

贝莱斯芽胞杆菌 HN-Q-8 不同剂型及施用方法对马铃薯产量和品质的影响

高玉珠¹, 冯嘉懿¹, 张岱¹, 丁丽丽², 潘阳¹, 朱杰华¹, 杨志辉¹

(1. 河北农业大学植物保护学院·河北省农作物病虫害生物防治技术创新中心 河北保定 071000;

2. 河北省农林科学院生物技术与食品科学研究所 石家庄 050057)

摘要: 为了探究贝莱斯芽胞杆菌 HN-Q-8 不同剂型和施用方法对马铃薯产量和品质的影响, 采用 HN-Q-8 有机菌肥和可湿性粉剂两种剂型, 并设计多种施用方法, 包括播种前施用有机菌肥以及在现蕾期和盛花期喷施可湿性粉剂。结果表明, 播种前施用 15 000 kg·hm² 有机菌肥时, 现蕾期的马铃薯茎粗为 1.75 cm, SPAD 为 39.47, 产量最高, 为 30.97 t·hm², 与不施用有机菌肥的对照相比, 分别显著提高了 17.11%、5.37% 和 26.80%; HN-Q-8 可湿性粉剂可以显著改善马铃薯的块茎品质, 在现蕾期、盛花期各喷施 1 次 2.25 kg·hm² HN-Q-8 可湿性粉剂, 块茎干物质、淀粉和蛋白质含量较喷施清水的对照分别显著提高了 7.98%、9.44% 和 40.84%。该研究结果为马铃薯生产中使用 HN-Q-8 微生物菌肥和菌剂以提高产量和品质提供了切实可行的施用方法。

关键词: 马铃薯; 微生物肥料; 产量; 品质

中图分类号: S532

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)02-190-06

Effects of different formulations and application methods of *Bacillus velezensis* HN-Q-8 on yield and quality of potato

GAO Yuzhu¹, FENG Jiayi¹, ZHANG Dai¹, DING Lili², PAN Yang¹, ZHU Jiehua¹, YANG Zhihui¹

(1. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University/Technological Innovation Center for Biological Control of Crop Diseases and Insect Pests of Hebei Province, Baoding 071000, Hebei, China; 2. Institute of Biotechnology and Food Science, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050057, Hebei, China)

Abstract: To explore the effects of different formulations and application methods of *Bacillus velezensis* HN-Q-8 on potato yield and quality, two formulations—organic bacterial fertilizer and wettable powder were used, along with multiple application approaches. These included applying organic bacterial fertilizer before sowing and spraying the wettable powder at the bud stage and full bloom stage. The results showed that applying 15 000 kg·hm² of organic bacterial fertilizer before sowing resulted in the highest potato yield of 30.97 t·hm², with stem diameter and SPAD value at the bud stage reaching 1.75 cm and 39.47, respectively. Compared with the control group without organic bacterial fertilizer, these represented significant increases of 17.11%, 5.37%, and 26.80%, respectively. Additionally, the HN-Q-8 wettable powder significantly improved tuber quality. Spraying 2.25 kg·hm² of the powder once at both the bud stage and full bloom stage significantly increased tuber dry matter, starch, and protein content by 7.98%, 9.44%, and 40.84%, respectively, compared with the water-sprayed control. This study provides practical application methods for the use of microbial fertilizers and agents in potato production to enhance yield and quality.

Key words: Potato; Microbial fertilizer; Yield; Quality

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 作为全球第四大粮食作物, 以其生育期短、适应性强的特点, 在我

国农业生产中占据重要地位。近年来, 我国马铃薯种植面积持续扩大, 总产量高达 9023 万 t, 稳居世

收稿日期: 2025-04-24; 修回日期: 2025-06-11

基金项目: 河北省薯类产业技术体系创新团队专项 (HBCT2023060205); 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS09)

作者简介: 高玉珠, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为植物病理。E-mail: 2991141707@qq.com

通信作者: 杨志辉, 男, 教授, 主要从事植物病理研究。E-mail: 13933291416@163.com

张岱, 女, 副教授, 主要从事植物病理研究。E-mail: adaiaidai.1987@163.com

界第一^[1-3]。然而,在追求马铃薯高产的过程中,大量施用氮、磷、钾肥已成为普遍现象,其对增产贡献率高达50%,但大肥大水的传统耕作方式不仅难以维持长期增产,反而成为了制约马铃薯品质提升、降低土壤养分利用效率以及危害土壤环境等多重问题的关键因素^[4-6]。因此,在“十四五”农业绿色发展的大背景下,对化肥减量增效的需求愈发迫切。农业农村部《到2025年化肥减量化行动方案》明确提出,要加速推进有机肥替代化肥的进程,广泛推广微生物肥料等新型肥料,以推动绿色农业的可持续发展^[7]。

微生物肥料作为一种新兴的绿色肥料产品,以安全、环保、可持续等特性,成为当前农业生产的 research 热点^[8-11]。微生物肥料具有提升作物品质、调节土壤微生物群落结构和改善土壤生态环境等功能^[12]。相较于传统肥料,施用复合微生物肥料可以显著提高果实的固酸比和可溶性固形物含量及土壤中的全氮和全磷含量,并且有益微生物的相对丰度也得到了增加^[13]。微生物肥料施用方式多样,包括有机肥沟施、叶面喷施及随水滴灌等^[14]。微生物肥料可以替代部分化肥,促进植株生长,提高马铃薯产量和品质。研究表明,微生物有机肥作底肥施用可使马铃薯产量和可溶性蛋白含量分别提高24.54%和29.40%^[15-16]。叶面喷施微生物菌肥是一种比较便捷的使用方法,研究表明,叶面喷施辉丰聚合微生物菌肥可提高脱毒微型薯产量和商品种率,与不施用微生物菌肥的对照相比分别提高了9.9%和24.9%^[17];灌根芽孢杆菌发酵液可使马铃薯幼苗地上部分和地下部分的鲜质量分别增加17.64%和15.26%,地上部分和地下部分的干质量分别增加12.71%和15.00%^[18]。

在众多微生物肥料中,芽孢杆菌产品占据了我国市场80%的份额,其中贝莱斯芽孢杆菌的应用最为广泛^[19]。贝莱斯芽孢杆菌HN-Q-8菌株是由马铃薯根际土壤分离得到的^[20]。前期试验已证明,田间播前沟施HN-Q-8菌株与宁南·啉菌酯对马铃薯增产率为24.05%~26.86%^[21]。进一步研究发现,HN-Q-8菌株能调节马铃薯内源激素(如吲哚乙酸、赤霉素、脱落酸)水平,增强幼苗根系活力,提高叶绿素含量^[22];同时,还能优化马铃薯根际土壤微生物群落结构,提升有益微生物相对丰度,增强土壤酶活性及肥力,为马铃薯生长发育创造有利的土壤环境^[23]。基于此,笔者以贝莱斯芽孢杆菌HN-Q-8为研究对象,系统评价该菌株的田间应用效果。通过播种前施用有机菌肥、现蕾期和盛花期喷施可湿性

粉剂对马铃薯进行处理,评估贝莱斯芽孢杆菌HN-Q-8有机菌肥和可湿性粉剂对马铃薯产量及品质的影响,以期为马铃薯生产中使用微生物菌肥和菌剂提高产量和品质提供切实可行的施用方法。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2024年5—7月在河北农业大学国家级马铃薯抗性鉴定站基地进行。贝莱斯芽孢杆菌HN-Q-8由河北农业大学植物保护学院马铃薯病害研究组分离纯化保存。供试马铃薯品种为大西洋,由秦皇岛市昌黎县嘉诚实业集团提供。

1.2 方法

1.2.1 田间试验设计 马铃薯种植时间为2024年5月14日,试验小区随机排列。种植模式采用高垄覆膜滴灌的栽培方式,一垄双行,垄距110 cm,株距30 cm,试验田总面积约0.8 hm²。所有的农事操作均严格遵循正常大田种植的标准流程进行,确保了试验的规范性和科学性。HN-Q-8有机菌肥、可湿性粉剂的施用量、施用时期及施用次数见表1。

HN-Q-8有机菌肥处理(有效活菌数 $\geq 10^9$ CFU·g⁻¹):播种前施用1500 kg·hm⁻²复合肥料(N、P₂O₅、K₂O质量比15:15:15),在此基础上分别增施7500、15 000 kg·hm⁻²的HN-Q-8有机菌肥,以不施有机菌肥为对照(CK1)。

HN-Q-8可湿性粉剂处理(有效活菌数 $\geq 3 \times 10^{10}$ CFU·g⁻¹)采用叶面喷施的方法,喷施方案包括:仅在现蕾期喷施1次2.25 kg·hm⁻²的可湿性粉剂,现蕾期、盛花期各喷施1次,每次施用量均为2.25 kg·hm⁻²;以喷施清水为对照(CK2)。

1.2.2 马铃薯植株生长指标测定 在现蕾期(5月23日)对使用有机菌肥处理的马铃薯进行生长指标测定,分析HN-Q-8有机菌肥的施用对马铃薯植株生长的影响,每个处理5点取样,每个取样点取5株。

茎粗:使用游标卡尺测量植株地上部5~10 cm处的最大直径。

叶绿素含量:使用SPAD-502Plus便携式叶绿素仪于08:00—10:00取顶叶下完全展开的第三片复叶测定叶绿素相对含量。

1.2.3 马铃薯产量测定 在6月20日,马铃薯收获期进行田间产量测定。每个小区随机选取4个垄长为5 m的全部马铃薯进行理论产量测定,根据实收小区产量折算为每公顷产量。

1.2.4 马铃薯块茎营养品质测定 收获后每个小

表 1 HN-Q-8 有机菌肥、可湿性粉剂的施用量、施用时期及施用次数
Table 1 Application amount, application period, and application frequency of HN-Q-8 bio-organic bacterial fertilizer, wettable powder

处理 Treatment	处理编号 Treatment number	施用量 Application amount/(kg·hm ²)	施用时期 Application period	施用次数 Application frequency
HN-Q-8 有机菌肥 HN-Q-8 bio-organic bacterial fertilizer	A1	7 500	播种前 Before sowing	1
	A2	15 000	播种前 Before sowing	1
	CK1	0		
HN-Q-8 可湿性粉剂 HN-Q-8 wettable powder	B1	2.25	现蕾期 Squaring period	1
	B2	2.25	现蕾期、盛花期 Squaring period, full-blossom period	2
	CK2	0		

区随机选择 10 个大小均匀且具有代表性的马铃薯块茎,采用烘干称质量法测定干物质含量^[24]。对烘干后样品研磨,定量溶解离心 10 min 后,采用考马斯亮蓝比色法测定蛋白质含量,采用蒽酮-硫酸比色法测定淀粉含量^[25]。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2019 对试验数据进行统计和作图,使用 SPSS 25.0 软件对试验数据进行方差分析。

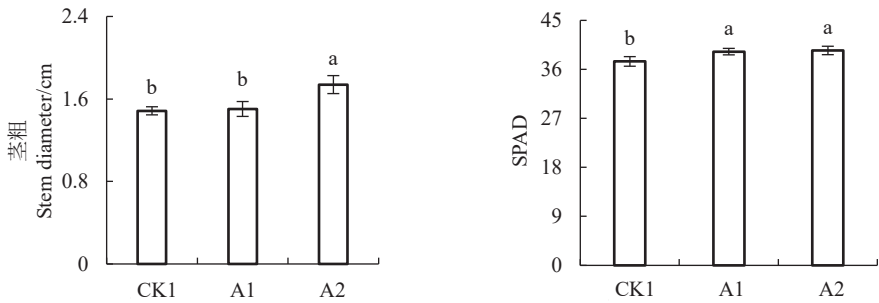
2 结果与分析

2.1 HN-Q-8 有机菌肥对马铃薯生长指标的影响

由图 1 可知,施用 HN-Q-8 有机菌肥对马铃薯具有显著的促生效果。A2 处理的马铃薯茎粗为 1.75 cm,较 CK1 显著提高了 17.11%;A1 和 A2 处理的马铃薯 SPAD 分别为 39.26 和 39.47,较 CK1 分别显著提高了 4.80%和 5.37%。由此可知,施用含 HN-Q-8 有机菌肥可以促进马铃薯的植株生长,并且当田间施用量达到 15 000 kg·hm²时,其促生效果最明显(图 2)。

2.2 HN-Q-8 有机菌肥对马铃薯产量的影响

由表 2 可知,增施有机菌肥可以显著提高马铃薯的产量。A1 和 A2 处理的马铃薯产量分别为 29.94 和 30.97 t·hm²,二者差异不显著,较 CK1 分



注:不同小写字母代表处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference between treatments at 0.05 level. The same below.

图 1 HN-Q-8 有机菌肥对马铃薯生长的影响

Fig. 1 Effects of HN-Q-8 bio-organic bacterial fertilizer on the growth of potato



图 2 HN-Q-8 有机菌肥对马铃薯的促生效果

Fig. 2 The growth-promoting effects of HN-Q-8 bio-organic bacterial fertilizer on potato

表 2 HN-Q-8 有机菌肥对马铃薯产量的影响
Table 2 Effects of HN-Q-8 bio-organic bacterial fertilizer on potato yield

处理 Treatment	产量 Yield/(t·hm ⁻²)	增产率 Yield increase rate/%
A1	29.94±1.08 a	22.58
A2	30.97±0.77 a	26.80
CK1	24.42±1.20 b	

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different small letters indicate significant difference between different treatments at 0.05 level. The same below.

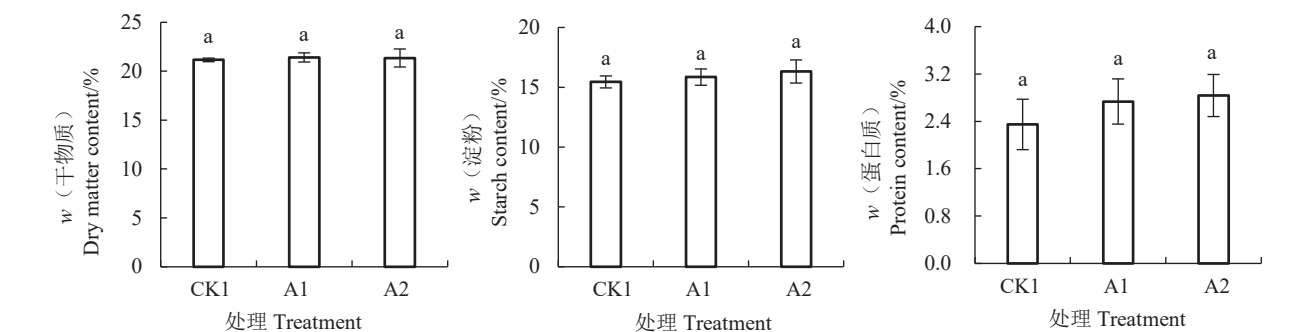


图 3 HN-Q-8 有机菌肥对马铃薯块茎品质的影响
Fig. 3 Effects of HN-Q-8 bio-organic bacterial fertilizer on the quality of potato tuber

品质指标的影响不明显。

2.4 HN-Q-8 可湿性粉剂对马铃薯产量的影响

由表 3 可知,HN-Q-8 可湿性粉剂施用后可显著提高马铃薯产量。现蕾期喷施 1 次(B1)和现蕾期、盛花期各喷施 1 次(B2)的产量分别为 28.09、28.61 t·hm⁻²,二者差异不显著,较 CK2 分别显著提高

表 3 HN-Q-8 可湿性粉剂对马铃薯产量的影响
Table 3 Effects of HN-Q-8 wettable powder on potato yield

处理 Treatment	产量 Yield/(t·hm ⁻²)	增产率 Yield increase rate/%
B1	28.09±0.76 a	15.01
B2	28.61±0.49 a	17.12
CK2	24.42±1.20 b	

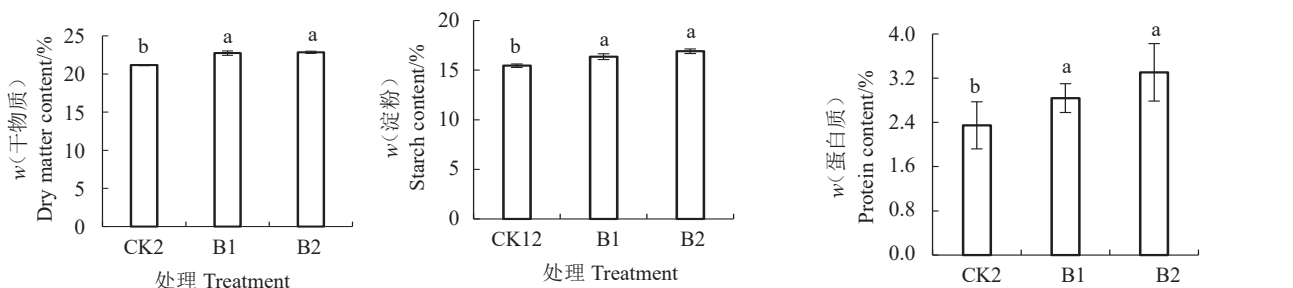


图 4 HN-Q-8 可湿性粉剂对马铃薯块茎品质的影响
Fig. 4 Effects of HN-Q-8 wettable powder on the quality of potato tuber

别显著提高了 22.58% 和 26.80%, 2 种用量的 HN-Q-8 有机菌肥处理对马铃薯增产均有显著效果,其中 15 000 kg·hm⁻²有机菌肥处理的效果最好。

2.3 HN-Q-8 有机菌肥对马铃薯品质的影响

由图 3 可知,两种用量有机菌肥处理下的马铃薯干物质含量分别为 21.41% 和 21.35%;淀粉含量分别为 15.85% 和 16.32%;蛋白质含量分别为 2.74% 和 2.84%,均与 CK1 差异不显著,表明增施有机菌肥对马铃薯块茎干物质、淀粉和蛋白质含量等

了 15.01% 和 17.12%,但增产率低于有机菌肥处理组。

2.5 HN-Q-8 可湿性粉剂对马铃薯品质的影响

在马铃薯的现蕾期与盛花期喷施 HN-Q-8 可湿性粉剂,可显著提高块茎的干物质、淀粉和蛋白质含量(图 4)。在干物质含量方面,在现蕾期喷施 1 次(B1)的马铃薯干物质含量达到了 22.73%,相较于 CK2 显著提高了 7.44%;在现蕾期和盛花期各喷施 1 次的马铃薯干物质含量达到了 22.85%,相较于 CK2 显著提高了 7.98%。在淀粉含量方面,在现蕾期喷施 1 次(B1)的马铃薯淀粉含量为 16.36%,相较于 CK2 显著提高了 5.91%;在现蕾期和盛花期各喷施 1 次的马铃薯淀粉含量为 16.91%,相较于 CK2 显著提高了 9.44%。在蛋白质含量方面,两种处理下的马铃薯蛋白质含量分别为 2.84% 和

3.31%, 相较于 CK2 分别显著提高了 20.98% 和 40.84%。以上结果表明, 在现蕾期和盛花期各喷施 1 次 HN-Q-8 可湿性粉剂的处理在提高马铃薯块茎品质方面的效果最优。

3 讨论与结论

微生物肥料在土壤微生物代谢活动中扮演着重要角色, 不仅为微生物群落提供了丰富的碳源, 还加速了土壤养分的转化与吸收, 增强了土壤酶活性, 优化土壤结构, 并增强了土壤的通透性, 进而促进土壤微生物活动^[26-27]。

茎粗、叶绿素含量与产量之间存在着紧密的内在联系, 这些生长指标常被视作评估作物生长状态和预测产量潜力的重要依据。贝莱斯芽孢杆菌通过分泌吲哚乙酸(IAA)和嗜铁素, 有效促进了植物的生长^[28]。而菌株 HN-Q-8 则能够调节马铃薯的植物激素水平, 清除土壤中的有害物质, 并促进土壤的养分循环, 为植物的生长发育创造更为有利的环境条件^[29-30]。在一定范围内, 马铃薯的产量与茎粗、叶绿素含量呈正相关^[31-32]。在增施 HN-Q-8 有机菌肥后, 马铃薯的茎粗和相对叶绿素含量均有不同程度的提升, 当施用量为 15 000 kg·hm⁻² 时, 促生效果最为显著, 与对照组相比, 茎粗及叶绿素含量分别显著提高了 17.11%、5.37%。郭雨鑫^[32]研究表明, 施用生物菌肥和黄腐酸能显著提高马铃薯的茎粗和 SPAD 值, 增幅分别为 4.96%~13.22% 和 3.22%~8.76%, 其促生指标增幅范围与本研究结果一致。

产量是马铃薯实际生产中最受关注的重要因素之一。本研究结果表明, 2 种用量的 HN-Q-8 有机菌肥处理均显著提高马铃薯产量, 产量最高为 30.97 t·hm⁻², 增产率为 26.80%。张敏硕等^[16]研究表明, 施用微生物有机肥后冀张薯 12 的产量增长了 24.54%; 相比之下, 叶面喷施的增产效果相对有限, 最高增产率仅为 17.12%。这可能是由于 HN-Q-8 可湿性粉剂施用时间较晚, 未能充分展现其促生潜力, 或是微生物肥料与化肥混合施用能最大限度地发挥其协同促生效应。郭新送等^[33]研究表明, 微生物肥料与化肥混合施用可使马铃薯产量提高 23.5%~34.5%。张艳艳等^[17]研究表明, 叶面喷施辉丰聚合微生物菌肥的脱毒微型薯产量仅提高了 9.9%。

马铃薯块茎的品质主要包括淀粉、还原糖、蛋白质和维生素 C 含量等指标, 其中干物质、蛋白质、淀粉含量等与综合营养品质呈正相关^[34-35]。Ye 等^[36]

研究表明, 生防菌与有机肥的联合应用能够提升番茄的果实品质。然而, 笔者发现有机菌肥对马铃薯块茎的品质影响不显著。李卫东等^[37]研究表明, 生物有机肥和复合微生物菌剂对马铃薯干物质含量的增加无显著效果, 与本研究结果一致。相比之下, 可湿性粉剂的施用在马铃薯干物质、淀粉和蛋白质含量提升方面表现出了不同程度的提升效果, 这表明菌株 HN-Q-8 对马铃薯品质具有改善作用。这种结果上的差异可能与施用方法和施用时间有关。现蕾期至盛花期是马铃薯营养需求的关键期, 这一时期延长叶片的光合作用时间对营养物质的积累至关重要^[38]。这可能是 HN-Q-8 可湿性粉剂改善其品质的原因之一。

综上所述, HN-Q-8 有机菌肥施用可显著提高马铃薯产量, 播种前施用 15 000 kg·hm⁻² 有机菌肥的马铃薯产量最高, 为 30.97 t·hm⁻², 增产率为 26.80%; HN-Q-8 可湿性粉剂可以显著改善其块茎品质, 在现蕾期、盛花期各喷施 1 次 2.25 kg·hm⁻² HN-Q-8 可湿性粉剂, 块茎干物质、淀粉和蛋白质含量较喷施清水的对照分别显著提高了 7.98%、9.44% 和 40.84%。该研究结果为马铃薯生产中使用微生物菌肥和菌剂提高产量和品质提供了切实可行的施用方法。

参考文献

- [1] NASIR M W, TOTH Z. Effect of drought stress on potato production: A review [J]. *Agronomy*, 2022, 12(3): 635.
- [2] 李含悦, 张润清, 王哲. 我国马铃薯全要素生产率比较及空间集聚研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(7): 9-18.
- [3] WANG Z J, LIU H, ZENG F K, et al. Potato processing industry in China: Current scenario, future trends and global impact[J]. *Potato Research*, 2023, 66(2): 543-562.
- [4] 石元亮, 王玲莉, 刘世彬, 等. 中国化学肥料发展及其对农业的作用[J]. *土壤学报*, 2008, 45(5): 852-864.
- [5] 喻江, 李彦生, 谢志煌, 等. 不同施肥方式对东北旱田黑土 nirK 和 nirS 型反硝化细菌群落结构的影响及黑土保护建议[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(9): 2306-2318.
- [6] MEKONNEN H, KIBRET M. The roles of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable vegetable production in ethiopia[J]. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2021, 8(1): 15.
- [7] 高树琴, 胡兆民, 王竑晟, 等. 智慧农业助力粮食生产节本增产增效的“九步法”[J]. *中国科学院院刊*, 2024, 39(1): 198-209.
- [8] 郑剑超, 李明, 史芳芳, 等. 化肥减量配施有机肥和微生物肥对番茄光合特性和肥料利用率的影响[J]. *中国瓜菜*, 2024, 37(2): 74-79.
- [9] 李俊, 姜昕, 马鸣超, 等. 我国微生物肥料产业需求与技术创新[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(2): 1-5.

- [10] 杨文丽,李钊,刘志铭,等.不同熟期玉米叶片衰老特性及其对叶际细菌的影响[J].植物学报,2024,59(6):1024-1040.
- [11] 孙琪,王向东,安海龙,等.不同施肥措施对黄芩根际微生物群落结构的影响[J].中国土壤与肥料,2024(4):45-52.
- [12] 刘星,张书乐,刘国锋,等.土壤熏蒸-微生物有机肥联用对连作马铃薯生长和土壤生化性质的影响[J].草业学报,2015,24(3):122-133.
- [13] 颜宏,白亚妮,卢雨欣,等.复合微生物肥料对杏园土壤及杏果实品质的影响[J].西北农业学报,2024,33(8):1495-1505.
- [14] 梁恒心,邹茜,周志忠,等.微生物菌肥对甘蔗生长的影响及其施用方法的研究进展[J].中国糖料,2024,46(1):79-86.
- [15] 刘雅娜,李袁凯,王金莲,等.不同微生物菌剂对马铃薯的促生作用研究[J].干旱区资源与环境,2023,37(9):136-143.
- [16] 张敏硕,赵英男,杨威,等.微生物菌剂对张北冷凉坝上地区马铃薯产量、品质及活化土壤磷钾的效果[J].水土保持学报,2019,33(3):235-239.
- [17] 张艳艳,张媛媛,王毛毛,等.不同微生物菌肥对马铃薯脱毒微型薯产量和商品种率的影响[J].园艺与种苗,2023,43(11):72-73.
- [18] 何宏涛,王玉虎,周洪友,等.番茄根际产生生长素菌株分离及其对番茄和马铃薯幼苗的促生作用[J].江苏农业科学,2022,50(19):219-225.
- [19] 张文博,李昱龙,周蕾,等.植物根际益生细菌代表性菌株贝莱斯芽胞杆菌 FZB42 对松材线虫的抑杀性[J].微生物学报,2021,61(5):1287-1298.
- [20] 朱明明,张岱,赵冬梅,等.马铃薯黑痣病生防芽胞杆菌的筛选与鉴定[J].江苏农业科学,2018,46(14):97-101.
- [21] 于水清.贝莱斯芽胞杆菌 HN-Q-8 与化学药剂协同防治马铃薯黑痣病的初探[D].河北保定:河北农业大学,2020.
- [22] BAI X F, LI Q, ZHANG D, et al. *Bacillus velezensis* strain HN-Q-8 induced resistance to *Alternaria solani* and stimulated growth of potato plant[J].Biology,2023,12(6):856.
- [23] 白雪飞,李倩,丁丽丽,等.贝莱斯芽胞杆菌 HN-Q-8 对马铃薯根际土壤微生物群落结构及理化性质的影响[J].微生物学通报,2024,51(8):2844-2856.
- [24] 赵宇慈,许丹,靳承煜,等.马铃薯块茎干物质、淀粉及还原糖含量的检测及相关性分析[J].现代食品科技,201,33(10):288-293.
- [25] 张志良,瞿伟菁,李小芳.植物生理学实验指导[M].4版.北京:高等教育出版社,2009.
- [26] 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.
- [27] 符菁,赵远,赵利华,等.基于光合菌剂的复合微生物菌肥对水稻产量及土壤酶活性的影响[J].西南农业学报,2019,32(10):2330-2336.
- [28] BLAKE C, CHRISTENSEN M N, KOVÁCS Á T. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*[J]. Molecular Plant- Microbe Interactions. 2021, 34(1): 15-25.
- [29] 安珍,张茹艳,周春涛,等.铁肥对马铃薯生理特性、产量及品质的影响[J].江苏农业学报,2022,38(4):931-938.
- [30] 胡金雪,樊建英,相丛超,等.枯草芽胞杆菌对马铃薯的促生防病效应[J].中国瓜菜,2023,36(10):121-128.
- [31] 苏云松,郭华春,陈伊里.马铃薯叶片 SPAD 值与叶绿素含量及产量的相关性研究[J].西南农业学报,2007,20(4):690-693.
- [32] 郭雨鑫.生物源肥料对马铃薯生长、产量及品质的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2018.
- [33] 郭新送,魏菊花,沙春岩,等.优化施肥对马铃薯产量、品质和土壤养分供应的影响[J].中国农学通报,2024,40(2):84-90.
- [34] 谭微,官利兰,何艺超,等.有机无机复混肥用量对冬作马铃薯产量和品质的影响[J].安徽农业科学,2024,52(18):147-150.
- [35] 文国宏,李高峰,李建武,等.陇薯系列马铃薯品种营养品质评价及相关性分析[J].核农学报,2018,32(11):2162-2169.
- [36] YE L, ZHAO X, BAO E C, et al. Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1):177.
- [37] 李卫东,陈永波,黄光昱,等.生物有机肥和微生物菌剂对马铃薯产量和品质的影响[J].湖北农业科学,2013,52(19):4597-4600.
- [38] 徐玉坤,薛龙飞.不同施肥模式对马铃薯光合特性及产量品质的影响[J].中国农业大学学报,2022,27(6):83-90.