作物。随着辣椒种植面积的逐年扩大, 在获得高效益的同时也带来了严重的连作障碍问题^[1]。研究表明, 将农作物茎叶直接或间接的翻埋到土壤中能够缓解连作障碍的发生^[2-3]。玉米茎叶还田可以改善烤烟农艺性状, 提高烟叶产量和产值, 降低烟叶含梗率^[4]。小麦茎叶覆盖能有效促进杂交稻各生育时期的根系生长、改善根系形态、增加各时期的干物质与氮素积累, 提高氮肥的利用效率及稻米产量^[5]。研究表明, 增加土壤中细菌和放线菌数量, 降低真菌数量, 土传病害发生概率就会下降, 连作障碍进而减轻^[6]。大多放线菌能产生抗菌素, 拮抗病原微生物, 增加植物抵抗病害的能力^[7]。农作物茎叶腐解能够提高土壤中细菌、真菌和放线菌的数量, 形成新的微生物群落结构^[8]。翻埋小麦、水稻和芥菜茎叶可以提高土壤各菌群 PLFA 含量和微生物物种丰富度指数^[9]。耕翻作物可以使土壤真菌和嫌气性细菌数量减少, 放线菌和好气性细菌数量增加^[10]。在不同水稻栽培模式下, 小麦茎叶腐解还田能够提高土壤微生物数量和酶活性, 增加土壤有机碳和养分含量^[11]。

十字花科芸薹属植物经常被作为生物熏蒸和绿肥使用, 其体内含有大量硫代葡萄糖苷, 并在芥子酶的作用下, 分解成异硫氰酸酯类似物, 利用其残

茬覆膜熏蒸能够杀死土壤中的有害虫卵, 减少土传病害的发生^[12-13]。如利用芸薹属植物残体进行生物熏蒸能够调节辣椒土壤微生物菌落以及减轻辣椒疫病的发生率^[14]。而甘蓝、芥蓝和芥菜残渣加入土壤中可以显著降低豌豆根腐病^[15]。将油菜作为绿肥还田可以抑制稻田里的病菌, 有利于克服稻田连作障碍^[16]。此外, 芸薹属作物在抑制根结线虫方面也有很好的效果^[17]。曹素芳^[18]研究发现球茎甘蓝、甘蓝、大白菜、小白菜、芥兰、油菜和菠菜 7 种蔬菜生物熏蒸对南方根结线虫均有一定防效, 其中球茎甘蓝的熏蒸效果最好。而将芥菜、甘蓝等芸薹属植物粉碎混入土壤中, 发现这些植物能显著降低马铃薯田间黄萎病菌和根结线虫的数量^[19]。

本试验以辣椒为种植材料, 芥菜、大麦、芹菜幼嫩茎叶为施入材料, 通过盆栽试验探讨了 3 种作物幼嫩茎叶干粉施入对连作辣椒幼苗生长及根际土壤的影响, 旨在为今后缓解辣椒连作障碍和实现辣椒增产稳产提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试辣椒品种为线椒‘辛香 8 号’, 芥菜品种

为本地芥菜笋, 均由江西华农种业有限公司馈赠; 大麦品种为带皮大麦, 购买自郑州华丰草业科技有限公司; 芹菜品种为本地芹, 购买自江西农业大学菜市场。供试有机肥为湖北吉顺磷化有限公司生产的果蔬专用有机肥。

供试土壤取自江西省农业科学院试验基地辣椒连作 5 年的土壤, 土壤基本理化性质为: pH 5.52、碱解氮 80.7 mg/kg、有效磷 16.7 mg/kg、速效钾 393 mg/kg、有机质 36.5 g/kg。

1.2 试验方法

试验于 2017 年 9 月在江西农业大学生态园蔬菜试验基地进行。试验以不加作物干粉为对照 (CK), 设置加芥菜干粉 (M)、大麦干粉 (B) 和芹菜干粉 (C), 共四个处理。将新鲜芥菜、芹菜和大麦杀青烘干后, 用高速粉碎机将其粉碎, 分别与准备好的有机肥和辣椒连作土壤按照 1:50 的干重比例充分混匀, 装入塑料箱 (54 cm × 42 cm × 26.5 cm) 中, 每个塑料箱中加入蒸馏水, 调节土壤湿度为田间最大持水量的 50%, 黑暗条件下进行分解培养试验, 每隔 7 天对塑料箱进行称重, 补充水分, 保持土壤湿度基本不变, 塑料箱外依次包裹黑色薄和遮阳膜, 放在生态园进行腐解处理。

30 天后将土壤均匀装入 11 cm × 10 cm 规格的盆中, 每个处理 60 盆, 每盆种植 1 株辣椒, 随机排列, 放入温室内进行常规管理。试验期间, 不喷施任何药剂。辣椒定植 30 天后收获, 进行分析测定, 同时分析土壤性状指标。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长指标 用卷尺测定株高, 用游标卡尺测定茎粗; 用电子天平测定植株生物量; 利用根系扫描系统 (WinRHIZO) 分析测定根系指标。其中壮苗指数计算公式为:

壮苗指数 = (茎粗/株高 + 根干重/地上部干重) × 总干重^[20]

1.3.2 叶片叶绿素含量及叶绿素荧光参数指标 叶绿素含量参照李合生^[21]的方法测定。辣椒叶片叶绿素荧光的测定, 每个处理任意选取 5 株辣椒, 每株选取位置一致完全展开叶片的中间复叶, 用上海泽泉科技股份有限公司提供的便携式叶绿素荧光仪 (MINI-PAM-II) 测定 F_v/F_m (PSII 最大量子产量)、 Y (II) (PSII 实际量子产量)、 qP (光化学淬灭系数) 以及 NQP (非化学淬灭系数) 相关参数。测定过程中, 用暗反应夹夹住叶片, 让叶片充分暗反应 15 min 后获

得暗反应数据, 随后进行光反应, 光反应 5 min 中后获得数据。

1.3.3 土壤指标 每个处理在辣椒根系周边 10 cm 处随机多点采集土样, 均匀拌成混合基础土样, 将一部分新鲜土样放置 4℃ 保存用测定土壤微生物数量和酶活性; 另一部分土样放置于阴凉通风处进行风干, 2 天后用 2 mm 筛处理。测定土壤 pH、电导率、土壤微生物以及酶活性。其中电导率、pH 利用电导率仪和 pH 计测定, 其水土比均为 5:1。土壤微生物数量采用稀释平板法计数, 放线菌采用高氏一号培养基、细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基、真菌采用马丁-孟加拉红培养基^[22]。土壤酶活性采用关松荫的方法^[23]测定, 其中脲酶采用靛酚比色法; 多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法; 蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法; 酸性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法。

1.4 数据统计分析

试验数据用 Microsoft Office Excel 2003 和 SPSS 17.0 进行整理和分析, 分析方法采用 Duncan 法; 用 GraphPad 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对连作辣椒生长的影响

由表 1 可以看出, 3 个处理的辣椒株高和茎粗均高于对照。其中芥菜粉处理效果较好, 与对照相比, 辣椒株高和茎粗分别增加了 23.6% 和 19.5%, 差异达到显著水平。不同处理对连作辣椒生物量及壮苗指数影响较大, 处理后的辣椒总干重、地上部和根部干重和鲜重均高于对照, 与对照相比存在显著性差异。壮苗指数是衡量植株健康生长的重要指标, 可以反映植株生长潜力, 各处理均能够提高辣椒的壮苗指数, 芥菜粉、大麦苗粉和芹菜粉处理分别较对照增加了 117%、133% 和 72.2%。

2.2 不同处理对连作辣椒根系形态的影响

表 2 表明, 3 个处理促进了连作辣椒根系的生长发育, 各处理的辣椒根系长度、根系表面积和根系体积均与对照存在显著差异; 其中芥菜粉处理效果最好, 其根长度、根系表面积和根体积较对照分别增加了 71.53%、131.32% 和 202.56%。芥菜粉和大麦苗粉处理后辣椒的根尖数较对照增加了 54.64% 和 68.15%, 但芹菜粉处理与对照处理的根尖数差异不明显。

2.3 不同处理对连作辣椒叶绿素荧光参数的影响

叶绿素荧光可以反映植物光合能力的变化, 如

表 1 不同作物干粉处理对辣椒生长的影响
Table 1 Effects of different crop powder treatments on the growth of pepper

处理 Treatment	总干重 (g/pot) Total dry weight	根干重 (g/pot) Root dry weight	地上部干重 (g/pot) Shoot dry weight	株高 (cm) Plant height	茎粗 (mm) Stem diameter	壮苗指数 Seedling index
CK	0.60 ± 0.02 c	0.08 ± 0.01 c	0.52 ± 0.02 c	16.60 ± 0.17 b	2.61 ± 0.07 b	0.18 ± 0.01 c
芥菜粉 Mustard	1.03 ± 0.06 a	0.19 ± 0.01 a	0.84 ± 0.06 a	20.52 ± 0.63 a	3.12 ± 0.11 a	0.39 ± 0.02 a
大麦苗 Barley	1.06 ± 0.07 a	0.19 ± 0.02 a	0.87 ± 0.05 a	19.72 ± 0.44 a	3.37 ± 0.02 a	0.42 ± 0.04 a
芹菜粉 Celery	0.80 ± 0.05 b	0.14 ± 0.01 b	0.66 ± 0.04 b	19.28 ± 0.36 a	3.18 ± 0.14 a	0.31 ± 0.02 b

注 (Note) : 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercase letters after the values in the same column denote significant difference among treatments ($P < 0.05$).

表 2 不同作物干粉处理对辣椒根系形态的影响
Table 2 Effects of different crop powder treatments on root morphology of pepper

处理 Treatment	根系长度 (mm) Root length	根系表面积 (mm ²) Root superficial	根系体积 (mm ³) Root volume	根尖数 Root tip number
CK	185.65 ± 17.21 b	29.66 ± 2.63 b	0.39 ± 0.05 b	273.80 ± 26.72 c
芥菜粉 Mustard	318.45 ± 25.93 a	68.61 ± 4.28 a	1.18 ± 0.06 a	423.40 ± 18.93 ab
大麦苗粉 Barley	301.10 ± 33.22 a	63.49 ± 4.02 a	1.09 ± 0.12 a	460.40 ± 39.43 a
芹菜粉 Celery	302.66 ± 34.81 a	60.14 ± 6.99 a	0.95 ± 0.11 a	356.40 ± 25.56 bc

注 (Note) : 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercase letters after the values in the same column denote significant significance among treatments ($P < 0.05$).

表 3 所示, 各处理对辣椒叶片荧光参数的影响差异较大, 芥菜粉处理后辣椒叶片 PS II 最大量子产量 (F_v/F_m) 最高, 与对照相比, 增加了 3.7%。从辣椒叶 Y (II) 和 qP 看, 大麦苗和芹菜粉处理对 Y (II) 参数影响最大; 芹菜粉处理的 qP 参数最高, 与对照相比, 增加了 14.89%。各处理对辣椒叶片 NQP 差异不大, 且与对照均没有显著性差异。

2.4 不同处理对连作辣椒叶片叶绿素含量的影响

表 4 显示, 芥菜粉处理的辣椒叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a + b 含量均高于其他处理, 较对照分别增加了 25.3%、45.4% 和 30.6%。但大麦苗和芹

菜粉处理的辣椒叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a + b 含量与对照相比均无显著差异。

2.5 不同处理对辣椒连作土壤 pH 和电导率的影响

从表 5 可以看出, 处理后, 辣椒根际土壤 pH 值显著升高, 与对照相比, 芥菜粉、大麦苗粉和芹菜粉处理分别增加了 27.6%、24.5% 和 25.4%。从各处理的土壤电导率来看, CK 处理的土壤电导率值最高, 达到了 1.54 mS/cm, 其次为大麦苗粉和芥菜粉处理, 芹菜粉处理的辣椒土壤电导率值最低, 与对照相比, 降低了 48.0%。

表 3 不同作物干粉处理辣椒叶片叶绿素荧光参数
Table 3 Effects of different crop powder treatments on chlorophyll fluorescence parameters of pepper leaves

处理 Treatment	PS II 最大量子产量 F_v/F_m	PS II 实际量子产量 Y (II)	光化学淬灭系数 qP	非化学淬灭系数 NQP
CK	0.81 ± 0.01 b	0.34 ± 0.02 b	0.47 ± 0.02 b	1.35 ± 0.08 a
芥菜粉 Mustard	0.84 ± 0.01 a	0.37 ± 0.00 ab	0.51 ± 0.00 ab	1.26 ± 0.04 a
大麦苗粉 Barley	0.83 ± 0.01 ab	0.39 ± 0.01 a	0.53 ± 0.03 ab	1.24 ± 0.07 a
芹菜粉 Celery	0.82 ± 0.00 ab	0.39 ± 0.01 a	0.54 ± 0.01 a	1.31 ± 0.06 a

注 (Note) : 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercase letters after the values in the same column denote significant difference among treatments ($P < 0.05$).

表 4 不同作物干粉处理辣椒叶片叶绿素含量 (mg/g)
Table 4 Effects of different crop powder treatments on chlorophyll content in pepper leaves

处理 Treatment	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	叶绿素 a + b Chlorophyll a + b
CK	1.86 ± 0.03 b	0.66 ± 0.01 b	2.52 ± 0.02 b
芥菜粉 Mustard	2.33 ± 0.12 a	0.96 ± 0.12 a	3.29 ± 0.24 a
大麦苗粉 Barley	2.04 ± 0.01 b	0.70 ± 0.01 b	2.74 ± 0.00 b
芹菜粉 Celery	1.96 ± 0.03 b	0.68 ± 0.01 b	2.64 ± 0.04 b

注 (Note): 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercase letters after the values in the same column denote significant difference among treatments ($P < 0.05$).

表 5 不同作物干粉处理辣椒根际土壤 pH 和电导率
Table 5 Effects of different crop powder treatments on pH and conductivity of rhizosphere soil of pepper

处理 Treatment	pH	EC (mS/cm)
CK	5.55 ± 0.03 c	1.54 ± 0.01 a
芥菜粉 Mustard	7.08 ± 0.01 a	0.86 ± 0.01 c
大麦苗粉 Barley	6.91 ± 0.01 b	1.00 ± 0.00 b
芹菜粉 Celery	6.96 ± 0.01 b	0.80 ± 0.02 d

注 (Note): 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercase letters after the values in the same column denote significant difference among treatments ($P < 0.05$).

2.6 不同处理对连作辣椒根际土壤微生物的影响

如表 6 所示, 3 个处理对辣椒根际土壤放线菌数量影响显著, 分别较对照增加了 71.9%、73.8% 和 67.5%。大麦苗粉和芹菜粉处理后, 辣椒根际土壤细菌和总菌数均高于其他处理, 与对照存在显著差异。从真菌数量来看, 3 个处理均能降低辣椒根际土壤真菌数量, 与对照相比, 分别降低了 69.8%、68.1% 和 75.8%。

2.7 不同处理对连作辣椒根际土壤酶活性的影响

如表 7 所示, 经过处理后, 辣椒的根际土壤酶

活性得到显著提高。大麦苗粉处理后土壤酸性磷酸酶显著高于其他处理, 与对照相比, 增加了 186%。大麦苗粉和芥菜粉处理后, 土壤蔗糖酶活性均高于对照, 存在显著性差异。3 个处理的辣椒根际土壤多酚氧化酶活性显著增高, 与对照相比, 分别增加了较对照分别增加了 143%、158% 和 125%, 但 3 个处理的土壤脲酶活性均低于对照。

3 讨论

植物根区土壤环境对蔬菜生长发育具有重要的作用, 良好的土壤环境条件是蔬菜高产稳产的基础。研究表明, 作物茎叶含有大量的有机质以及植物所必须的氮、磷、钾等元素, 随着茎叶腐解, 有机质和矿物质被释放到土壤中, 进而提高土壤有机碳和微生物数量, 增加土壤肥力, 提高作物产量^[24]。杨瑞平^[25]研究发现, 将大蒜、三叶草、茼蒿、小麦、万寿菊和芹菜 6 种作物茎叶粉碎加入到西瓜连作土中, 可以促进西瓜幼苗生长, 提高幼苗的生物量。本研究也得到类似结果, 在辣椒连作土中添加不同作物粉碎物后能够显著提高辣椒株高、茎粗、生物量以及壮苗指数, 其中芥菜和大麦处理效果最好。可能是幼嫩茎叶干粉施入后改善了土壤理化性质和

表 6 不同作物干粉处理辣椒根际土壤微生物数量
Table 6 Effects of different crop powder treatments on microbes in rhizosphere soil of pepper

处理 Treatment	放线菌 ($\times 10^5$ cfu/g) Actinomyce	细菌 ($\times 10^6$ cfu/g) Bacteria	真菌 ($\times 10^3$ cfu/g) Fungus	总菌数 ($\times 10^7$ cfu/g) Total
CK	122.00 ± 6.66 b	113.00 ± 2.08 b	60.67 ± 3.28 a	12.53 ± 0.21 b
芥菜粉 Mustard	209.67 ± 4.91 a	114.33 ± 5.36 b	18.33 ± 2.19 b	13.10 ± 0.84 b
大麦苗粉 Barley	212.00 ± 7.02 a	175.67 ± 12.86 a	19.33 ± 0.67 b	19.69 ± 1.25 a
芹菜粉 Celery	204.33 ± 4.63 a	147.33 ± 10.27 a	14.67 ± 1.45 b	16.78 ± 1.03 a

注 (Note): 数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercase letters after the values in the same column denote significant difference among treatments ($P < 0.05$).

表 7 不同作物干粉处理辣椒根际土壤酶活性[mg/(g·h)]

Table 7 Effects of different crop powder treatments on enzyme activity in rhizosphere soil of pepper

处理 Treatment	脲酶 Urease	蔗糖酶 Sucrase	酸性磷酸酶 Phosphatase	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase
CK	0.873 ± 0.017 a	1.614 ± 0.008 c	0.132 ± 0.001 d	0.081 ± 0.007 b
芥菜粉 Mustard	0.694 ± 0.016 b	2.722 ± 0.200 b	0.164 ± 0.000 c	0.197 ± 0.016 a
大麦苗粉 Barley	0.530 ± 0.009 c	4.528 ± 0.081 a	0.378 ± 0.003 a	0.209 ± 0.005 a
芹菜粉 Celery	0.681 ± 0.016 b	4.712 ± 0.191 a	0.194 ± 0.006 b	0.182 ± 0.008 a

注 (Note): 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercase letters after the values in the same column denote significant difference among treatments ($P < 0.05$).

根际环境, 增强了土壤供肥能力所致。本研究中, 不同处理的辣椒根系长度、体积、表面积、以及根尖数均显著提高, 说明土壤中施入幼嫩茎叶干粉后促进了根系对养分的吸收, 这与翻压芸薹属绿肥显著提高烤烟根系活力, 改善烤烟各生育期根系指标的结果类似^[26]。

叶绿素荧光能够反映逆境因子对光合作用的影响^[27-29]。在本研究中, 3 个处理能不同程度提高辣椒叶片 Fv/Fm、Y (II) 和 qP, 说明处理后可以增加辣椒叶片对光能的利用效率^[30]。但各处理对辣椒叶片 NQP 影响不大, 这可能是辣椒在长期连作条件下, 辣椒叶片叶绿素荧光系统对连作胁迫的适应, 并且开启了自我保护机制所致, 具体的机理还有待研究^[31]。3 种处理在一定程度上提高了辣椒叶片叶绿素含量, 其中芥菜处理效果最好, 这与张玉方^[32]在枣园旋施麦壳和埋施玉米秸秆可以提高灵武长枣叶片的叶绿素含量结果类似, 说明作物茎叶腐解处理能够活化土壤养分, 增强辣椒根系活力, 进而增加了叶片叶绿素含量。

适宜的土壤 pH 值和较低的电导率有利于蔬菜的生长发育。本试验中, 各处理均显著提高了辣椒根际土壤 pH 值, 降低了电导率, 这与潘明阳^[33]通过芥菜生物熏蒸处理能显著提高连作黄瓜土壤的 pH, 降低土壤电导率结论一致。原因可能是芥菜、大麦和芹菜茎叶干粉处理后释放进土壤的有机物质被土壤微生物利用, 进而活化了土壤中的养分所致。土壤微生物是土壤生命活体中最活跃的有机体。研究发现^[34], 经过甘蓝粉碎组织生物熏蒸后能够改善草莓土壤环境, 与连作相比, 细菌数量增加了 1.24~3.06 倍, 真菌数量则降低了 1.8~1.46 倍。杨瑞平^[21]通过翻埋不同作物茎叶对西瓜连作土壤影响的试验发现, 随着腐解时间的增加, 西瓜连作土壤中的细菌和放线菌数量均呈增加的趋势, 真菌数量都随着

腐解时间的延长而呈显著降低的趋势。本试验结果表明, 3 个处理增加了辣椒根际土壤放线菌、细菌和总菌数量, 显著降低了真菌数量。这进一步证明了作物茎叶腐解能够调整土壤微生物结构, 增加土壤有益微生物数量, 从而改善土壤微环境。土壤酶的功能多样性与土壤功能的多样性紧密相关, 土壤生态系统退化都伴随着不同土壤酶活性的下降^[2]。本试验研究发现, 处理后的辣椒根际土壤蔗糖酶、酸性磷酸酶和多酚氧化酶活性均显著提高, 但 3 个处理的土壤脲酶显著低于对照处理。这可能与植株生理代谢和养分吸收有关, 这还有待进一步研究。

4 结论

将芥菜、大麦和芹菜幼嫩茎叶干粉加入到辣椒连作土中, 可以显著促进辣椒的生长发育以及辣椒根系生长; 提高土壤蔗糖酶、酸性磷酸酶以及多酚氧化酶活性, 增加土壤细菌和放线菌数量, 降低土壤真菌数量, 进而改善辣椒根区环境, 其中以芥菜幼嫩茎叶干粉处理效果最好, 可作为今后缓解辣椒连作障碍, 实现辣椒稳产增产的有效措施。

参 考 文 献:

- [1] 喻景权, 周杰. “十二五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望[J]. *中国蔬菜*, 2016, 1(9): 18–30.
Yu J Q, Zhou J. Progress in protected vegetable production and research during China's 12th Five-Year Plan[J]. *China Vegetables*, 2016, 1(9): 18–30.
- [2] 田国成, 孙路, 施明新, 等. 小麦秸秆焚烧对土壤有机质积累和微生物活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(4): 1081–1087.
Tian G C, Sun L, Shi M X, *et al.* Effect of wheat straw burning on soil organic matter accumulation and microbial activity[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2015, 21(4): 1081–1087.
- [3] 张红, 吕家珑, 曹莹菲, 等. 不同植物秸秆腐解特性与土壤微生物功能多样性研究[J]. *土壤学报*, 2014, 51(4): 743–752.
Zhang H, Lv J L, Cao Y F, *et al.* Decomposition characteristics of

- different plant straws and soil microbial functional diversity[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(4): 743–752.
- [4] 周米良, 邓小华, 田峰, 等. 玉米秸秆促腐还田的腐解及对烤烟生长与产质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(2): 67–74.
Zhou M L, Deng X H, Tian F, *et al.* Decomposition of maize stalk in field under different decay conditions and its effect on growth, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2016, 22(2): 67–74.
- [5] 严奉君, 孙永健, 马均, 等. 秸秆覆盖与氮肥运筹对杂交稻根系生长及氮素利用的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(1): 23–35.
Yang F J, Sun Y J, Ma J, *et al.* Effects of straw mulch and nitrogen management on root growth and nitrogen utilization characteristics of hybrid rice[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2015, 21(1): 23–35.
- [6] 刘来, 韩雪, 吴凤芝, 潘凯. 根系分泌物与土传病害关系之研究综述[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(3): 316–318.
Han X, Wu F Z, Pan K. Review on the relation between the root exudates and soil-spread disease[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(3): 316–318.
- [7] 李忠俊, 罗会斌, 龙友华, 等. 烟草根际微生物区系分析[J]. *耕作与栽培*, 2012, (3): 35–39.
Li Z J, Luo H B, Long Y H, *et al.* Floristic analysis of tobacco rhizosphere microorganisms[J]. *Tillage and Cultivation*, 2012, (3): 35–39.
- [8] 强学彩, 袁红莉, 高旺盛. 秸秆还田量对土壤CO₂释放和土壤微生物量的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 469–472.
Qiang X C, Yuan H L, Gao W S. Effect of crop-residue incorporation on soil CO₂ emission and soil microbial biomass[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3): 469–472.
- [9] 兰木羚, 高明. 不同秸秆翻埋还田对旱地和水田土壤微生物群落结构的影响[J]. *环境科学*, 2015, 36(11): 4252–4259.
Lan M L, Gao M. Influence of different straws returning with landfill on soil microbial community structure under dry and water farming[J]. *Environmental Science*, 2015, 36(11): 4252–4259.
- [10] 陈冬林, 易镇邪, 周文新, 等. 不同土壤耕作方式下秸秆还田量对晚稻土壤养分与微生物的影响[J]. *环境科学学报*, 2010, 30(8): 1722–1728.
Chen D L, Yi Z X, Zhou W X, *et al.* Effects of straw return on soil nutrients and microorganisms in late rice under different soil tillage systems[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(8): 1722–1728.
- [11] 武际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 等. 不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响[J]. *生态学报*, 2013, 33(02): 565–575.
Zhou J, Guo X S, Lu J W, *et al.* Decomposition characteristics of wheat straw and effects on soil biological properties and nutrient status under different rice cultivation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(02): 565–575.
- [12] 孙迪. 深绿木霉 T₁₅₅ 产芥子酶研究[D]. 南京: 南京农业大学硕士学位论文, 2014.
Sun D. The study of myrosinase from trichoderma atroviride T₁₅₅[D]. Nanjing: MS Thesis of Nanjing Agricultural University, 2014.
- [13] Mazzola M, Reardon C L, Brown J. Initial *Pythium* species composition and Brassicaceae seed meal type influence extent of *Pythium*-induced plant growth suppression in soil[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2012, 48(4): 20–27.
- [14] Wang Q, Ma Y, Wang G, *et al.* Integration of biofumigation with antagonistic microorganism can control Phytophthora blight of pepper plants by regulating soil bacterial community structure[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2014, 61(5): 58–67.
- [15] 郝永娟, 王万立, 刘耕春, 等. 土壤添加剂防治作物土传病的研究进展[J]. *吉林农业大学学报*, 1998, (S1): 148.
Hao Y J, Wang W L, Liu G C, *et al.* Progress in soil amendment to control plant disease infected in soil[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1998, (S1): 148.
- [16] 王丹英, 彭建, 徐春梅, 等. 油菜作绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响[J]. *中国水稻科学*, 2012, 26(1): 85–91.
Wang D Y, Peng J, Xu C M, *et al.* Effects of rape straw manuring on soil fertility and rice growth[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2012, 26(1): 85–91.
- [17] Piedra B A, Garcíaalvarez A, Díezrojo M A, *et al.* Use of pepper crop residues for the control of root-knot nematodes[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(15): 2846–2851.
- [18] 曹素芳. 生物熏蒸和温湿度对南方根结线虫的影响及化学防治的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2009.
Cao S F. Effects of biological fumigation and temperature and humidity on the root knot nematode in the south and its chemical control[D]. Lanzhou: MS Thesis of Gansu Agricultural University, 2009.
- [19] Wang D, Rosen C, Kinkel L, *et al.* Production of methyl sulfide and dim ethyl disulfide from soil-incorporated plant materials and implications for controlling soil borne pathogens[J]. *Plant & Soil*, 2009, 324(1–2): 185–197.
- [20] 董传迁, 尹程程, 魏珉, 等. 控释肥种类及用量对番茄和甜椒穴盘育苗效果的影响[J]. *安徽农业科学*, 2014, 11(11): 3248–3252.
Dong C Q, Yin C C, Wei M, *et al.* Effects of type and dosage of controlled release fertilizers on plug seedlings of tomato and sweet pepper[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 11(11): 3248–3252.
- [21] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
Li H S. Principles and techniques of plant physiology and biochemistry experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [22] 阮奕平. 蔬菜连作障碍中自毒作用及其缓解措施研究[D]. 杭州: 浙江大学硕士学位论文, 2013.
Ruan Y P. Studies on autotoxicity and mitigation measures of vegetable continuous cropping obstacles[D]. Hangzhou: MS Thesis of Zhejiang University, 2013.
- [23] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
Guan S Y. Soil enzyme and its research method[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986.
- [24] 南雄雄, 田霄鸿, 张琳, 等. 小麦和玉米秸秆腐解特点及对土壤中碳、氮含量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(3): 626–633.
Nan X X, Tian X H, Zhang L, *et al.* Decomposition characteristics of maize and wheat straw and their effects on soil carbon and nitrogen contents[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(3): 626–633.

- [25] 杨瑞平. 西瓜连作障碍缓解技术及其机理研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学博士学位论文, 2016.
- Yang R P. Research on the mitigation technology of watermelon continuous cropping obstacles and its mechanism. [D]. Yangling, Shaanxi: PhD Dissertation of Northwest A&F University, 2016.
- [26] 刘领, 李继伟, 刘杉, 等. 芸薹属绿肥对烤烟根系及土壤酶活性的影响[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2017, 38(3): 74–79.
- Liu L, Li J W, Liu S, *et al.* Effect of green manure on root and soil enzyme activity of flue-cured tobacco[J]. Journal of Henan University of Science & Technology(Natural Science), 2017, 38(3): 74–79.
- [27] 王锐, 杨峰, 张勇, 等. 套作大豆后期叶片叶绿素荧光特性及光谱特征分析[J]. 核农学报, 2015, 29(6): 1182–1189.
- Wang R, Yang F, Zhang Y, *et al.* The analysis of chlorophyll fluorescence parameters and hyperspectral characteristics of soybean after maize harvest under relay intercropping systems[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(6): 1182–1189.
- [28] 王晨光, 郝兴宇, 李红英, 等. CO₂ 浓度升高对大豆光合作用和叶绿素荧光的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(8): 1583–1588.
- Wang C G, Hao X Y, Li H Y, *et al.* Effects of elevated atmospheric CO₂ concentration on soybean photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(8): 1583–1588.
- [29] 李强, 罗延宏, 余东海, 等. 低氮胁迫对耐低氮玉米品种苗期光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1132–1141.
- Li Q, Luo Y H, Yu D H, *et al.* Effects of low nitrogen stress on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of maize cultivars tolerant to low nitrogen stress at the seedling stage[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(5): 1132–1141.
- [30] 高青海, 陆晓民, 贾双双. 不同作物秸秆还田对设施黄瓜生长及光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2013, 33(10): 2065–2070.
- Gao Q H, Lu X M, Jia S S. Effects of different crop straw returning on growth and photosynthesis characteristic of cucumber[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2013, 33(10): 2065–2070.
- [31] 唐志敏, 刘军, 刘建国. 秸秆还田对长期连作棉花光合速率及叶绿素荧光的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2012, 30(3): 302–307.
- Tang Z M, Liu J, Liu J G. The effect of returning stalk to field on photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence of long-term continuous cropping of cotton[J]. Journal of Shihezi University (Natural Science), 2012, 30(3): 302–307.
- [32] 张玉方. 枣园施用秸秆与麦壳对土壤养分、灵武长枣生长及果实品质的影响[D]. 银川: 宁夏大学硕士学位论文, 2016.
- Zhang Y F. Effect of appying straw and wheat husk into jujube orchard on soil nutrient, growth and fruit quality of *Zizyphus jujube* Mill. cv. Lingwuchangzao[D]. Yinchuan: MS Thesis of Ningxia University, 2016.
- [33] 潘明阳. 生物熏蒸对设施连作黄瓜产量和土壤养分含量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学硕士学位论文, 2013.
- Pan M Y. Effect of bio-fumigation on yield of continuous cucumber in greenhouse and contents of soil nurients[D]. Haerbin: MS Thesis of Northeast Agricultural University, 2013.
- [34] 杨兰. 轮作与生物熏蒸配合防治草莓再植病害的研究[D]. 保定: 河北农业大学硕士学位论文, 2009.
- Yang L. Control efficacy of rotation and bio-fumigation against strawberry replant diseases[D]. Baoding: MS Thesis of Hebei Agricultural University, 2009.