

生物菌剂对烟田土壤理化性质·细菌群落的影响及其相关性研究

徐绍伟¹, 林凤², 徐正国¹, 李斌^{1*}, 裴为华¹, 李忠奎³, 李红丽³, 王岩³ (1.四川省烟草公司凉山州公司德昌分公司, 四川德昌 615500; 2.德昌县农业农村局, 四川德昌 615500; 3.郑州大学化工与能源学院, 河南郑州 450001)

摘要 为了研究生物菌剂对烟田土壤理化性质和土壤细菌群落的影响,在烟田施用不同微生物组合菌剂,利用高通量基因测序检测分析不同生长期土壤细菌群落结构,检测土壤理化性质,分析其变化和相关性。结果表明,菌剂可以使土壤 pH 提高 0.44,复合菌剂能增加土壤细菌的多样性,改变土壤细菌群落结构,施用菌剂处理与对照之间差异较大。鞘氨醇单孢菌属和节杆菌属含量在施用菌剂的处理土壤中最高,可提高土壤氮素转化和作物的抗病性。有机质、速效钾、pH 和含水率与土壤细菌极显著相关,碱解氮和有效磷为显著相关,可通过调节这些因子改变土壤细菌群落,进而改变土壤微环境,增强作物的抗病性。

关键词 生物菌剂; 细菌群落结构; 环境因子; 相关性

中图分类号 S 154.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)12-0167-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.12.043



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Biological Agents on Soil Physical and Chemical Properties and Bacterial Community in Tobacco Field and the Correlation
XU Shao-wei¹, LIN Feng², XU Zheng-guo¹ et al (1. Sichuan Provincial Tobacco Company Liangshan Company Dechang Branch, Dechang, Sichuan 615500; 2. Dechang County Agriculture and Rural Affairs Bureau, Dechang, Sichuan 615500)

Abstract In order to study the influence of biological agents on soil physical and chemical properties and bacterial community in tobacco field, different microbial combination agents were applied in tobacco field. The changes and correlations of soil physical and chemical properties were analyzed by high-throughput gene sequencing. The results showed that the bacteria could improve soil pH by 0.44, and the compound bacteria could increase the diversity of soil bacteria and change the structure of soil bacteria community, which was different from the control. Sphingomonas and Arthrobacteria had the highest content in the treatment of applying biological agents, which could improve soil nitrogen transformation and crop disease resistance. Organic matter, available potassium, pH and water content were extremely significant correlated with soil bacteria, and alkaline nitrogen and available phosphorus are significant correlation. Therefore, through adjusting these factors, soil bacterial community could be changed, and then soil microenvironment could be changed and disease resistance of crops can be enhanced.

Key words Biological agents; Bacterial community structure; Environmental factors; Correlation

土壤是农业生产过程中的养分来源和重要载体,良好的土壤条件是生产优质作物的基础。但由于近年来经济作物如烟草的长期连作致使烟田出现土壤环境恶化等问题^[1]。研究我国各种土壤 25 年的数据发现,农田土壤发生不同程度酸化现象高达 90%^[2],土壤 pH 降低影响相关微生物的多样性和酶活性^[3],烟叶中烟碱含量呈增加趋势^[4],同时土壤中钾、镁、钙的有效量下降^[5]。烟草健康生长受不良耕作、施肥和管理等因素的影响,这些因素都会导致土壤微生态环境失衡,土壤调节能力降低,最终造成病害的严重发生^[6-10]。

生物防治是利用有益微生物杀灭或降低病原菌的数量,丰富微生物种群,从而控制植物病害发生^[11-12]。Phae 等^[13]将 *Bacillus* NB22 菌株的悬浮液撒入有严重病害的土壤中,染病植株的死亡率明显下降。也可制成生物有机肥施入土壤中,改善土壤微生物的营养,提高土壤微生物的代谢能力,土壤微生物多样性较高,使土壤微生物群落对抗病原菌的能力提高,降低发病率。

目前用于防治土传病害的菌剂较多,大多关注菌剂的筛选和作用结果,而对土壤微生物和土壤理化性状的影响关注较少。笔者利用一种解淀粉芽孢杆菌菌剂和原位土壤中筛选的黑胫病拮抗菌,进行不同配比施肥,研究不同生物菌剂

防控黑胫病的过程中对土壤细菌群落结构和多样性的影响,以及环境因子的变化及其与细菌的相关性,为进一步采取措施进行烟草土传病害的生态防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验地位于四川省凉山州会理县盐门镇, 26°50'N, 102°17'E, 海拔 1 900 m, 年平均气温 15.3 ℃。

1.2 试验设计与土壤采集 选取地块平整的 0.2 hm² 烟田, 均分为 4 个处理, 每个处理约 0.067 hm², 并设 3 次重复, 随机排列。H2 试验 4 个处理分别为处理 1(H2-1): 对照, 常规施肥; 处理 2(H2-2): 在对照的基础上, 移栽时施用 225 kg/hm² 菌剂 1, 可穴施, 也可浇施, 团棵期再浇施 75 kg/hm² 菌剂 1; 处理 3(H2-3): 在对照基础上施用 45 kg/hm² 菌剂 2, 团棵期浇施 45 kg/hm² 菌剂 2; 处理 4(H2-4): 处理 2 和处理 3 的组合, 即移栽时施用 45 kg/hm² 菌剂 2 和 225 kg/hm² 菌剂 1, 团棵期再浇施 75 kg/hm² 菌剂 1 和 45 kg/hm² 菌剂 2。菌剂 1 是解淀粉芽孢杆菌, 菌剂 2 是生防菌组合, 菌剂活菌含量 5 亿/g 以上。供试烟田烤烟品种为云烟 87。

在移栽前、烟株团棵期、旺长期和成熟期采集根际土壤土样, 用 5 点取样法, 去掉烟株根际表层土壤, 采 5~20 cm 耕层土壤, 混合后取土样总量 1 kg, 每个处理取 3 个平行样, 编号移栽前 YH 开头, 团棵期 TH 开头, 旺长期 WH 开头, 成熟期 CH 开头。每个样品过筛除去根等杂质后取少量土壤装入 10 mL 带盖的离心管中, 储存于有冰袋的保温箱中, 带回实验室 -20 ℃ 保存, 并及时送至上海美吉生物医药科技有限公司进行多样性测序与分析。取部分土壤风干, 用于常

基金项目 四川省烟草公司凉山州公司科技项目“凉山州烟田健康土壤微生物特征、绿色调控技术及其推广”(LSYC201803)。

作者简介 徐绍伟(1979—), 男, 四川德昌人, 助理农艺师, 从事烟草栽培技术推广工作。*通信作者, 助理农艺师, 从事烟草栽培技术推广工作。

收稿日期 2020-11-11

规分析。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 微生物多样性分析。由上海美吉生物医药科技有限公司对样本土壤微生物进行16S/18S多样性测序^[14]。

1.3.2 土壤养分含量。土壤pH采用电位法测定,土壤有机质和土壤养分测定用国标方法^[15]。

1.4 数据处理 试验数据采用Excel 2010、SPSS软件进行统计处理。多样性基因测序由上海美吉生物医药科技有限公司信息平台相应软件进行分析^[14]。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质和酶活性 移栽前、团棵期和成熟期土壤理化性质见表1。从表1可以看出,移栽前碱解氮和有效磷

含量最低,有机质含量最高,速效钾与成熟期差不多。有机质和速效钾含量在烟株生长过程中先降低再升高,碱解氮和有效磷含量先增加成熟期又减少。团棵期4个处理之间,对照的有机质和养分含量均最高,说明加入菌剂后土壤中微生物群落发生变化,进而使养分发生改变,添加菌剂后土壤养分转化为作物容易吸收的成分,作物吸收快,土壤中的养分均比对照低。成熟期4个处理之间,有机质和养分均是对照最少,到烟草成熟期,作物吸收养分的速度大大降低,而微生物持续转化养分,CH2-4最高,说明混合施用菌剂和解淀粉芽孢杆菌的土壤微生物转化速度最高,使土壤有机质和养分较高,对照与CH2-2之间相差不大,说明施用混合生防菌剂2对土壤有机质和养分的影响较大。

表1 不同时期土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of soil in different periods

土壤样品 Soil sample	有机质 Organic matter g/kg	碱解氮 Alkaline hydrolysis nitrogen//mg/kg	有效磷 Available phosphorus mg/kg	速效钾 Available potassium mg/kg
YH2	31.15±0.34	43.40±0.99	104.40±2.05	379.80±2.90
TH2-1	17.03±5.88	163.33±28.60	184.66±17.92	276.13±2.72
TH2-2	10.81±0.59	91.00±2.42	156.13±12.58	232.53±28.11
TH2-3	11.81±6.03	89.60±21.14	170.40±17.10	263.38±5.77
TH2-4	10.59±5.22	80.27±36.44	140.41±14.91	236.97±42.92
CH2-1	19.49±5.46	48.07±5.66	137.21±5.80	353.90±15.23
CH2-2	20.72±1.84	56.00±2.80	138.33±5.84	385.01±11.18
CH2-3	21.23±3.35	64.41±17.49	154.32±9.51	380.52±5.98
CH2-4	26.48±1.11	76.07±26.28	182.61±9.73	392.42±6.52

注:YH2,移栽前样本;TH2-1、TH2-2、TH2-3、TH2-4,团棵期处理1、处理2、处理3和处理4样本;CH2-1、CH2-2、CH2-3、CH2-4,成熟期处理1、处理2、处理3和处理4样本

Note:YH2, sample before transplantation; TH2-1, Th2-2, Th2-3,TH2-4, samples of treatment 1, treatment 2, treatment 3 and treatment 4 in the cluster stage; CH2-1, CH2-2, CH2-3, CH2-4, treatment 1, treatment 2, treatment 3 and treatment 4 samples in the mature stage

移栽前和成熟期土壤酶活性见表2。由表2可知,酶活性在移栽前均高于成熟期土壤,说明移栽前微生物活性比种上烟叶后的成熟期高。成熟期脲酶、过氧化氢酶和转化酶都是CH2-4最高,CH2-2最低,磷酸酶是CH2-3最高,CH2-2

最低,蛋白酶是CH2-2最高,对照最低,说明单独施用解淀粉芽孢杆菌菌剂,降低了酶活性,但提高了蛋白酶活性,施用混合生防菌剂2提高了磷酸酶活性,混合施用则大大提高了脲酶和转化酶活性。

表2 移栽前和成熟期土壤酶活性

Table 2 Soil enzyme activities before transplantation and at maturity

土壤样品 Soil sample	脲酶 Urease μg/g	磷酸酶 Phosphatase μg/(g·h)	过氧化氢酶 Catalase mL/g	蛋白酶 Protease μg/g	转化酶 Invertase mg/g
YH2	14.89±0.69	111.11±4.04	10.46±0.28	220.12±7.56	25.44±3.16
CH2-1	10.36±4.98	79.00±3.03	9.03±0.11	108.35±23.00	16.47±1.97
CH2-2	5.96±3.74	71.86±6.78	8.75±0.65	178.10±14.69	16.47±3.87
CH2-3	8.30±0.42	83.48±11.10	9.23±0.30	158.11±16.90	16.85±3.14
CH2-4	13.88±4.15	70.33±7.79	9.24±0.16	150.08±5.54	24.26±2.02

2.2 土壤含水率和pH 不同时期土壤含水率变化见表3。由表3可知,2019年移栽前含水率非常低,试验田移栽前严重干旱,在整个烟株生长时期都没有得到改善,含水率都没有超过20%,后期烟草花叶病和气候斑发病较高,严重影响烟株的生长和烟叶质量。

试验田土壤pH见图1。试验田移栽前土壤pH为近中性,种上烟后土壤pH降低较多,移栽前土壤pH为近中性,种上烟后土壤pH先降低后升高。团棵期、旺长期和成熟期其他处理均比对照高,处理H2-4最高,团棵期比对照高0.32,成熟期比对照高0.44。说明混合施用菌剂1和菌剂2

可从团棵期开始有效提高土壤的pH,一直到烟叶成熟。

表3 不同时期土壤含水率变化

Table 3 Changes of soil moisture content in different periods %

土壤样品 Soil sample	移栽前 Before transplanting	团棵期 Clumping stage	旺长期 Vigorous growing period	成熟期 Mature stage
H2-1	0.60	13.73±0.01	17.52±0.01	18.47±0.01
H2-2	0.60	13.93±0.01	18.57±0.01	18.49±0.02
H2-3	0.60	12.93±0.01	18.67±0.01	18.68±0.01
H2-4	0.60	12.80±0.01	18.69±0.01	18.97±0.01

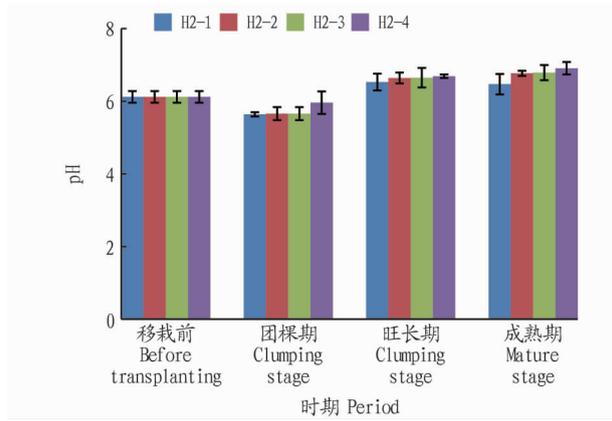


图1 各处理在不同时期的 pH 变化

Fig.1 pH changes of each treatment at different stages

表4 试验田打顶后农艺性状

Table 4 Agronomic traits of experimental fields after topping

土壤样品 Soil sample	株高 Plant height cm	茎围 Stem circumference // cm	有效叶数 Effective leaf number	最大叶长 The largest leaf length // cm	最大叶宽 The maximum leaf width // cm
H2-1	96.9±7.1 b	8.4±0.6 b	21.60±1.51 b	67.2±8.0 a	27.2±3.1 a
H2-2	110.8±7.9 a	9.7±1.0 a	23.00±2.49 ab	69.3±5.4 a	27.9±4.7 a
H2-3	113.4±8.8 a	9.8±0.6 a	24.30±2.26 a	69.6±4.2 a	28.4±3.7 a
H2-4	114.7±9.7 a	10.0±0.8 a	24.00±1.70 a	71.9±8.9 a	30.6±4.5 a

注: 同列不同小写字母表示不同样品间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different samples ($P < 0.05$)

表5 生物菌剂试验田土壤微生物 Alpha 多样性

Table 5 Alpha diversity of soil microorganisms in the experimental field of biological agents

土壤样品 Soil sample	Sobs	Shannon	Ace	Chao1	coverage
YH2	1 912	5.92	2 480.43	2 546.65	0.969 2
TH2-1	1 771	5.54	2 716.02	2 585.02	0.974 2
TH2-2	2 032	5.34	3 283.25	3 028.86	0.969 3
TH2-3	1 971	5.69	2 851.55	2 869.34	0.971 6
TH2-4	1 906	5.76	3 004.07	2 781.07	0.973 3
WH2-1	1 849	5.46	2 477.37	2 499.85	0.979 4
WH2-2	1 749	5.59	2 396.01	2 423.44	0.979 8
WH2-3	1 861	5.64	2 433.45	2 383.26	0.980 6
WH2-4	1 920	5.76	2 583.63	2 601.82	0.978 5
CH2-1	1 527	5.59	2 391.62	2 389.38	0.957 1
CH2-2	1 524	5.47	2 399.95	2 289.45	0.959 5
CH2-3	1 607	5.73	2 327.97	2 311.61	0.958 5
CH2-4	1 583	5.71	2 289.56	2 343.53	0.959 1

Note: WH2-1、WH2-2、WH2-3、WH2-4 分别是旺长期处理 1、处理 2、处理 3、处理 4 样本

Note: WH2-1、WH2-2、WH2-3 and WH2-4 are samples of treatment 1, treatment 2, treatment 3 and treatment 4 in the flourishing period, respectively

物菌剂 2 后, 土壤细菌均衡变化, 细菌多样性增加。

2.4.2 微生物群落结构。 试验田不同时期不同处理土壤样本的细菌在门水平和属水平上的群落结构见图 2 和图 3。从细菌门水平群落结构看出, 相对丰度在 5% 以上的优势细菌门有 Proteobacteria (变形菌门)、Actinobacteria (放线菌门)、Acidobacteria (酸杆菌门)、Chloroflexi (绿弯菌门)、Bacteroidetes (拟杆菌门) 和 Gemmatimonadetes (芽单孢菌门)。除 TH2-2 (占总细菌含量的 82.71%), 厚壁菌门相对丰度较高,

2.3 农艺性状 试验田农艺性状见表 4。由表 4 可知, 处理 H2-4 的农艺性状最好, 添加单类菌剂对烟叶生长有一定的作用, 2 种菌剂复合施用效果最好。

2.4 微生物基因测序分析

2.4.1 Alpha 多样性。 试验田细菌多样性见表 5。不同时期细菌总数先增加后降低, 团棵期最高, 成熟期最低, 多样性先降低又稍有增加, 都没有移栽前高。团棵期为 TH2-2 细菌总数最高, 多样性最低, TH2-3 和 TH2-4 细菌总数和多样性相差不大。旺长期 WH2-4 细菌总数和多样性为最高, WH2-3 稍低, 对照的多样性最低。成熟期细菌总数和多样性均是 CH2-3 最高, CH2-4 稍低, CH2-2 最低。说明种上烟后土壤细菌有趋于相同性, 细菌多样性降低。添加菌剂 1 在团棵期使部分细菌数量大大增加而减少了多样性, 但添加生

占总菌数的 13.97%, 其余样本中 6 个菌门占整个细菌门的 93% 以上。移栽前土壤中放线菌门和绿弯菌门相对丰度分别为 38.12% 和 15.69%, 种上烟草后相对丰度显著下降, 特别是放线菌到成熟期最低, 但成熟期中 CH2-4 最高, 团棵期和旺长期则是 CH2-3 稍高。变形菌门在移栽前土壤中相对丰度为 22.82%, 种上烟后显著增加, TH2-1 增加到 52.49%, 为团棵期最高, 也是整个样本中最高, 旺长期 WH2-4 稍高, 成熟期还是对照比其他处理稍高。酸杆菌门先降低后增加, 成熟期 CH2-3 和 CH2-4 稍高, CH2-3 增加到整个样本中最高达 14.15%。拟杆菌门种上烟草后显著增加, 特别是团棵期对照增加了近 3 倍, 后 3 个时期都是 CH2-4 中相对丰度最高。芽单孢菌门种上烟后逐渐增加。

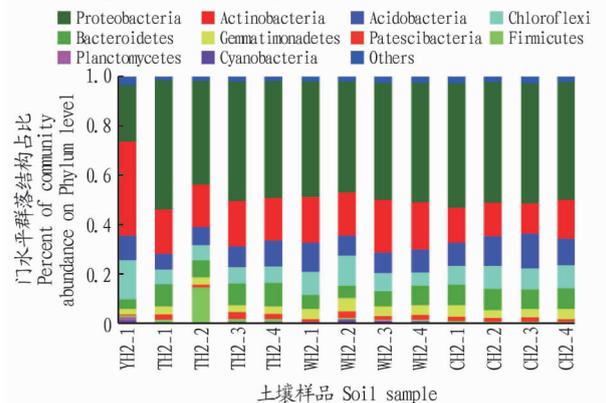


图2 试验田土壤细菌在门水平上的群落结构

Fig.2 Community structure of soil bacteria at the phylum level in experimental plots

从土壤细菌在属水平上的群落结构可以看出,相对丰度在前 6 的细菌为 *Spingomonas*(鞘氨醇单孢菌属)、*Arthrobacter*(节杆菌属)、*norank_c_Subgroup_6*、*unclassified_f_Rhizobiaceae*(根瘤菌科未分类菌属)、*norank_f_Roseiflexaceae*、*norank_f_Gemmatimonadaceae*(芽单孢菌科未命名菌属)。其中鞘氨醇单孢菌属移栽前相对丰度仅为 1.42%,种上烟后显著增加,到成熟期 CH2-2 增加到最大为 27.96%,对照最低,该菌是土壤有益菌,提高土壤氮素转化和作物抵抗不良环境的能力,施用菌剂利于土壤向健康转化,与李忠奎等^[16]研究结果一致。节杆菌属移栽前相对丰度最高为 14.37%,种上烟后显著降低,旺长期稍有增加成熟期又降低,团棵期和旺长期均为 H2-3 最高,成熟期 CH2-4 最高。*norank_f_Roseiflexaceae* 在移栽前相对丰度高,种上烟后减少,CH2-2 和 CH2-4 在成熟期相对丰度较高。*norank_c_Subgroup_6* 和 *norank_f_Gemmatimonadaceae*(芽单孢菌科未命名菌属)种上烟后先降低后增加,*norank_c_Subgroup_6* 在 CH2-2 和 CH2-3 增加多,芽单孢菌科未命名菌属在 WH2-2 相对丰度较高。*unclassified_f_Rhizobiaceae*(根瘤菌科未分类菌属)在种上烟后先增加又降低,TH2-3 和 WH2-4 相对丰度较高。这些菌属的变化说明施加解淀粉芽孢杆菌对有益菌的生长有利,施用生防菌剂有利于调节细菌群落。

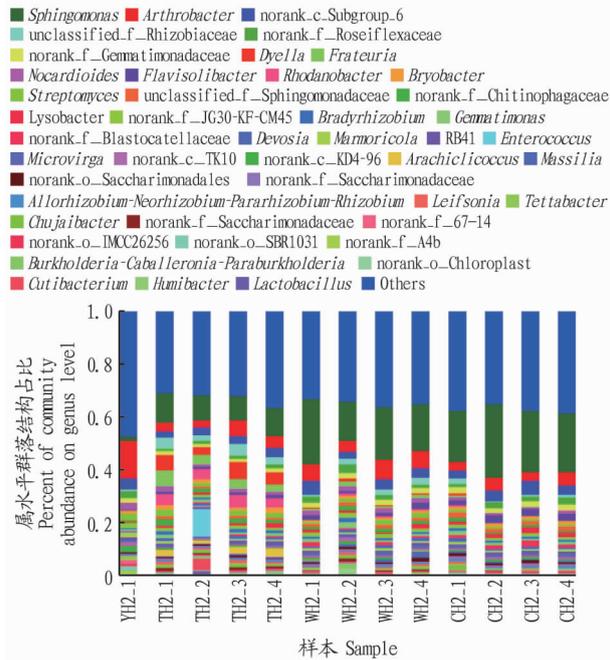


图3 试验田土壤细菌在属水平上的群落结构

Fig.3 Community structure of soil bacteria in experimental field at genus level

2.4.3 Beta 多样性分析。土壤样本细菌在 OTU 水平上的主坐标分析(PCoA)见图 4。从图 4 可以看出,不同时期土壤样本之间有差异,特别是移栽前土壤样本微生物与种上烟后的土壤样本差异较大。移栽前样本与其他样本之间相距较远,说明他们之间的细菌群落差异较大,团棵期的 TH2-4 与其余 3 个样本之间差异较大,旺长期和成熟期相差较近,其中旺长期的 WH2-2 与其余 3 个样本之间差异较大,WH2-3 和

WH2-4 相差较近,成熟期对照 CH2-1 与另外 3 个样本相差较远,其余 3 个样本相差较近,几乎重叠在一起,说明这 3 个样本的细菌群落非常相似,而与对照之间有一定的差异。

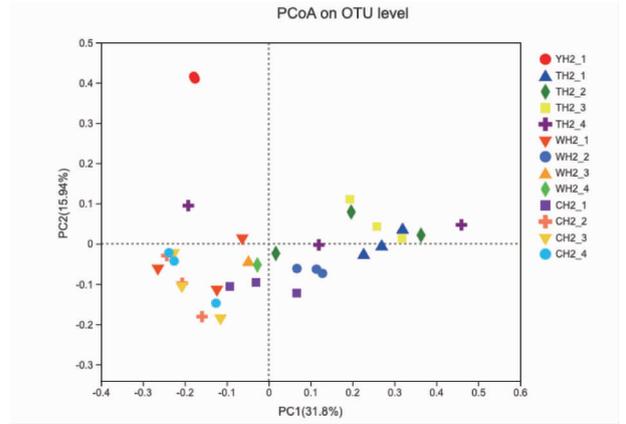


图4 土壤样本在 OTU 水平上的主坐标分析(PCoA)

Fig.4 Principal coordinate analysis of soil samples at OTU level

2.4.4 微生物群落与环境因子关联分析。RDA/CCA 分析是主要用来反映菌群与环境因子之间的关系,可以检测环境因子、样品、菌群三者之间的关系或者两两之间的关系。对试验田土壤样本细菌菌群丰度与土壤性质指标做冗余分析(Redundancy analysis, RDA)。土壤理化性主要有 pH、含水率(MC)、有机质(OM)、碱解氮(AN)、速效磷(AP)、速效钾(AK),分析结果见图 5。

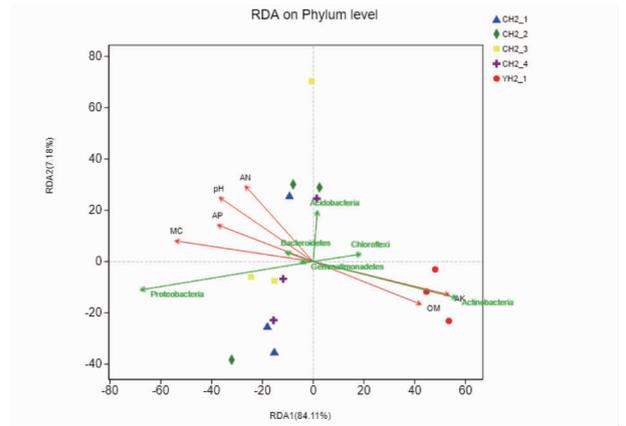


图5 试验田土壤细菌和环境因子的冗余分析

Fig.5 Redundancy analysis of soil bacteria and environmental factors in experimental plots

从图 5 可以看出,第一主轴 RDA1 解释所有变量的 84.11%,第二主轴 RDA2 解释所有变量的 7.18%,共解释物种和环境因子总方差的 91.29%。OM($r = 0.9423$)、AN($r = -0.7489$)、AP($r = -0.9453$)、AK($r = 0.9727$)、pH($r = -0.8681$)、MC($r = -0.9867$)都与第一主轴相关,其中 AN、AP 为显著相关,其余因子为极显著相关,放线菌门和绿弯菌门与第一主轴正相关,变形菌门、拟杆菌门和芽单孢菌门与第一主轴负相关,酸杆菌门与第二主轴正相关。AK 和 OM 与放线菌极显著正相关,特别是速效钾与放线菌几乎重叠,与绿弯菌门正相关,其余因子与变形菌门、芽单孢菌门和拟杆菌门正相关,有效磷与拟杆菌门极显著正相关,二者箭头

方向几乎重叠。从环境因子与样本之间的关系可以看出,移栽前样本受速效钾和有机质的影响较大,其余因子则对成熟期样本影响较大。

3 结论

施用生物菌剂各处理 pH 比对照稍有增加,混合施用处理的最高,成熟期比对照高 0.44。单独施用解淀粉芽孢杆菌促进了某些细菌的生长,总数增加但多样性减少,施用生防菌剂可增加土壤细菌的多样性。

土壤优势细菌门有 Proteobacteria (变形菌门)、Actinobacteria (放线菌门)、Acidobacteria (酸杆菌门)、Chloroflexi (绿弯菌门)、Bacteroidetes (拟杆菌门) 和 Gemmatimonadetes (芽单孢菌门),与李忠奎等^[16]研究一致。菌门的变化说明施加解淀粉芽孢杆菌对有益菌的生长有利,施用生物有机肥对一些菌属的调节有利。Beta 多样性分析说明施用生物菌剂影响土壤细菌群落,特别是到成熟期,对照与处理间的细菌群落差异较大。

不同时期有显著差异的有变形菌门、绿弯菌门、拟杆菌门和厚壁菌门,有显著差异的菌属有鞘氨醇单孢菌属、节杆菌属、弗拉托氏菌属、链霉菌属。环境因子分析表明 AN、AP 为显著相关因子,OM、AK、pH、MC 为极显著相关因子,对土壤细菌群落的影响较大,调节这些因子可以调节土壤细菌群落,从而改善土壤微环境,达到防治土传病害发生的目的。

参考文献

[1] 李军. 烟田土壤酸化现状及修复技术探讨[J]. 现代农业科技, 2017

(上接第 164 页)

这样可以减少用工,又可以节约成本。

(3) 太阳能杀虫灯诱杀二化螟技术作为一项辅助性绿色防控手段,在虾田稻螟虫防控也有一定效果,但在滁州地区虾田水稻中使用不多,主要原因是杀虫灯成本偏高,太阳能蓄电设备寿命短,后期维修维护不方便,更换配件材料费偏高等,今后,可以对太阳能蓄电设备技术,适合水稻害虫诱杀光谱和波段筛选,杀虫灯自动清洁等方面加以改进与发展。

参考文献

[1] 孙远宏,吴怀刚,柏新盛,等.凤阳县水稻二化螟的发生特点及防治措施[J]. 现代农业科技, 2010(8): 182, 184.
 [2] 王有贤,王卓,臧连生,等.乙基多杀菌素与甲氧虫酰肼混配防治水稻二化螟的效果研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(31): 10922-10923, 10926.
 [3] 安徽省水产技术推广总站. 关于印发《稻田田间工程设计与建造指导

(21): 194-195.

- [2] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.
 [3] 王富国,宋琳,冯艳,等.不同种植年限酸化果园土壤微生物学性状的研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 46-50.
 [4] 张东,扈强,杜咏梅,等. 植烟土壤酸化及改良技术研究进展[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(5): 113-118.
 [5] 张秋菊. 典型浓香型烟区不同肥料配比对植烟土壤养分、烟叶品质的影响研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
 [6] 蔡燕飞,廖宗文,章家恩,等. 生态有机肥对番茄青枯病及土壤微生物多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 349-353.
 [7] 匡传富,何志明,汤若云,等. 烟草青枯病土壤微生物数量及生理群的测定[J]. 中国烟草科学, 2003, 24(1): 43-45.
 [8] 蔡燕飞,廖宗文,董春,等. 番茄青枯病的土壤微生态防治研究[J]. 农业环境保护, 2002, 21(5): 417-420.
 [9] NISHIYAMA M, SHIOMI Y, SUZUKI S, et al. Suppression of growth of *Ralstonia solanacearum*, tomato bacterial wilt agent, on/in tomato seedlings cultivated in a suppressive soil[J]. Soil science and plant nutrition, 1999, 45(1): 79-87.
 [10] 黄凯,代惠娟,刘焕军,等. 十堰市植烟土壤状况·保育和修复技术[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(15): 169-172, 175.
 [11] HOITINK H A J, FAHY P C. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts[J]. Annual reviews of phytopathology, 1986, 24(1): 93-114.
 [12] HOITINK H A J, INBAR Y. Compost can suppress soil-borne diseases in container media[J]. American nurseryman, 1991, 178(6): 91-94.
 [13] PHAE C G, SHODA M, KITA N, et al. Biological control of crown and root rot and bacterial wilt of tomato by *Bacillus subtilis* NB22[J]. Annals of the phytopathological society of Japan, 1992, 58(3): 329-339.
 [14] 李忠奎,丁亚茹,周应刚,等. 不同前作对植烟土壤养分含量、酶活性及细菌群落结构的影响[J]. 云南农业大学学报, 2020, 35(4): 708-716.
 [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
 [16] 李忠奎,凌爱芬,李红丽,等. 基于多样性测序对健康与易感病烟田根际土壤微生物群落分析[J]. 河南农业大学学报, 2019, 53(6): 918-925.
- 意见》的通知:皖渔技字(2019)03 号[A]. 2019.
- [4] 刘广根. 稻田养殖小龙虾把好“十关”[J]. 渔业致富指南, 2020(9): 34-37.
 [5] 阙有清,贺兵,饶瑞,等. 铜仁市稻虾养殖技术初探[J]. 渔业致富指南, 2020(15): 43-48.
 [6] 王大鹏,陆专灵,曾华忠,等. 广西稻田小龙虾与罗氏沼虾轮养初试[J]. 科学养鱼, 2019(12): 28-29.
 [7] 陈先茂,彭春瑞,姚锋先,等. 利用香根草诱杀水稻螟虫的技术及效果研究[J]. 江西农业学报, 2007, 19(12): 51-52, 56.
 [8] 陈先茂,彭春瑞,谢江,等. 绿色水稻生产中种植香根草诱杀螟虫技术[J]. 江西植保, 2008(3): 120-121.
 [9] 郑许松,鲁艳辉,钟列权,等. 诱虫植物香根草控制水稻二化螟的最佳田间布局[J]. 植物保护, 2017, 43(6): 103-108.
 [10] 阙勇,乐丽红,王宗尧. 2016 年吉安市水稻二化螟大发生的原因分析及防控对策[J]. 江西农业, 2017(13): 22-23.
 [11] 方菲,徐光曙,曹玉洪. 虾稻连作模式下有机水稻病虫害绿色防控模式研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(17): 129-131, 134.