

王廷峰, 赵密珍, 关 玲, 等. 玉米套作及秸秆还田对草莓连作土壤养分及微生物区系的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(6): 1421-1427.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.06.022

玉米套作及秸秆还田对草莓连作土壤养分及微生物区系的影响

王廷峰^{1,2}, 赵密珍¹, 关 玲¹, 庞夫花¹, 于红梅¹, 蔡伟建¹

(1.江苏省农业科学院果树研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏 南京 210014; 2.南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 以连作草莓大田为试验对象, 设置玉米套作棚与对照棚 2 个处理, 分别于玉米苗期、成熟期和秸秆腐熟期调查两棚土壤养分含量及微生物区系状况。结果表明: 玉米套作及秸秆还田处理后的连作土壤有机质含量提高 19.64%, 碱解氮含量提高 11.68%, 有效铁含量提高 56.49%~78.74%, 有效钙含量提高 7.16%, 过剩的有效镁含量降低 9.20%~17.65%; 套作棚的土壤细菌数量和细菌/真菌值均比对照棚提升了 22.24% 和 20.62%, 土壤微生物结构由“真菌型”向“细菌型”转变; 玉米套作及秸秆还田处理后的放线菌数量是对照的 2.64 倍, 增强了抵御病虫害侵染的能力。因此, 玉米套作及秸秆还田处理可以有效改善草莓连作土壤的养分状况和微生物群落结构, 缓解连作土壤碱化和次生盐渍化。

关键词: 套作玉米; 秸秆还田; 连作; 草莓; 土壤养分; 微生物

中图分类号: S668.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)06-1421-07

Effects of intercropping with corn and straw returning on nutrients and microflora in strawberry continuous cropping soil

WANG Ting-feng^{1,2}, ZHAO Mi-zhen¹, GUAN-Ling¹, PANG Fu-hua¹, YU Hong-mei¹, CAI Wei-jian¹

(1. Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory of Horticultural Crops Genetic Improvement, Nanjing 210014, China; 2. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In the experiment, the field of continuous strawberry was taken as the test object. Two treatments of intercropping with corn and control were set up, respectively. The soil nutrient content and microbial communities status under the two treatments were investigated in the corn seedling stage, corn maturity stage and corn stalk rotten stage. Compared with the control, the soil organic matter (SOM) content, soil available nitrogen (SAN) content, soil available iron (SAFe) content and soil available calcium (SACa) content in the treatment of intercropping with corn and straw returning increased by 19.64%, 11.68%, 56.49%–78.74% and 7.16%, and the soil available magnesium (SAMg) content decreased by 9.20%–17.65%. The number of soil bacteria and the value of bacteria/fungi increased by 22.24% and 20.62% compared with those in the control. The number of the actinomycetes in the treatment of intercropping with corn and straw returning was 2.64 times of that in the control, which enhanced the ability of the strawberry plants to resist pest and disease infection. Therefore, the

treatment of intercropping with corn and straw returning can effectively improve the nutrient status and microbial community structure in strawberry continuous cropping soil, and slow down soil alkalization and secondary salinization.

Key words: intercropping with corn; straw returning; continuous cropping; strawberry; soil nutrients; microorganism

收稿日期: 2019-02-25

基金项目: 江苏省科技重点项目 (BE2018389); 江苏省草莓产业技术体系项目 [JATS(2018)256]

作者简介: 王廷峰 (1995-), 男, 江西上饶人, 硕士研究生, 研究方向为果树栽培生理。 (E-mail) 2017804173@njau.edu.cn

通讯作者: 赵密珍, (E-mail) njzhaomz@163.com

草莓 (*Fragaria ananassa* Duch.) 属蔷薇科 (Rosaceae) 多年生草本植物, 因其果实色、香、味俱佳且富含营养, 深受消费者青睐^[1-2]。近年来, 随着社会发展, 耕地面积逐渐缩小, 设施草莓栽培面积所占比例逐年递增, 草莓连作障碍愈发严重^[3]。连作会使土壤出现养分失衡、理化性质恶变、微生物群落结构改变、作物自毒物质累积等负面影响^[4-6], 会使植株出现长势衰弱、病虫害增多、果实品质降低及产量严重下降等现象^[7]。探究连作障碍的发生途径和解决办法是农业发展的重要任务之一。

套作栽培作为一种高效种植模式被广泛应用, 其原理为生长在同一土地上的不同作物通过竞争或促进关系, 合理分配有限资源, 直接或间接地影响种间生物和作物根际微环境, 提升有限土地的收益^[8-9]。作物套作不仅可以提高时空资源利用率, 推动土地的可持续发展^[10], 还能有效缓解作物连作带来的诸多不利影响。例如套作糯玉米并秸秆还田能有效改善连作西兰花土壤理化性质和田间生态环境^[11-12]; 张浩等^[13]使用茼蒿和芹菜分别与番茄套作, 发现套作处理可以缓解番茄的连作障碍, 显著提高番茄产量。目前, 套作处理对连作草莓土壤环境影响的报道较少。本研究通过对连作草莓进行套作玉米及秸秆还田处理, 探究连作草莓土壤养分含量及微生物区系的变化规律, 探寻草莓连作障碍的缓解办法, 为提升草莓产量和提高草莓品质提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验地位于江苏省海门市为群村, 该试验田连作草莓 5 年, 前茬品种为红颊。草莓于 2017 年 8 月底定植于相邻的 2 个塑料大棚中, 收获期为 11 月至

翌年 4 月下旬, 期间 2 棚田间管理一致。选择一棚作为套作棚, 于翌年 3 月下旬在草莓垄面中心点播 1 行玉米, 玉米苗期浇 1 至 2 次水, 其他生长期依自然降水, 拔节期以每 667 m² 追施 15 kg 尿素 1 次。另外一棚作为对照棚, 两棚草莓进行相同常规水肥管理, 4 月下旬拔除草莓植株, 5 月中下旬撤除两棚地膜、棚膜。7 月初将套作棚的玉米秸秆还田。

1.2 样品采集

分别于 2018 年 4 月 18 日即玉米苗期、2018 年 7 月 1 日即玉米成熟期、2018 年 8 月 7 日即玉米秸秆腐熟期采集土壤样品。两棚均以“S 型”布置 5 个取样点, 每个取样点按照土层深度 0~10.0 cm、10.1~20.0 cm 和 20.1~30.0 cm 采集土壤。清理土壤中的落叶、断根和石块后, 将土壤分为 2 份, 其中一份用以测定土壤微生物数量, 另一份自然风干后研磨, 过 0.8 mm 尼龙筛, 取 100 g 筛后样品再次研磨后过 0.16 mm 尼龙筛, 收集筛后样品用以测定土壤养分。

1.3 测定方法

采用常规方法测定土壤养分含量^[14]、pH 值和 EC 值^[15], 使用常规方法培养并计数土壤微生物数量^[16]。

1.4 数据处理

使用 Excel 2010 软件整理数据, 使用 SPSS 17.0 软件对相关数据进行单因素方差分析 (LSD 法)。

1.5 土壤 pH、EC 值及养分分级标准

土壤 pH 值分级标准参考美国土壤调查手册^[17], 土壤 EC 值分级标准参考张鹤航等^[18]的研究结果, 土壤有机质、大量和微量元素的养分分级指标参考中国第二次土壤普查推荐的养分分级标准^[19], 其中有效钙和有效镁含量分级指标参考章永松等^[20]的研究结果, 各养分分级标准见表 1。

表 1 土壤养分含量分级标准

Table 1 Classification standard of soil nutrient content

丰缺程度	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	有效铁 (mg/kg)	有效锰 (mg/kg)	有效锌 (mg/kg)	硼 (mg/kg)	有效钙 (g/kg)	有效镁 (mg/kg)
极缺乏	<6.0	<30.0	<30.0	<3.0						
很缺乏	6.0~10.0	30.0~60.0	30.0~50.0	3.0~5.0	<2.5	<1.0	<0.30	<0.30	<0.40	<60.0
缺乏	10.1~20.0	60.1~90.0	50.1~100.0	5.1~10.0	2.50~4.50	1.0~5.0	0.30~0.50	0.30~0.50	0.40~0.80	60.0~120.0
适中	20.1~30.0	90.1~120.0	100.1~150.0	10.1~20.0	4.51~10.00	5.1~15.0	0.51~1.00	0.51~1.00	0.81~1.20	120.1~180.0
丰富	30.1~40.0	120.1~150.0	150.1~200.0	20.1~40.0	10.01~20.00	15.1~30.0	1.01~3.00	1.01~2.00	>1.20	>180.0
很丰富	>40.0	>150.0	>200.0	>40.0	>20.00	>30.0	>3.00	>2.00		

2 结果与分析

2.1 玉米套作及秸秆还田后套作棚土壤养分状况

以草莓根围层(0~20.0 cm)土壤养分含量作为田间养分分级依据,套作棚在玉米秸秆腐熟后,土壤有机质含量为(16.33±1.57) g/kg(表2),属于缺乏水平(表1),并随土层加深呈递减趋势。土壤碱解氮、有效锰、有效锌、硼和有效镁含量分别为(74.63±0.60) mg/kg(缺乏)、(17.84±1.06) mg/kg(丰富)、(1.97±0.07) mg/kg(丰富)、(0.51±0.02)

mg/kg(适中)和(211.25±5.06) mg/kg(丰富),且深土层(20.1~30.0 cm)含量分别比根围层低33.04%、28.63%、47.53%、41.58%和8.24%。土壤速效钾和速效磷含量分别为(74.64±4.62) mg/kg(缺乏)和(37.10±3.32) mg/kg(丰富),均随土层加深呈递减趋势。土壤有效铁含量为(34.10±4.57) mg/kg(很丰富),随土层加深呈先增后减趋势。土壤有效钙含量为(3.59±0.06) g/kg(丰富),且深土层(20.1~30.0 cm)含量比根围层高8.56%。

表2 玉米套作及秸秆还田腐熟后连作土壤养分状况

Table 2 Nutrient status of continuous cropping soil after straw decomposition in the treatment of intercropping with corn and straw returning

土层 (cm)	SOM (g/kg)	SAN (mg/kg)	SAK (mg/kg)	SAP (mg/kg)	SAFe (mg/kg)	SAMn (mg/kg)	SAZn (mg/kg)	SB (mg/kg)	SACa (g/kg)	SAMg (mg/kg)
0~10.0	17.64±0.03a	74.99±0.68a	78.54±1.58a	39.94±0.43a	30.19±1.12b	16.95±0.48a	2.02±0.02a	0.52±0.01a	3.55±0.04b	214.48±1.92a
10.1~20.0	15.02±0.73b	74.26±0.30a	70.75±0.93b	34.26±0.83b	38.02±0.40a	18.73±0.06a	1.93±0.08a	0.49±0.01a	3.64±0.04b	208.02±5.61a
20.1~30.0	8.39±0.43c	49.97±0.14b	42.74±0.50c	11.94±0.21c	21.68±0.86c	12.73±0.96b	1.04±0.05b	0.30±0.01b	3.90±0.08a	193.84±4.50b
0~20.0	16.33±1.57	74.63±0.60	74.64±4.62	37.10±3.32	34.10±4.57	17.84±1.06	1.97±0.07	0.51±0.02	3.59±0.06	211.25±5.06

SOM:土壤有机质;SAN:土壤碱解氮;SAK:土壤速效钾;SAP:土壤速效磷;SAFe:土壤有效铁;SAMn:土壤有效锰;SAZn:土壤有效锌;SB:土壤硼;SACa:土壤有效钙;SAMg:土壤有效镁。表中数据为平均值±标准差,不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 玉米套作及秸秆还田后不同时期土壤养分的变化

由图1可知,套作棚土壤有机质和碱解氮含量均在玉米生长过程中变化较小,秸秆还田腐熟后,套作棚有机质和碱解氮含量分别比对照棚高19.64%和11.68%。套作棚和对照棚的速效钾含量分别在玉米成熟后降低了45.40%和31.33%,套作棚速效钾含量分别在玉米成熟期和玉米秸秆腐熟期比对照棚低31.93%和26.12%。两棚速效磷含量均在玉米生长后期略微降低,但两棚之间的差异不显著。对照棚有效铁含量在试验过程中变化较小,套作棚有效铁含量在秸秆腐熟后较玉米苗期提升了39.23%,且套作棚有效铁含量在玉米成熟期和秸秆腐熟期分别较对照棚高56.49%和78.74%。两棚有效锰含量在玉米生长过程中变化不明显,套作棚有效锰含量在玉米苗期较对照棚高82.06%。两棚有效锌含量在玉米生长过程中变化也较小,且在试验过程中两棚差异不显著。对照棚硼含量在试验过程中变化不大,套作棚硼含量在玉米苗期较对照棚低29.65%。两棚有效钙含量都随玉米生长呈递增趋势,且玉米秸秆腐熟后,套作棚有效钙含量较对照棚高7.16%。两棚有效镁含量在玉米生长过程中

变化不大,且套作棚比对照棚低9.20%~17.65%。

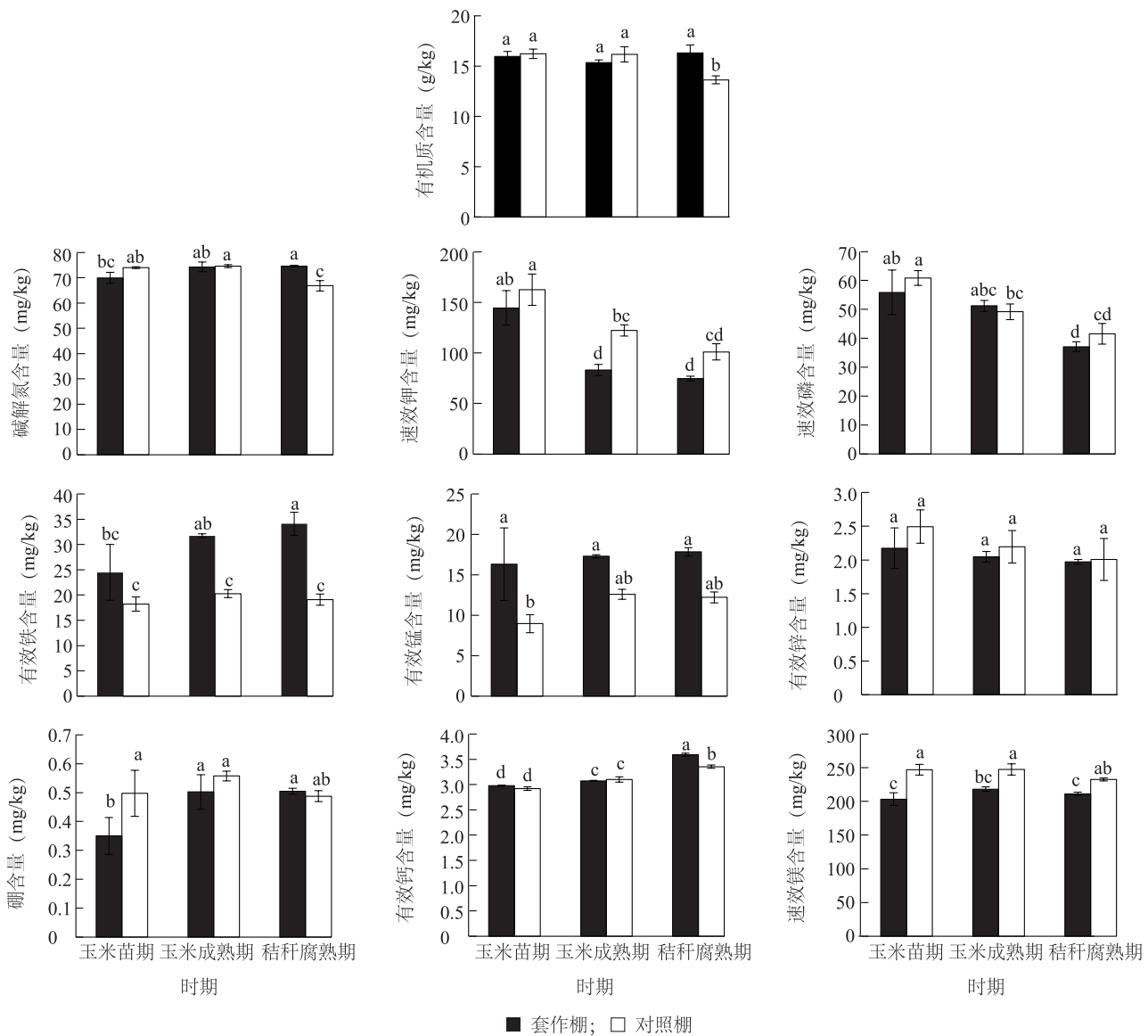
2.3 玉米套作及秸秆还田后套作棚土壤微生物区系及pH和EC值

由表3可知,连作草莓土壤经玉米套作及秸秆还田处理后,土壤微生物群落以细菌为主,真菌的数量最少,深土层土壤放线菌数量较根围层少24.97%,细菌、真菌数量及pH、EC值在各土层中均差别不大。土壤pH值为7.39±0.10(中性土壤),土壤EC值为(0.22±0.04) mS/cm,属于正常的盐渍化水平。

2.4 玉米套作及秸秆还田后不同时期土壤微生物区系及pH和EC值的变化

由图2可知,套作棚和对照棚土壤细菌数量均在玉米秸秆腐熟后分别比玉米苗期升高了82.21%和61.97%。两棚土壤真菌数量差异不显著,且均在玉米生长过程中呈先降后升趋势。套作棚土壤放线菌数量随玉米生长持续增加,玉米秸秆腐熟后,套作棚土壤放线菌数量是对照棚的2.64倍。土壤细菌数量与真菌数量的比值(B/F)在一定程度上影响着土壤的潜在肥力^[21]。套作棚和对照棚在秸秆腐熟期土壤 B/F 值分别比玉米苗期高85.98%和65.36%;套作棚土壤pH在试验过程变化不明显,对

照棚在秸秆腐熟期土壤 pH 比玉米苗期高 4.84%。套作棚土壤 EC 值在玉米秸秆腐熟后显著较腐熟前低 42.02%。



土壤样品为根围层(0~20.0 cm)混合土壤。不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

图1 不同时期土壤养分变化趋势

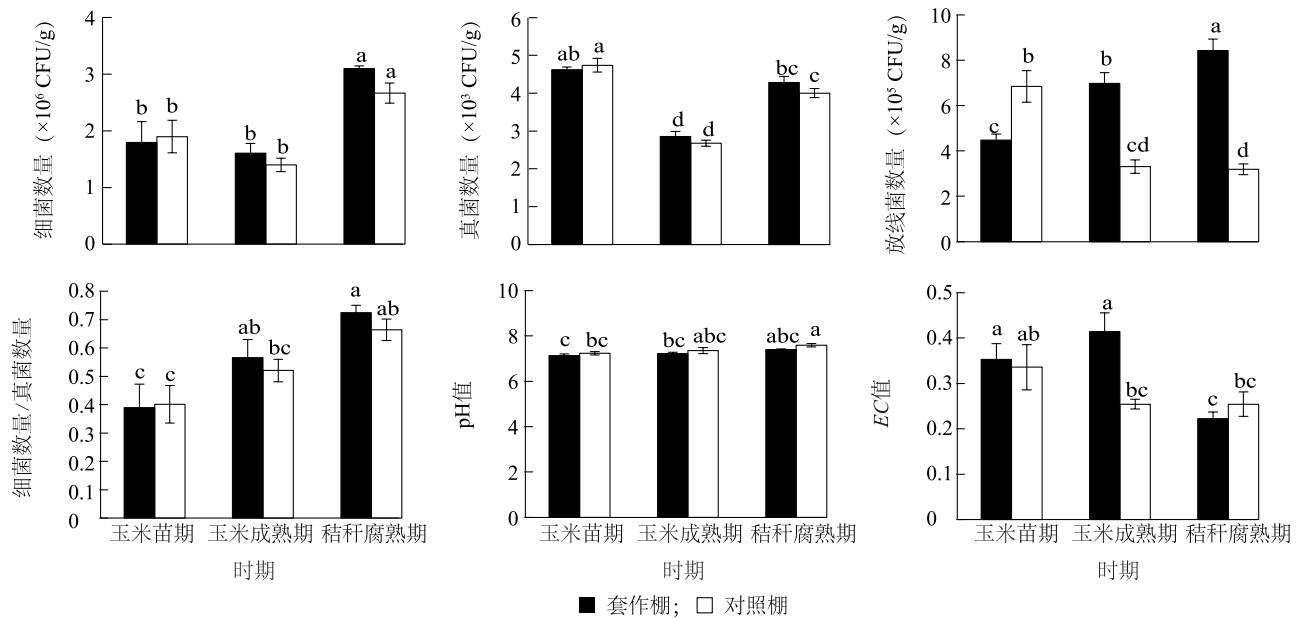
Fig.1 Change trend of soil nutrients in different periods

表 3 玉米秸秆腐熟后套作棚不同土层土壤微生物数量及 pH、EC 值

Table 3 Soil microorganism quantity, pH and EC value in different soil layers of intercropping shed after straw decomposition

土层 (cm)	细菌数量 ($\times 10^6$ CFU/g)	真菌数量 ($\times 10^3$ CFU/g)	放线菌数量 ($\times 10^5$ CFU/g)	pH 值	EC 值 (mS/cm)
0~10.0	3.18 \pm 0.08a	4.74 \pm 0.16a	9.55 \pm 0.44a	7.45 \pm 0.01a	0.24 \pm 0.04a
10.1~20.0	2.99 \pm 0.04a	4.09 \pm 0.33a	8.83 \pm 0.27a	7.33 \pm 0.18a	0.25 \pm 0.01a
20.1~30.0	3.10 \pm 0.17a	4.04 \pm 0.12a	6.90 \pm 0.02b	7.40 \pm 0.07a	0.19 \pm 0.01a
0~30.0	3.09 \pm 0.12	4.29 \pm 0.39	8.43 \pm 1.25	7.39 \pm 0.10	0.22 \pm 0.04

不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。



图中数据为3个深度土样数据的平均值。

图2 不同时期土壤微生物区系状况及 pH、EC 值

Fig.2 Soil microflora, pH and EC values in different periods

3 讨论

研究发现,套作及秸秆还田处理后,土壤有机质、速效钾、速效磷含量均随土层加深呈递减趋势,土壤有效铁含量随土层加深呈先增后减趋势;深土层(20.1~30.0 cm)土壤碱解氮、有效锰、有效锌、硼、有效镁含量均低于根围层(0~20.0 cm),说明套作及秸秆还田处理后土壤养分主要集中在0~20.0 cm 土层中,有利于根系不长的草莓植株吸收利用。根围层土壤有效钙含量比深土层低 7.16%,这是因为土壤中的水溶性钙和吸附性钙都极易随土壤水分下移而发生迁移^[22]。若土壤缺钙严重,则可施用一定配比(1:1,质量比)的钙磷肥,在补充钙肥的同时,降低土壤有效钙的淋溶损失^[23]。土壤养分含量受施肥、灌溉、雨水淋失、气态化损失及土壤内部复杂转化过程等多方面因素影响^[24]。秸秆腐熟期(8月份)气温较高,土壤好氧型微生物活动旺盛,部分土壤有机质和碱解氮会分解为 CO_2 、 H_2O 和矿物质^[25],套作棚的土壤有机质和碱解氮含量在这一时期分别比对照棚高 19.64%和 11.68%,说明套作玉米及秸秆还田可以弥补土壤有机质和碱解氮的自然损失,但处理后土壤有机质和碱解氮含量的丰缺程度仍属缺乏,在生产应用上还需额外增施有机氮肥。

套作及秸秆还田处理后的连作土壤速效钾含量比对照低26.12%~31.93%,丰缺程度属缺乏,这是因为草莓和玉米都属于喜钾作物^[26-27],需钾量高,在生产应用上应注意增施钾肥。两棚土壤有效磷和有效锌含量均属丰富水平,且处理后的两棚差异不显著。套作及秸秆还田处理后的连作土壤有效铁含量较对照高56.49%~78.74%,丰缺程度属很丰富,说明草莓套作玉米可以显著提升土壤有效铁含量。套作及秸秆还田处理后的土壤有效锰、硼含量分别达到丰富、适中水平,套作棚土壤有效锰、硼含量在玉米苗期分别较对照棚高 82.06%、低 29.65%,而在秸秆腐熟后与对照的差异不显著。套作及秸秆还田处理后的连作土壤有效钙含量较对照棚高 7.16%,丰缺程度属丰富,说明套作及秸秆还田处理可以有效提升土壤有效钙含量。土壤经历长期连作,必然造成某一种或几种营养元素的亏缺,而另一些营养元素则有可能日益积聚,造成土壤养分失衡。如胡萝卜连作土壤速效磷含量严重超标^[28],黄瓜连作土壤中速效磷过剩,速效钾则消耗过多^[29]。本研究发现,玉米套作及秸秆还田处理后的连作土壤有效镁含量较对照低9.20%~17.65%,属丰富水平,说明套作及秸秆还田处理可以有效降低草莓连作土壤中过剩的土壤有效镁含量。

土壤微生物群落结构是评价土壤质量的重要指

标之一^[30],施肥、土地利用方式^[31]和气候等都会影响土壤微生物的群落结构。本试验中,两棚土壤真菌数量均随玉米生长呈先降后升趋势,但两棚之间差异不显著;两棚土壤细菌数量均在气温较高的秸秆腐熟期有所提升,但套作棚土壤细菌数量比对照棚提升了22.24%;两棚土壤B/F值均在秸秆腐熟期较玉米苗期有所提升,但套作棚的B/F值比对照棚提升了20.62%。这说明玉米套作及秸秆还田处理可以显著提升土壤细菌数量,同时提高土壤B/F值,使土壤肥力由“真菌型”向“细菌型”转变。土壤放线菌参与土壤养分合成、转化过程^[32],其代谢产物是抗生素、驱虫剂等活性物质的重要来源^[33],根际土壤中的放线菌在植株根系抵抗病原真菌侵袭的过程中发挥着重要作用^[34]。本试验中,放线菌主要分布在0~20.0 cm土层中,作用于草莓植株的根系。对照棚土壤放线菌数量在玉米成熟后有所降低,套作棚土壤放线菌数量随着玉米的生长发育持续升高,玉米秸秆腐熟后,套作棚土壤放线菌数量是对照棚的2.64倍。这说明玉米套作及秸秆还田处理可以有效提升根际土壤放线菌数量,一定程度上防御了连作土壤中病虫害的侵染。

一般来说,草莓在pH为4.20~9.16的土壤环境中均可生存^[35],但最适合生长在pH为5.8~6.5的微酸性土壤中^[36]。本试验中,对照棚在秸秆腐熟期的土壤pH较玉米苗期升高了4.84%,套作棚土壤pH则维持稳定水平,平均pH值为7.39±0.10,属于中性土壤。说明玉米套作及秸秆还田处理在一定程度上可以减缓连作土壤因碱性物质水解造成的土壤碱化。对照棚土壤EC值在试验过程中变化较小,套作棚土壤EC值在玉米秸秆腐熟后较腐熟前降低42.02%,平均EC值为(0.22±0.04) mS/cm,属于正常的盐渍化水平(<0.55 mS/cm)。说明玉米套作及秸秆还田处理可减缓连作土壤的次生盐渍化。

总之,玉米套作及秸秆还田处理能有效提高草莓连作土壤有机质、碱解氮、有效铁、有效钙含量,降低连作土壤中过剩的有效镁含量,改善连作土壤的微生物群落结构,缓解连作土壤碱化和次生盐渍化。

参考文献:

[1] 周游,李海梅,赵金山,等. 乳酸菌对草莓生长和品质性状的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(5): 1124-1128.

[2] 于红梅,赵密珍,袁华招,等. 江苏省草莓生产现状调查及经济效益分析[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(24): 345-347.

[3] 于立杰,梁春莉,于强波. 草莓连作障碍发生机理及防治措施[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(27): 13118-13119.

[4] HUANG H C, CHOU C H, ERICKSON R S. Soil sickness and its control[J]. *Allelopathy Journal*, 2006, 18(1): 1-21.

[5] YU J Q, SHOU S Y, QIAN Y R, et al. Autotoxic potential of cucurbit crops[J]. *Plant and Soil*, 2000, 223(1/2): 147-151.

[6] 章家恩,刘文高,王伟胜. 南亚热带不同植被根际微生物数量与根际土壤养分状况[J]. 土壤与环境, 2002, 11(3): 279-282.

[7] HOESTRA H. General remarks on replant disease[J]. *Acta Horticulture*, 1988, 233: 11-16.

[8] TANG X Y, BERNARD L, BRAUMAN A, et al. Increase in microbial biomass and phosphorus availability in the rhizosphere of intercropped cereal and legumes under field conditions[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014(75): 86-93.

[9] 韦俊,杨焕文,徐照丽,等. 不同烤烟套作模式对烤烟根际土壤细菌群落特征及烤烟产质量的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(4): 601-608.

[10] 段峰,王秀云,高志红. 园艺作物连作障碍发生原因及防治措施[J]. 江西农业学报, 2011, 23(3): 34-39.

[11] 杨燕,张学鹏,宁堂原,等. 套作及秸秆还田对西兰花连作田土壤团聚体分布的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(S2): 85-93.

[12] 张学鹏,曹玉博,宁堂原,等. 套作糯玉米对西兰花连作田土壤微生物量及酶活性的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(1): 149-157.

[13] 张浩,李福云,徐志然,等. 不同套作模式对温室连作番茄生长产量及土壤微生物与酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2014(13): 46-49.

[14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 108-109.

[15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990.

[16] 李卓棣. 农业微生物学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.

[17] SOIL SURVEY STAFF. Soli survey manual[M]. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Handbook No.18 U.S. Government Printing Office, 1993: 437-1036.

[18] 张鹤航,石军. 电导法在土壤盐渍化程度评估中的应用[J]. 天津农业科学, 1995(3): 27-28.

[19] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 860-934.

[20] 章永松,倪吾钟,林咸永. 杭州市郊菜园土壤的有效养分状况与施肥对策[M]//谢建昌,陈际型. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997: 43-46.

[21] 许汝冰,李进平,孔文,等. 湖北保康不同海拔高度烟田土壤微生物分析[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(24): 5625-5627.

[22] 何春梅,王飞,李昱,等. 有机肥及其配施钙肥在沿海耕作风砂土中的钙淋溶迁移、转化特征研究[J]. 福建农业学报,

- 2012, 27(5): 533-538.
- [23] 刘晶晶,刘春生,李同杰,等. 钙在土壤中的淋溶迁移特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 53-56.
- [24] 周健民,沈仁芳. 土壤学大辞典[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [25] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 34-35.
- [26] 邢尚军,马海林,杜振宇,等. 钾肥对草莓产量和品质的影响[J]. 落叶果树, 2000(2): 15-16.
- [27] 刘素玲,陈威,吴欣,等. 夏玉米需肥规律与影响因子研究分析[J]. 农业科技通讯, 2018(7): 222-224.
- [28] 曹永胜,张雪松,戴素英. 胡萝卜特产区连作障碍原因调查分析[J]. 华北农学报, 2006, 21(增刊): 148-150.
- [29] 吕卫光,余廷园,诸海涛,等. 黄瓜连作对土壤理化性状及生物活性的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 119-121.
- [30] 李光宇,吴次芳. 土壤微生物研究在农田质量评价中的应用[J]. 土壤学报, 2018, 55(3): 543-556.
- [31] 马琳. 土壤微生物数量变化特征研究进展[J]. 南方农业, 2018, 12(31): 106-108.
- [32] 杨敏,裴卫华,董家红,等. 魔芋连作对根际土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2018(23): 110-115.
- [33] OLANO C, MÉNDE Z, CARME N, et al. Antitumor compounds from marine actinomycetes[J]. Marine Drugs, 2009, 7(2): 210-248.
- [34] GOODFELLOW M, WILLIAMS S T, WILLIAMS M M. Actinomycetes in biotechnology[M]. New York: Academic Press, 1989: 327-358.
- [35] 艾天成,雷泽湘,万健民,等. 土壤环境对草莓生长发育的影响[J]. 湖北农业科学, 2003(1): 60-62.
- [36] 张秀刚,刁福山,张秀贵,等. 草莓基础生理及其栽培[M]. 北京:中国林业出版社, 1993.

(责任编辑:张震林)