

不同微生物菌剂对旱砂田西瓜生长和微生物区系的影响

杜少平¹, 唐超男¹, 马忠明², 薛亮³, 漆永红⁴, 张俊峰¹, 蒯佳琳¹

(1. 甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为解决连作旱砂田西瓜植株生长性能、产量品质、根际微生物数量下降的问题, 以陇科12号为指示品种, 设置常规施肥、常规施肥+西瓜专用菌剂、常规施肥+激活土壤专用菌剂、常规施肥+胶质芽孢杆菌、常规施肥+枯草芽孢杆菌、常规施肥+地衣芽孢杆菌、常规施肥+金宝贝微生物菌剂共7个处理, 研究了不同微生物菌剂对旱砂田西瓜出苗与成活率、干物质积累、产量品质和根际微生物区系的影响。结果表明, 与对照常规施肥相比, 尽管施用微生物菌剂对西瓜果实的含糖量无显著影响, 但除常规施肥+激活土壤专用菌剂外, 其他微生物菌剂的施用均可以提高西瓜成活率和产量, 促进干物质积累, 增加西瓜根区微生物数量。其中以常规施肥+地衣芽孢杆菌处理的西瓜出苗率、成活率和产量最高, 与对照常规施肥比较, 出苗率显著提高7个百分点; 成活率显著提高了14%; 产量显著提高了35.98%。团棵期和开花坐果期的干物质积累量也较对照分别显著增加了28.30%和24.01%, 干物质转运量和转运率分别显著增加了3.98倍和3.01倍, 根区细菌、真菌和放线菌数量分别显著增加61.07%、84.84%、85.31%。因此, 生产上可以常规施肥+地衣芽孢杆菌作为最佳施肥方案, 有助于改善旱砂田西瓜根际微生物环境, 提高作物产量。

关键词: 微生物菌剂; 砂田西瓜; 产量; 品质; 土壤微生物

中图分类号: S651 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2022)01-0057-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2022.01.011

Effects of Microbial Fertilizer on Growth and Microbial Flora of Watermelon in Gravel Mulch Field

DU Shaoping¹, TANG Chaonan¹, MA Zhongming², XUE Liang³, QI Yonghong⁴, ZHANG Junfeng¹, KUAI Jialin¹

(1. Institute of Vegetables, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agricultural, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 4. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: In order to solve the problems of watermelon (*Citrullus lanatus*) plant growth performance, yield quality and rhizosphere microorganism decline in the continuous cropping gravel mulch field. Longke12 was used as the test cultivar and 7 treatments were set up with conventional fertilization (CK), conventional fertilization + watermelon special microbial agent (M₁), conventional fertilization+activated soil special microbial agent(M₂), conventional fertilization+Bacillus mucilaginosus(M₃), conventional fertilization+Bacillus subtilis(M₄), conventional fertilization+Bacillus licheniformis(M₅), conventional fertilization+Gymboree microbial agent (M₆). Based on the local conventional fertilization, the emergence and survival rate, dry matter accumulation, yield quality and rhizosphere microflora of watermelon in a field mulched with gravel were studied. The results showed that compared with CK, although the application of microbial agent had no significant effect on the sugar content of watermelon fruit. However, except M₂, the application of other microbial agents could increase the survival rate of watermelon, promote dry matter accumulation, increase yield and the number of microorganisms in watermelon root zone. Among them, the emergence rate, survival rate and yield of

收稿日期: 2022-07-04

基金项目: 甘肃省农业科学院重点研发计划(2021GAAS09); 国家西甜瓜产业技术体系土壤与养分管理岗位项目(CARS-26); 国家重点研发计划(2018YFD0201304)。

作者简介: 杜少平(1979—), 男, 甘肃静宁人, 研究员, 主要从事西甜瓜水肥高效利用技术研究工作。Email: dushaoping2007@163.com。

通信作者: 马忠明(1963—), 男, 甘肃民勤人, 研究员, 博士生导师, 主要从事作物水肥高效利用和节水高产栽培理论与技术研究工作。Email: mazhming@163.com。

watermelon treated with M_5 were the highest, which were significantly increased by 7% 14% and 35.98% compared with CK, respectively. In addition, compared with CK the dry matter accumulation in the cluster period, flowering and fruiting period, dry matter translocation volume and translocation rate, were significantly increased by 28.30%, 24.01%, 3.98 times and 3.01 times, respectively, and the number of bacteria, fungi and actinomycetes in the root zone were also significantly increased by 61.07%, 84.84% and 85.31%, respectively. Therefore, conventional fertilization+*Bacillus licheniformis*(M_5) as the best fertilization scheme can help to improve the rhizosphere microbial environment of watermelon in gravel mulch field and to increase crop yield.

Key words: Microbial agent; Watermelon in gravel mulch field; Yield; Quality; Soil microorganism

我国西北地区耕地以旱地为主, 年平均降水量仅 180~350 mm, 蒸发量却在 1 500~2 000 mm, 且地力薄弱^[1]。为适应西北生态环境特点, 广大劳动人民在长期生产实践过程中不断总结创新, 形成一种特殊的保护性耕作方式, 即压砂栽培。压砂田具有良好的增湿、保墒、保肥和保温效用, 且土质疏松、耕性和透气性好、风化程度低、富含多种矿物营养, 已成为当地西瓜的主要栽培方式^[1-3]。2008 年, 仅宁夏中卫地区砂田西瓜连片种植面积已达 6.7 万 hm^2 , 销售总额突破 7.2 亿元^[4]。由于巨大的经济效益, 砂田西瓜种植面积逐渐扩大, 且种植模式单一^[2,4]。在长期连年种植过程中, 一方面对特定土壤养分的消耗造成了养分比例失调, 使得土壤理化性状恶化, 土壤酶活性下降; 另一方面由于缺乏相应调节机制, 有益菌群数量下降, 有害菌群或病原菌数量增加, 导致土壤微生物区系变化, 土传病害日趋严重, 严重制约了砂田西瓜的可持续发展^[4-8]。有研究表明, 在健康土壤上种植西瓜, 病株率小于 1.2%, 连作 1 年西瓜的病株率增加到 11.0%~25.8%, 连作 2 年西瓜发病率为 34.5%~58.4%, 连作 3 年后西瓜发病率高达 60%以上^[9]。通过与其他作物轮作倒茬或间作套种能够调节土壤微生物环境, 可以减轻连作带来的土壤质量及土传病害问题^[4,6-7,10]。但这在一定程度上会影响到西瓜产业的市场经济效益, 难以大规模实施。因此, 寻求连作土壤的改良方法对旱砂田西瓜产业的可持续发展具有重要意义。

施用微生物菌剂是促进作物生长、保障作物产量、提高土壤肥力、克服连作障碍的有效措施^[4,10-12]。微生物菌剂含有大量的有益活菌及多种天然发酵活性物质, 能够在根区土壤中繁殖形成有利于作物生长的微生物优势菌群, 来调节根际营养环境, 改善和恢复土壤微生态平衡, 以提高土壤肥力、改善土壤结构^[13]。同时, 微生物菌剂可以直接或通过产生次级代谢产物间接作用于宿主植物, 促进宿主植物的生长发育, 提高宿主植物的抗性^[14]。韦建玉等^[15]研究发现, 增施微生

物菌肥可提高植烟土壤的基本养分, 增加土壤细菌、放线菌、总菌数及固氮菌、解磷菌、解钾菌数量。大量研究表明, 与常规施肥处理相比, 施用微生物菌肥可以提升土壤有机质、全氮、全磷、全钾、硝态氮、速效磷、速效钾, 降低土壤 pH^[13-14,16], 增加青椒、番茄、黄瓜、西瓜等园艺产品的维生素 C 和可溶性固形物含量, 提高果实品质^[16-19]。此外, 有关多年连作西瓜的研究发现, 施用微生物菌剂能够通过改善土壤微环境、提高土壤综合肥力有效降低连作障碍或枯萎病发病率, 提高其产量和品质^[3,12,19-20]。因此, 施用微生物菌剂是防治作物连作障碍发生、增加作物产量、提高产品品质、保障经济收益的有效措施。

目前, 市场销售的微生物菌剂种类繁多, 且功效不一, 但只有适用于相应作物和栽培环境下的菌剂才能最大程度地发挥其功效^[3]。因此, 我们针对旱砂田西瓜, 开展了 6 种不同微生物菌剂对其发芽和成活率、干物质积累、产量品质及根际微生物区系的影响研究, 以确定最佳微生物菌剂, 为旱砂田西瓜的可持续生产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

指示西瓜品种为陇科 12 号。

供试微生物菌剂为: 西瓜专用菌剂(粉剂, 有效活菌数 ≥ 200 亿 /g, 含西瓜专用配方复合益生菌、抗病因子、生长因子等)、激活土壤专用菌(粉剂, 有效活菌数 ≥ 200 亿 /g, 含芽孢杆菌群、乳酸菌群、曲霉菌群、5406 菌群等)、胶质芽孢杆菌(粉剂, 有效活菌数 ≥ 100 亿 /g)、枯草芽孢杆菌(粉剂, 有效活菌数 ≥ 300 亿 /g)、地衣芽孢杆菌(粉剂, 有效活菌数 ≥ 300 亿 /g)、金宝贝微生物菌剂(颗粒剂, 有效活菌数 ≥ 1 亿 /g, 含固氮菌、解磷菌和解钾菌)。

供试肥料有牛粪(有机质 31.3%、全氮 1.5%、全磷 1.3%、全钾 2.2%, 皋兰县腾达养殖专业合作社提供)、磷酸二铵(N 18%、 P_2O_5 46%, 美国嘉吉磷肥工业集团有限公司)、尿素(N 46%, 甘肃刘家

峡化工集团有限责任公司)、硫酸钾(K₂O 52%, 国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司)。

1.2 试验方法

试验采用随机区组设计, 设置 7 种不同施肥处理: 常规施肥(CK)、常规施肥 + 西瓜专用菌剂(M₁)、常规施肥 + 激活土壤专用菌剂(M₂)、常规施肥 + 胶质芽孢杆菌(M₃)、常规施肥 + 枯草芽孢杆菌(M₄)、常规施肥 + 地衣芽孢杆菌(M₅)、常规施肥 + 金宝贝微生物菌剂(M₆)。3 次重复, 小区面积 32 m²。于 2021 年 4 月中旬在皋兰县九合镇三坪村播种, 7 月中下旬收获, 采用宽窄行“品”字形栽培模式, 窄行 0.6 m、宽行 0.9 m, 株距 55 cm。

全生育期施肥量为: 牛粪 22.5 t/hm²、N 110 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 130 kg/hm², 其中有机肥 100%、氮肥的 30%、磷肥 100%、钾肥的 50% 与微生物菌剂混合, 并添加微生物菌剂 4 kg/t, 拌匀后作基肥在瓜行条施; 氮肥的 70%、钾肥的 50% 在果实膨大期随补灌注入西瓜根部, 补灌水量为 3 kg/株。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 出苗率和成活率 在西瓜“2叶1心”时按小区调查全苗, 统计出苗率和成活率。

$$\text{出苗率} = \frac{\text{每小区出苗数}}{\text{每小区播种株数}} \times 100\%$$

$$\text{成活率} = \frac{\text{小区实际收获株数}}{\text{小区出苗株数}} \times 100\%$$

1.3.2 西瓜植株干物质测定 分别在西瓜团棵期、开花坐果期和成熟期每小区随机选取具有代表性的植株 5 株, 烘干后测定其干重。

1.3.3 西瓜果实含糖量和产量测定 每小区随机取 5~10 个成熟果实纵剖后, 在剖面中心略偏阳面取瓜瓢, 挤汁后用手持式折光仪测定中心糖含量, 另外在近中果皮 1 cm 处取宽 0.5 cm 的瓜瓢测定边缘糖含量。收获后每小区随机选 10 个果实称量单

瓜重, 统计每小区西瓜数, 计算产量。

1.3.4 土壤微生物数量测定 西瓜果实膨大期用不锈钢取土器采集 0~15 cm 土层土样, 采用稀释平板计数法测定真菌、细菌和放线菌的数量。其中, 真菌采用马丁(Martin)培养基, 在 25 °C 恒温箱中培养 5 d 后进行记数; 细菌采用营养琼脂培养基, 在 28 °C 恒温箱中培养 3 d 后进行记数; 放线菌采用改良高氏 I 号培养基, 在 28 °C 恒温箱中培养 7 d 后进行记数^[21]。

1.4 数据处理

采用 SPSS 软件(version 22.0, SPSS Institute Ltd, USA)进行统计分析, 不同处理间的差异采用 Duncan's 检验($P < 0.05$)评价。所有图形均由 Origin Pro. 9.0 (OriginLab Institute Inc. USA)绘制。

2 结果与分析

2.1 不同微生物菌剂对旱砂田西瓜出苗率和成活率的影响

比较不同处理下西瓜的出苗率(图1-a)发现, 施用微生物菌剂能够明显提高西瓜出苗率, 且不同微生物菌剂处理间存在较大差异。其中, 处理 M₁、M₄、M₅、M₆ 的西瓜出苗率达到了 97% 以上, 较 CK 分别提高了 5、7、7、6 个百分点, 均与 CK 差异显著; 而处理 M₂ 和 M₃ 的出苗率仅较 CK 提高了 3 个百分点, 差异不显著。

对比不同处理下西瓜的成活率(图1-b)发现, 除激活土壤专用菌剂(M₂)对西瓜成活率影响不大外, 其他生物菌剂的施用明显提高了西瓜成活率。其中, 处理 M₁、M₃ 和 M₄ 的成活率分别较 CK 提高了 9%、4%、8%, 差异不显著; 处理 M₅ 和 M₆ 的西瓜成活率均达到 92%, 较 CK 显著提高了 14%。

2.2 不同微生物菌剂对压砂田西瓜干物质积累及转运的影响

干物质积累量是作物营养生长状况的直接反映。在团棵期, 西瓜苗期生长结束即将进入营养

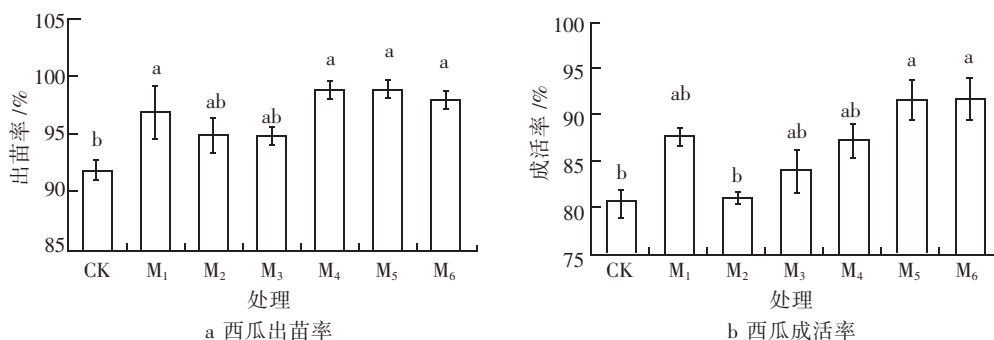


图 1 不同微生物菌剂对压砂田西瓜出苗率和成活率的影响

生长旺期, 这时期处理 M₅、M₆ 的西瓜植株干物质积累量较 CK 分别显著提高了 28.30%、23.51%。开花坐果期是西瓜营养生长最旺期, 除处理 M₂ 外, 其余菌剂处理的植株干物质积累量均显著高于 CK, M₁、M₃、M₄、M₅、M₆ 分别增加了 25.12%、23.57%、24.69%、24.26%、26.17%。至成熟期, 随着西瓜生长中心由营养生长向生殖生长的转移, 干物质积累量均不同程度降低, 除处理 M₂ 外, 其余菌剂处理的干物质积累量仍在 CK 水平之上, 但各菌肥处理与 CK 间差异不显著(表1)。此外, 不同菌剂处理均不同程度提高了西瓜干物质转运量及转运率, 其中以处理 M₄、M₅、M₆ 的西瓜干物质转运量较 CK 显著提高了 3.76、3.98、3.68 倍。转运率较 CK 显著提高了和 2.82、3.01、2.71 倍。

表 1 不同菌剂处理的西瓜干物质积累量及转运率

处理	干物质积累量/(g/株)			干物质 转运量 /(g/株)	干物质 转运率 /%
	团棵期	开花坐果期	成熟期		
CK	6.89 c	77.19 b	72.75 ab	4.44 d	5.75 d
M ₁	8.18 abc	96.58 a	79.20 a	17.38 b	18.00 b
M ₂	6.97 c	80.90 b	69.63 b	11.27 c	13.93 c
M ₃	8.03 abc	95.38 a	76.14 ab	19.24 ab	20.17 ab
M ₄	8.13 bc	96.25 a	75.11 ab	21.14 a	21.96 a
M ₅	8.84 a	95.92 a	73.80 ab	22.12 a	23.06 a
M ₆	8.51 ab	97.39 a	76.60 ab	20.79 ab	21.35 a

2.3 不同微生物菌剂对旱砂田西瓜产量和果实含糖量的影响

从表 2 可知, 与未施用微生物菌剂处理相比, 施用不同菌剂后西瓜单瓜重和产量均有所增加。其中, 单瓜重以处理 M₅ 最大, 较 CK 提高 16.85%, 差异显著; 其次是 M₃, 较 CK 提高 11.72%, 差异显著。受单瓜重、成活率和坐果率的综合影响, 处理 M₃、M₄、M₅、M₆ 较 CK 分别增产 16.89%、23.71%、35.98%、25.30%, 其中以处理 M₅ 产量最高, 为 32 138.02 kg/hm²。此外, 不同

表 2 不同菌剂处理的西瓜产量和果实含糖量

处理	单瓜重 /kg	产量 /(kg/hm ²)	中心糖 /%	边缘糖 /%
CK	2.73 b	23 635.03 d	10.9	8.0
M ₁	2.76 b	25 479.95 bed	11.7	9.1
M ₂	2.97 ab	24 480.21 cd	11.2	8.7
M ₃	3.05 a	27 626.43 bc	11.0	9.1
M ₄	2.92 ab	29 239.58 ab	11.1	8.2
M ₅	3.19 a	32 138.02 a	11.1	8.8
M ₆	2.94 ab	29 615.23 ab	11.2	9.0

菌剂处理虽然不同程度地提高了西瓜中心糖、边缘糖含量, 但幅度不大。

2.4 不同微生物菌剂对旱砂田西瓜根区微生物区系的影响

观察不同处理下西瓜果实膨大期根际微生物区系变化, 结果(表 3)表明, 发现菌剂处理不同程度地增加了西瓜根区的微生物数量。其中, 处理 M₁、M₅、M₆ 增加土壤细菌数量的效果显著, 较 CK 分别显著增加了 62.25%、61.07%、61.41%; 处理 M₃、M₄、M₅、M₆ 对土壤真菌数量效果显著, 较 CK 分别增加了 84.11%、106.11%、84.84%、83.13%。除 M₂ 处理外, 其他微生物菌剂处理对西瓜根际放线菌数量的增加效果显著, 且以 M₅、M₆ 处理效果较好, 土壤放线菌数量较 CK 分别显著提高了 85.31%、88.32%。

表 3 不同菌剂处理的土壤微生物含量 cfu/g 干土

处理	细菌	真菌	放线菌
CK	5.96×10 ⁶ d	4.09×10 ³ b	5.65×10 ⁵ d
M ₁	9.67×10 ⁶ a	4.22×10 ³ b	9.90×10 ⁵ ab
M ₂	6.73×10 ⁶ cd	3.70×10 ³ b	7.19×10 ⁵ cd
M ₃	8.73×10 ⁶ ab	7.53×10 ³ a	8.41×10 ⁵ bc
M ₄	7.97×10 ⁶ bc	8.43×10 ³ a	9.51×10 ⁵ ab
M ₅	9.60×10 ⁶ a	7.56×10 ³ a	10.47×10 ⁵ a
M ₆	9.62×10 ⁶ a	7.49×10 ³ a	10.64×10 ⁵ a

3 讨论与结论

试验结果表明, 增施微生物菌剂可以提高西瓜的出苗率和成活率, 并且以地衣芽孢杆菌和金宝贝微生物菌剂的效果更为显著。这可能是由于微生物菌剂对土传病害的良好防治效果降低了植株病害的发生率^[20, 22-23]。周通等^[24]研究报道, 地衣芽孢杆菌被认为是芽孢杆菌属中最具有生防应用价值的菌种之一, 它通过与病原菌的空间和营养竞争优势, 分泌几丁质、抗菌蛋白、脂肽类抗生素等抗菌物质, 诱发植物自身的抗病潜能, 以及促生作用直接或间接减少植物病害的发生。干物质的积累和运转是维持植株各器官正常生长发育、保障作物高产的重要影响因素^[25-26]。施用微生物菌剂均能促进西瓜全生育期植株干物质的转运量和转运率; 同时, 其单瓜重和产量均高于常规施肥处理, 其中以地衣芽孢杆菌增产效果最优。这与王睿豪^[27]在小粒黑豆中的研究结果相似。大量研究发现, 增施微生物菌剂有助于增加园艺作物果实中的可溶性固形物或可溶性糖含量^[16-19], 这与本试验结果相一致。其原因可能是由于微生

物菌剂增加了植物根际以多酚类、羧酸类化合物为碳源的微生物数量, 从而促进果实可溶性固形物的增加^[19]。另外, 施用微生物菌剂被认为是改善作物根际微生物群落结构、促进作物健康生长的有效方法^[4, 13, 15, 19]。本试验结果也表明, 增施胶质芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌和金宝贝微生物菌剂较对照均能显著增加西瓜根际细菌、真菌和放线菌的数量。

综上所述, 施用枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌或金宝贝微生物菌剂可显著促进西瓜生长、提高西瓜产量和品质, 且有利于改善旱砂田土壤微生物区系, 其中以地衣芽孢杆菌的效果最佳, 与常规施肥相比, 常规施肥添加地衣芽孢杆菌后出苗率显著提高 7 百分点; 成活率显著提高 14%; 产量显著提高 35.98%; 团棵期和开花坐果期的干物质积累量分别显著增加 28.30% 和 29.01%, 干物质转运率分别显著增加 3.98 倍和 3.01 倍, 根区细菌、真菌和放线菌数量分别显著增加 61.07%、84.89%、85.31%。

参考文献:

- [1] 吴宏亮. 宁夏中部干旱区砂石覆盖对土壤水热特性及西瓜生长发育的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2013.
- [2] 李停锋, 李雯, 郭君钰, 等. 生物有机肥对连作压砂田土壤肥力及西瓜品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(5): 109-116.
- [3] 李停锋, 李雯, 郭君钰, 等. 土壤调理剂配施菌剂对连作压砂田土壤养分及西瓜生长、产量的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(8): 1923-1930.
- [4] 王志强, 王兴祥, 刘声锋, 等. 砂田西瓜连作障碍研究进展[J]. 中国瓜菜, 2019, 32(7): 1-6.
- [5] 张冬明, 郑道君, 曾建华, 等. 西瓜连作对土壤主要微生物数量、酶活性及果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2017(4): 155-158.
- [6] 贺婧, 王建宇, 王菲. 西瓜连作及倒茬对压砂地土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 294-296.
- [7] 王克海. 西瓜连作障碍及克服措施分析[J]. 中国果菜, 2019, 39(3): 64-66.
- [8] 王春燕, 李晓炜, 张雯莉, 等. 压砂西瓜连作土壤生物学特性和理化性质变化[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2021, 57(5): 659-674.
- [9] 耿源濛. 压砂地西瓜连作障碍的微生物修复[D]. 银川: 宁夏大学, 2016.
- [10] 魏晓明, 赵银平, 杨瑞平. 设施西瓜连作障碍及防治措施研究进展[J]. 中国瓜菜, 2016, 29(9): 1-5.
- [11] 郭秀珠, 黄品湖, 冯惠英, 等. 微生物肥在西瓜上的试验效应[J]. 浙江农业科学, 2005(2): 97-98.
- [12] 解静, 杨凤丽, 陈丽萍, 等. 施用不同微生物菌肥对设施连作西瓜农艺性状的影响[J]. 浙江农业科学, 2014(11): 1709-1711.
- [13] 宋晓, 陈莉, 李建芬, 等. 增施微生物菌剂对设施土壤理化性质及微生物的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(21): 169-171.
- [14] 何嘉, 马婷慧, 白小军, 等. 微生物菌剂对枸杞生长发育、产量品质及土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(14): 149-154.
- [15] 韦建玉, 王政, 黄崇峻, 等. 增施微生物菌肥对植烟土壤理化性质及微生物量的影响[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(11): 57-61.
- [16] 李晶晶, 刘聪, 王鑫鑫, 等. 微生物菌剂对青椒生长、品质和土壤养分状况的影响[J]. 北方园艺, 2021(13): 1-10.
- [17] 王丽丽, 朱诗君, 狄蕊, 等. 微生物菌肥菌剂对番茄生长发育和产量品质的影响[J]. 土壤与作物, 2022, 11(1): 88-95.
- [18] 郭晓冬, 谭雪莲. 放线菌制剂对大棚黄瓜土壤微生物区系及酶活性的影响[J]. 甘肃农业科技, 2020(1): 1-8.
- [19] 于会丽, 徐国益, 路绪强, 等. 微生物菌剂对连作西瓜土壤微环境及果实品质的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(7): 1025-1035.
- [20] 王夏雯, 吴绍军, 孟佳丽, 等. 2 种类型微生物肥料对连作西瓜枯萎病的防治效果研究[J]. 江西农业科学, 2019, 31(11): 23-28.
- [21] 张迎春, 颀建明, 李静, 等. 生物有机肥部分替代化肥对莴笋及土壤理化性质和微生物的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(4): 196-205.
- [22] 谢东锋, 王国强, 谢荣, 等. 不同微生物菌肥处理连作土壤对黄瓜生长及防御性酶的影响[J]. 福建农业学报, 2018, 33(7): 696-701.
- [23] 马二磊, 黄芸萍, 臧全宇, 等. 4 种微生物菌剂对多年连作甜瓜土壤理化性质的影响[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(6): 1129-1132.
- [24] 周通, 徐永平, 王丽丽, 等. 地衣芽孢杆菌在植物病害生物防治中的应用[J]. 生物资源, 2017, 39(2): 85-92.
- [25] 高玉红, 王文英, 刘喜存, 等. 肥水耦合对西瓜苗期植株干物积累、膨瓜速度及产量的影响[J]. 中国瓜菜, 2016, 29(4): 27-30.
- [26] 仝锦, 孙敏, 任爱霞, 等. 高产小麦品种植株干物质积累运转、土壤耗水与产量的关系[J]. 中国农业科学, 2020, 53(17): 3467-3478.
- [27] 王睿豪. 微生物菌肥对小粒黑豆生长发育及生理特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.