

不同生物菌剂防控马铃薯重茬病害的效果

冯坤蓉, 韩秀楠, 张彬彬, 李海娇

(临夏州农业科学院 甘肃临夏 731100)

摘要:为研究不同微生物菌剂对马铃薯重茬病害的防控效果,以枯草芽孢杆菌(T1)、哈茨木霉(T2)、放线菌(T3)、复合菌剂(T4,含解淀粉芽孢杆菌+木霉菌)及常规化肥(CK)为研究对象,通过分析各处理对马铃薯生长、生理生化、产量、品质、发病率及土壤微生物群落的影响,阐明不同微生物菌剂对马铃薯重茬病害的防控效果。结果表明,生物菌剂能够显著促进马铃薯生长,提高产量和品质,同时改善土壤微生态,抑制土传病害的发生,其中T4处理的株高、茎粗、叶面积、根系长度、叶绿素相对含量、根系活力较CK分别极显著提高30.39%、30.00%、35.97%、46.43%、23.70%、58.86%。同时,T4处理的黑痣病和疮痂病情指数较CK分别极显著下降65.76%和51.17%;且马铃薯产量最高,为2 950.25 kg·667 m²,较CK极显著提高40.47%。综上,含解淀粉芽孢杆菌+木霉菌的复合菌剂对防控马铃薯重茬病害具有良好的效果,可在大田生产中推广应用。

关键词:马铃薯重茬病害;生物菌剂;产量;品质;微生物群落

中图分类号:S532

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)03-188-05

Effects of different microbial inoculants on the prevention and control of potato continuous cropping diseases

FENG Kunrong, HAN Xiunan, ZHANG Binbin, LI Haijiao

(Linxia Academy of Agricultural Sciences, Linxia 731100, Gansu, China)

Abstract: To investigate the control effects of different microbial inoculants on potato continuous cropping diseases, *Bacillus subtilis*(T1), *Trichoderma harzianum*(T2), actinomycetes(T3), a compound inoculant(T4, containing *Bacillus amyloliquefaciens*+*Trichoderma*), and conventional chemical fertilizers(CK) were used as the research objects. By analyzing the effects of each treatment on potato growth, physiology and biochemistry, yield, quality, disease incidence, and soil microbial community, the control effects of different microbial inoculants on potato continuous cropping diseases were clarified. The results showed that microbial inoculants could significantly promote potato growth, improve yield and quality, while optimizing soil microecology and inhibiting the occurrence of soil-borne diseases. Specifically, compared with CK, the plant height, stem diameter, leaf area, root length, relative chlorophyll content, and root activity of the T4 treatment were extremely significantly increased by 30.39%, 30.00%, 35.97%, 46.43%, 23.70%, and 58.86%, respectively. Meanwhile, the disease indexes of potato black scurf and common scab in the T4 treatment were extremely significantly reduced by 65.76% and 51.17% compared with CK. In addition, the T4 treatment achieved the highest potato yield of 2 950.25 kg per 667 m², which was extremely significantly 40.47% higher than that of CK. In conclusion, the compound inoculant containing *Bacillus amyloliquefaciens* and *Trichoderma* exhibits a favorable control effect on potato continuous cropping diseases and is worthy of popularization and application in field production.

Key words: Potato replanting disease; Biological microbial agent; Yield; Quality; Microbial community

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是我国第四大粮食作物,具有耐寒耐旱、适应性强等特点,同时兼具粮食、蔬菜、饲料和加工等多种用途,是寒旱地区重要的农业支柱产业之一,也是保证人们日常生活的最基本的粮食和蔬菜作物^[1-2]。我国马铃薯种植

面积和产量位居世界前列,经济效益和社会效益显著。与此同时,由于种植条件的限制,种植户长期重茬种植马铃薯,造成重茬病害高发^[3]。据调查,马铃薯黑痣病(*Rhizoctonia solani*)和疮痂病(*Streptomyces* spp.)为主要的重茬病害^[4],均会对马铃薯品质

收稿日期:2025-06-24;修回日期:2025-09-10

基金项目:甘肃省科技重点研发计划(24YFNN001);甘肃省陇原青年英才资金资助

作者简介:冯坤蓉,女,副研究员,主要从事蔬菜高产高效栽培技术研究。E-mail: fkr.520@163.com

通信作者:张彬彬,女,助理研究员,主要从事农作物高产高效栽培技术研究。E-mail: 447851363@qq.com

和商品薯率产生较大影响^[5],最终影响马铃薯产量^[6]。近年来,随着马铃薯种植规模化程度的不断提高,单一品种大面积重茬连作导致病害发生日趋严重^[7]。根据国家现代农业马铃薯产业技术体系的综合分析,我国马铃薯土传病害年均发生面积达43.7万 $\text{hm}^{2[8-9]}$,北方产区黑痣病和疮痂病的病株率为5%~30%^[10-11],在极端情况下病株率在90%以上^[12-13]。谢奎忠等^[14]研究表明,马铃薯重茬种植第1年减产6.71%,然后随着重茬年限的增加,产量逐年下降,到第7年时,减产幅度达到44.41%,凸显重茬病害对马铃薯生产的负面叠加效应。

近20年来,微生物菌剂的研发及其在农业生产中的应用取得了长足的发展,在马铃薯生产中的应用也较为广泛。多项研究表明,微生物菌剂可以有效促进马铃薯农艺性状指标和产量的提高^[15-17]。但以往试验研究多集中在生物菌剂的研制以及单一菌剂对马铃薯生产的影响等方面,而微生物菌剂在马铃薯重茬病害中的应用研究较少,尤其是复配生物菌剂对马铃薯重茬病害的研究鲜见报道。鉴于此,笔者以不同微生物菌剂对马铃薯重茬病害的防控效果为重点,通过分析各微生物菌剂对马铃薯生长、生理生化、产量、品质及发病率的影响,阐明不同微生物菌剂对马铃薯重茬病害的防控效果,以期为马铃薯重茬病害防控提供科学依据和技术支持,实现马铃薯的高产高效栽培。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2023年10月至2024年10月在甘肃省临夏州积石山县寨子沟乡进行。该地区属温带大陆性气候,平均气温 $14.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,生长期年均198 d,无霜期年均160 d,海拔2200 m左右,属于高寒阴湿地区,年均降水量480 mm。选择的种植地为连续种植马铃薯3年的地块,存在典型的马铃薯重茬病害等问题,黑痣病和疮痂病发生较为严重。选取的试验地土壤类型为黑垆土,有机质含量(w ,后同)1.84%,全氮含量 $1.38\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮含量 $114.52\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷含量 $18.37\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $145.92\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH为7.9。

1.2 材料

供试马铃薯品种为临薯18号,由临夏州农业科学院自主选育登记的马铃薯新品种,适宜在临夏州范围内种植,具有较高的产量和抗病性,种薯级别为一级种。

供试菌剂:枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)菌剂($\geq 1.8\times 10^{10}\cdot\text{g}^{-1}$ 枯草芽孢杆菌,粉剂)由石家庄市丰硕肥业有限公司生产;哈茨木霉(*Trichoderma harzianum*)菌剂($2\text{ 亿}\cdot\text{g}^{-1}$ 哈茨木霉菌,粉剂)由山东绿陇生物科技有限公司生产;放线菌(*Streptomyces* spp.)菌剂($1000\text{ 亿}\cdot\text{g}^{-1}$,粉剂)由杨凌康熙农业开发有限公司生产;复合菌剂[(解淀粉芽孢杆菌+木霉菌) $\geq 3\times 10^8\cdot\text{mL}^{-1}$,可湿性粉剂]由甘肃农业大学园艺学院提供;常规化肥(N-P₂O₅-K₂O=15-15-15)由史丹利化肥股份有限公司生产。

1.3 方法

试验共设置5个处理:枯草芽孢杆菌(T1)、哈茨木霉菌(T2)、放线菌(T3)、复合菌剂(T4,含解淀粉芽孢杆菌+哈茨木霉菌)及常规化肥对照(CK),每个处理设3次重复,随机区组设计。小区面积为 20 m^2 ($5\text{ m}\times 4\text{ m}$),单垄双行,株距30 cm,行距60 cm,小区间隔0.5 m,防止交叉感染引起的误差。

1.4 田间管理

马铃薯播种前将生物菌剂($2\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$)与腐熟羊粪($2000\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$)混合,均匀撒施并翻耕。在马铃薯块茎形成期采用沟施补充生物菌剂1次($1\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$)。马铃薯播种方式为穴播,于2024年4月14日播种,播前施用3%辛硫磷颗粒剂 $4800\text{ g}\cdot 667\text{ m}^2$ 。该试验地于2023年10月18日施基肥腐熟羊粪 $2000\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$;切块种子用马铃薯拌种剂拌种,施种肥64%磷酸二铵 $20\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$,生物有机肥 $40\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$,46%硫酸钾镁肥 $16\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$,46%尿素 $5\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$;5月25日第1次锄草,6月11日追施菌肥并进行第2次锄草和培土;6月15日喷施20%啶虫咪可湿性粉剂($0.75\text{ L}\cdot 667\text{ m}^2$)和40%辛硫磷乳油($0.45\text{ L}\cdot 667\text{ m}^2$)防治蚜虫;6月28日第3次锄草;9月20日统一收获。

1.5 指标测定

于开花期(7月10日)每小区随机选择3株马铃薯,采用便携式叶绿素仪[SPAD-502,柯尼卡美能达(中国)投资有限公司]测定第3片展开叶的叶绿素相对含量^[18],采用TTC法测定根系活力^[19]。

于块茎膨大期(7月20日)调查黑痣病发生情况,马铃薯收获期(9月20日)调查疮痂病发生情况,分别计算黑痣病和疮痂病发病率和病情指数。

黑痣病共分5级,0级:无病斑;1级:病斑面积 $\leq 10\%$;2级: $10\% <$ 病斑面积 $\leq 30\%$;3级: $30\% <$ 病斑面积 $\leq 50\%$;4级:病斑面积 $> 50\%$ 。

疮痂病共分5级,0级:无病斑;1级:病斑面积≤5%;2级:5%<病斑面积≤15%;3级:15%<病斑面积≤30%;4级:病斑面积>30%。

发病率/%=发病植株数/调查总株数×100;(1)

病情指数=Σ(病级×该级株数)/(最高病级×总株数)×100。(2)

于块茎膨大期(7月25日)每小区随机选择5株,用直尺测量株高,用游标卡尺测量茎粗,用叶面积仪(YMJ-A,浙江托普云农科技股份有限公司)测定第3片叶叶面积,求平均值。收获期每小区随机选择5株,测定根系长度并计算平均值;每小区随机选取10株测定单株结薯数(个)、单株总块茎质量(g),求10株平均值,根据小区面积换算每667m²产量。使用索莱宝公司提供的淀粉含量试剂盒(BC0705)测定淀粉含量。

马铃薯收获后(9月25日)采用五点采样法采集0~20cm耕层土壤样本,将所有采样点的土样混合在一起,充分搅拌均匀,制成混合土样。采用PDA培养基统计镰刀菌菌落数^[20],采用Komada选

择性培养基统计丝核菌菌落数^[21]。选择菌落数在30~300之间的培养皿中进行计数。

1.6 数据分析

采用Excel 2010软件整理试验数据,采用SPSS 20.0软件利用极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同生物菌剂对马铃薯生长、生理指标及产量和品质的影响

不同生物菌剂处理对马铃薯的生长和生理指标产生了不同程度的影响,由表1可知,与CK相比,T4和T2处理的所有指标均表现出极显著的促进作用;T3处理无显著差异;而T1处理显著或极显著提高了株高、茎粗、叶面积、叶绿素相对含量和根系活力。其中复合菌剂对重茬地块马铃薯生长的促进作用效果最好,株高、茎粗、叶面积、根系长度、叶绿素相对含量、根系活力分别较CK极显著提高30.39%、30.00%、35.97%、46.43%、23.70%、58.86%。

表1 不同生物菌剂对马铃薯生长和生理指标的影响

Table 1 Effects of different bio-fertilizers on the growth and physiological indexes of potato

处理 Treatment	株高 Plant height/ cm	茎粗 Stem thickness/ mm	叶面积 Leaf area/ cm ²	根系长度 Root length/ cm	叶绿素相对含量 Relative chlorophyll content/ SPAD	根系活力 Root activity/ (μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
CK	45.21±3.12 Cc	8.50±0.62 Bc	320.11±25.02 Cc	18.33±2.40 Bb	38.52±1.81 Bc	85.03±7.04 Bc
T1	52.60±2.84 Bb	9.81±0.72 Bb	385.21±30.03 Bb	22.13±2.14 ABab	42.34±1.55 Bb	105.05±9.65 Ab
T2	55.32±3.33 Aa	10.24±0.97 Aa	410.21±35.08 Aa	24.55±2.54 Aa	45.14±1.62 Aab	120.08±10.16 Aab
T3	48.74±2.53 Cc	9.14±0.82 Bc	360.22±28.12 Cbc	20.33±2.35 ABb	40.27±1.44 Bbc	95.01±8.21 Bc
T4	58.95±3.51 Aa	11.05±1.07 Aa	435.25±40.10 Aa	26.84±2.77 Aa	47.65±1.91 Aa	135.08±12.17 Aa

注:同列不同大写字母表示在0.01水平差异极显著,不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

Note: Different capital letters in the same column indicate extremely significant difference at 0.01 level, different small letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

从表2可以看出,不同生物菌剂处理对马铃薯产量和品质均有不同程度的影响。复合菌剂(T4)处理的马铃薯产量为2950.25kg·667m²,淀粉含量为17.37%,较CK分别显著提高40.47%和3.10百

分点,表明复合菌剂对马铃薯的产量和品质提升效果最佳。木霉菌(T2)处理在产量和品质指标上与CK相比也表现出显著的促进作用,但是增效低于T4处理,而枯草芽孢杆菌(T1)和放线菌(T3)在产

表2 不同生物菌剂对马铃薯产量和品质的影响

Table 2 Effects of different bio-fertilizers on yield and quality of potato

处理 Treatment	单株薯块数 Number of tubers per plant	单薯质量 Mass per tuber/g	产量 Yield/(kg·667m ²)	w(淀粉) Starch content/%
CK	4.21±0.52 c	110.09±12.12 c	2100.23±150.54 b	14.27±0.65 b
T1	5.14±0.65 b	128.23±15.14 b	2450.18±180.21 ab	15.87±0.54 ab
T2	5.67±0.72 ab	140.45±16.32 a	2680.14±200.25 a	16.58±0.74 a
T3	4.81±0.62 bc	120.25±14.14 bc	2300.85±170.65 ab	15.27±0.65 ab
T4	6.31±0.87 a	155.23±18.25 a	2950.25±220.11 a	17.37±0.84 a

量和品质指标上与 CK 相比差异均不显著。

2.2 不同生物菌剂对马铃薯黑痣病和疮痂病防控效果的影响

由表 3 可知,不同生物菌剂处理对马铃薯黑痣病和疮痂病均有不同的防控效果。其中复合菌剂(T4)对黑痣病和疮痂病病害的防控效果最佳,黑痣病发病率与 CK 相比极显著下降 18.00 百分点,病情指数极显著下降 64.15%;疮痂病发病率与 CK 相

比极显著下降 13.07 百分点,病情指数极显著下降 65.76%。木霉菌(T2)处理的黑痣病病情指数较 CK 极显著下降 48.85%,疮痂病病情指数较 CK 极显著下降 51.17%。T1 处理对黑痣病和疮痂病病害的防控效果弱于 T4 和 T2 处理,但与 CK 相比,发病率和病情指数均极显著下降。T3 处理的防控效果弱于 T1 处理,但与 CK 相比,黑痣病发病率与病情指数均极显著下降,疮痂病病情指数显著下降。

表 3 不同生物菌剂对马铃薯黑痣病和疮痂病防控效果的影响

Table 3 Effects on different bio-fertilizers on the prevention and control of black scurf and common scab in potato

处理 Treatment	黑痣病发病率 Incidence rate of black scurf/%	黑痣病病情指数 Disease index of black scurf	疮痂病发病率 Incidence rate of common scab/%	疮痂病病情指数 Disease index of common scab
CK	28.54±3.21 Aa	35.62±4.12 Aa	19.88±2.17 Aa	24.33±3.01 Aa
T1	18.74±2.12 Bbc	22.47±2.83 Bb	12.54±1.53 Bbc	15.68±2.12 Bb
T2	14.31±1.85 Bc	18.22±2.30 Bbc	9.27±1.25 Bc	11.88±1.53 Bc
T3	23.66±2.52 Bbc	29.10±3.23 Bb	16.41±1.82 Aa	20.52±2.40 Ab
T4	10.54±1.20 Bc	12.77±1.62 Bc	6.81±0.92 Bc	8.33±1.10 Bc

2.3 不同生物菌剂对病原菌数量的影响

由表 4 可知,不同生物菌剂处理对土壤中镰刀菌和丝核菌数量产生不同的程度的影响,其中 T4 处理的土壤镰刀菌和丝核菌数量最少,较 CK 分别极显著降低 70.64%、69.69%,而有益菌/病原菌极显著提高 500.00%;其次是 T2 处理,镰刀菌和丝核菌数量极显著降低,有益菌/病原菌极显著提高;T1 处理的土壤镰刀菌和丝核菌数量显著低于 CK,有益菌/病原菌显著高于 CK;而 T3 处理的土壤镰刀菌和丝核菌数量低于 CK,但差异不显著。以上结果表明,单一生物菌剂(T1 和 T2)可以起到改善土壤微生态环境的作用,但是木霉菌与解淀粉芽孢杆菌形成的复合菌剂(T4)能够有效联合,协同增强抑菌效果,在有效改善微生态环境方面效果最佳。

表 4 不同生物菌剂对马铃薯土传病原菌数量的影响
Table 4 Effects of different bio-fertilizers on the number of soil-borne pathogens in potato

处理 Treatment	镰刀菌数量 <i>Fusarium</i> number/ (10 ³ CFU·g ⁻¹)	丝核菌数量 <i>Rhizoctonia</i> number/ (10 ³ CFU·g ⁻¹)	有益菌/病原菌 Beneficial bacteria/ pathogenic bacteria
CK	8.21±0.72 Aa	6.50±0.62 Aa	0.35±0.05 Bc
T1	5.17±0.50 Ab	4.30±0.44 Ab	0.82±0.08 Bb
T2	3.84±0.40 Bc	2.68±0.35 Bc	1.45±0.12 Aa
T3	6.74±0.63 Aab	5.80±0.52 Aa	0.50±0.06 Bc
T4	2.41±0.33 Bc	1.97±0.22 Bc	2.10±0.18 Aa

3 讨论与结论

本研究结果表明,多种生物菌剂均显示出对马铃薯生长的促进作用,尤其在防控重茬病害方面效果显著。张建鹏^[22]研究表明,将化肥减量 30%并与微生物菌剂及土壤调理剂配合施用,可改善土壤质量,促进植株生长发育,提升产量和品质,其机制主要源于菌剂增强了作物抗性,促进植株健康生长,与本研究结果一致。

在病害防控方面,多项研究证实了生物菌剂对马铃薯常见土传病害的抑制效果。李雯等^[23]研究发现,康宁木霉 78 可有效预防马铃薯黑痣病;高林梅等^[24]研究表明,抗重茬微生态菌剂能显著降低土传病害发生率并提高产量;潘潇涵等^[25]和 Hussain 等^[26]研究指出,哈茨木霉可通过产生蛋白酶降解病原体细胞壁,抑制其生长与侵染能力。本研究也发现,复合菌剂处理使黑痣病发病率极显著降低 18.00 百分点,病情指数极显著下降 64.15%,说明生物菌剂可通过改善土壤微环境抑制病原传播。

针对疮痂病的防控,糜芳等^[27]通过盆栽试验证实解淀粉芽孢杆菌具有防治效果;袁东华等^[28]进一步比较不同施用方式的影响,发现播前沟施、种薯喷淋及块茎形成期用解淀粉芽孢杆菌水剂(10 亿孢子·mL⁻¹)灌根可显著降低疮痂病发生率;张雨雨等^[29]和 Zhou 等^[30]分别报道萎缩芽孢杆菌 CY1 和枯草芽孢杆菌 YPS-32 能有效抑制疮痂链霉

菌。郑玉宝等^[31]研究表明,生物菌剂配合适量施肥(900~1200 kg·hm⁻²)可增强植株抗病能力。刘霞等^[32]、马文军等^[33]及蔡雨卿^[34]的研究也证明生物菌剂对疮痂病的防控作用,与本研究的结论一致。

综合生长、产量、品质、发病情况及土壤微生态指标可知,不同生物菌剂处理对重茬病害的防控效果依次为复合菌剂(T4)>哈茨木霉菌剂(T2)>枯草芽孢杆菌菌剂(T1)>放线菌菌剂(T3)>常规化肥(CK)。复合菌剂在所有评估指标中均表现最优,表明生物菌剂(尤其是复合菌剂)是防控马铃薯重茬病害的有效手段,兼具生态与经济效益,具有广阔的推广应用前景。

参考文献

- [1] SANTOSH B, MOUNIKA K H, SIMON S. *In vivo* evaluation of bioresources against late blight of potato caused by *Phytophthora infestans*, plant growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*, 2021, 12(10): 1-5.
- [2] WANG X K, GUO T, WANG Y, et al. Exploring the optimization of water and fertilizer management practices for potato production in the sandy loam soils of Northwest China based on PCA [J]. *Agricultural Water Management*, 2020, 237: 106180.
- [3] 胡双, 孙文静, 高林怡, 等. 药用植物连作障碍研究进展 [J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(16): 38-48.
- [4] 徐进, 朱杰华, 杨艳丽, 等. 中国马铃薯病虫害发生情况与农药使用现状 [J]. *中国农业科学*, 2019, 52(16): 2800-2808.
- [5] 田甲佳, 刘良燕. 马铃薯主要真菌病害及防治方法研究进展 [J]. *中国马铃薯*, 2021, 35(5): 444-455.
- [6] 夏善勇, 牛志敏, 李庆全, 等. 马铃薯疮痂病菌及防控手段研究进展 [J]. *中国瓜菜*, 2022, 35(8): 12-17.
- [7] 史梦雅, 徐建飞. 我国马铃薯品种创新现状及发展建议 [J]. *中国蔬菜*, 2023(8): 1-5.
- [8] 李莉, 曹静, 杨靖芸, 等. 马铃薯黑痣病发生规律与综合防治措施 [J]. *西北园艺*, 2013(9): 51-52.
- [9] 何虎翼, 谭冠宁, 何新民, 等. 马铃薯品种(系)资源的疮痂病抗性鉴定 [J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(4): 786-793.
- [10] 徐福祥. 高寒阴湿区马铃薯黑痣病的发生与防控 [J]. *中国蔬菜*, 2013(1): 32-33.
- [11] 夏善勇, 盛万民. 我国马铃薯疮痂病及其防治研究进展 [J]. *植物保护*, 2022, 48(1): 7-16.
- [12] 殷修鲁. 我国马铃薯疮痂病原菌多样性及主要致病类型分析 [D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2018.
- [13] 聂峰杰, 陈虞超, 巩福, 等. 马铃薯疮痂病致病链霉菌分类及其致病机理研究进展 [J]. *分子植物育种*, 2018, 16(4): 1313-1319.
- [14] 谢奎忠, 陆立银, 罗爱花, 等. 长期连作对马铃薯土传病害和产量的影响 [J]. *中国种业*, 2018(2): 65-67.
- [15] 王真, 王玉凤, 林团荣, 等. 高垄滴灌马铃薯减肥增效生产技术试验 [J]. *中国马铃薯*, 2021, 35(4): 341-348.
- [16] 马亚君. 微生物菌剂对不同施肥处理马铃薯产量和品质的影响 [D]. 太原: 山西师范大学, 2020.
- [17] 许飞, 逯春杏, 王晓娇, 等. 微藻细胞营养液对马铃薯生长及产量的影响 [C]//金黎平, 吕文河. 马铃薯产业与种业创新. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2022: 337-343.
- [18] 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.
- [19] 陈刚, 李胜. 植物生理学实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.
- [20] 方中达. 植病研究方法 [M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [21] KOMADA H. Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil [J]. *Review of Plant Protection Research*, 1975, 8, 114-124.
- [22] 张建鹏. 化肥减量配施微生物菌肥及土壤调理剂对重茬马铃薯生长发育和土壤质量的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(7): 205-212.
- [23] 李雯, 王天君, 台莲梅, 等. 拟康宁木霉 78 对马铃薯黑痣病防治及土壤酶活性的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2024, 52(3): 159-163.
- [24] 高林梅, 陈磊, 王精华, 等. 抗重茬微生态菌剂在马铃薯栽培中的应用效果分析 [J]. *中国农技推广*, 2018, 34(9): 63-65.
- [25] 潘潇涵, 常瑞雪, 慕康国, 等. 哈茨木霉 VT9-3r 和枯草芽孢杆菌 VT4-1x 对 3 株马铃薯致病菌的抑制作用效果 [J]. *中国农业大学学报*, 2020, 25(4): 72-81.
- [26] HUSSAIN A, AWAN M S, KHAN S W, et al. Bioefficacy of botanical extracts and bioagents against sclerotial isolates of *Rhizoctonia solani* [J]. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 2014, 4(6): 370-380.
- [27] 糜芳, 吴紫燕, 王承芳, 等. 1 株解淀粉芽孢杆菌的分离、鉴定及在马铃薯疮痂病防治上的应用 [J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(18): 122-127.
- [28] 袁东华, 于稳欠, 刘依宁, 等. 不同施药方式对解淀粉芽孢杆菌防治马铃薯疮痂病的效果评价 [J]. *世界农药*, 2024, 46(6): 38-42.
- [29] 张雨雨, 高晨, 董雅芹, 等. 萎缩芽孢杆菌 CY1 对马铃薯疮痂病的防治效果和抑菌机理初探 [J]. *安徽工程大学学报*, 2024, 39(4): 9-15.
- [30] ZHOU Y J, LI Q, PENG Z, et al. Biocontrol effect of *Bacillus subtilis* YPS-32 on potato common scab and its complete genome sequence analysis [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2022, 70(17): 2c00274.
- [31] 郑玉宝, 尹东. 不同施用量复合肥料对马铃薯产量及疮痂病的影响 [J]. *安徽农学通报*, 2024, 30(13): 83-86.
- [32] 刘霞, 黄勋, 许改换, 等. 磷酸脲肥对马铃薯土传病害发生的影响 [J]. *中国农学通报*, 2023, 39(12): 116-122.
- [33] 马文军, 武均, 宋雪峰, 等. 不同施肥处理对马铃薯农田土壤理化性状及产量的影响 [J]. *中国农学通报*, 2021, 37(15): 87-91.
- [34] 蔡雨卿. 陕西榆林不同菌肥施用对主栽马铃薯品种青薯 9 号生长和产量的影响 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2024.