

## 两株根际促生菌对萝卜农艺性状及营养品质的影响

陈俊如, 相微微, 杨芸岫, 武丹丹, 王建武

(榆林学院 现代农学院, 陕西 榆林 719000)

**摘要:**为了研究两株根际促生菌对萝卜农艺性状及营养品质的影响, 试验采用玫瑰色考克氏菌 SDB9 和耐寒短杆菌 SDB5 两株根际促生菌对白萝卜品种‘邢育六号’幼苗进行灌根处理, 测定萝卜农艺性状和营养品质指标。结果表明: 与对照组(CK)相比, 两种菌处理下萝卜的根型发生改变, 根长变短, 根直径增大, SDB9 菌使其改变的效果更显著; SDB9 菌对萝卜的产量的增加效果要高于 SDB5 菌。SDB5 菌还能使萝卜根中维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白质、还原性糖、淀粉、纤维素均有不同程度的提高, 其中维生素 C、可溶性糖和淀粉含量有了显著或极显著的提高。而 SDB9 菌除了显著提高可溶性蛋白外, 还显著降低了还原性糖和纤维素, 说明 SDB9 菌能影响了萝卜的营养品质。因此, SDB9 菌能显著提高萝卜的产量但对品质有一定的影响, SDB5 菌能稍微提高萝卜的产量但能改善萝卜的营养品质, 两种菌在萝卜的栽培中均有其利用价值。

**关键词:** 萝卜; 玫瑰色考克氏菌 SDB9; 耐寒短杆菌 SDB5; 农艺性状; 营养品质

**中图分类号:** S631.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0488-5368(2025)05-0057-05

### Effects of Two Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Agronomic Traits and Nutritional Quality of Radish

CHEN Junru, XIANG Weiwei, YANG Yunxiu, WU Dandan, WANG Jianwu

(College of Advanced Agricultural Sciences, Yulin University, Yulin, Shaanxi 719000, China)

**Abstract:** To investigate the effects of two rhizosphere plant growth-promoting bacteria on the agronomic traits and nutritional quality of radish, this experiment utilized *Kocuria rosea* SDB9 and *Brevibacterium frigoritolerans* SDB5 to irrigate seedlings of the white radish variety ‘Xingyu No. 6’. The agronomic traits and nutritional quality indicators were then measured. The results showed that, compared with the control group (CK), treatment with both bacterial strains altered radish root morphology—specifically, root length was reduced and root diameter increased—with SDB9 exhibiting a more pronounced effect. The yield improvement effect of SDB9 was greater than that of SDB5. SDB5 also enhanced the contents of vitamin C, soluble sugars, soluble proteins, reducing sugars, starch, and cellulose in radish roots to varying degrees, with significant or highly significant increases in vitamin C, soluble sugars, and starch. In contrast, SDB9 significantly increased soluble protein levels but significantly reduced reducing sugars and cellulose, indicating that SDB9 affects the nutritional quality of radish. In conclusion, SDB9 can significantly enhance radish yield but may negatively effect quality, while SDB5 slightly increases yield but improves nutritional quality. Both bacterial strains demonstrate potential value in radish cultivation.

**Key words:** Radish; *Kocuria rosea* SDB9; *Brevibacterium frigoritolerans* SDB5; Agronomic traits; Nutritional quality

萝卜 (*Raphanus sativus* L.) 属十字花科萝卜属, 用途广泛, 其肉质根系可鲜食也可干食, 其叶和

种子价值更高, 可用于食用、药品和保健等领域<sup>[1-3]</sup>。随着人们生活水平提高, 人们为了达到优

收稿日期: 2024-08-25 修回日期: 2024-09-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(32060027)。

第一作者简介: 陈俊如(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向为根际促生细菌与蔬菜互作研究。

通信作者: 相微微。

质高产,盲目过量使用各种化肥农药,造成了环境的破坏<sup>[4]</sup>。因此,如何减少化肥和农药的使用量,生产出优质、高产的蔬菜推进农业可持续发展成为当今研究的一大热点。研究发现使用根际促生菌来减少甚至代替化肥和农药的施用,即能达到高产高效,也推进了农业绿色发展<sup>[5]</sup>。

生活在植物根际微域内的有益根际细菌被统称为植物根际促生菌(Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR)<sup>[6]</sup>。PGPR 提高植物的抗逆性,对提高作物产量等方面都有着很大的意义<sup>[7-9]</sup>。有研究显示,部分植物的体内存在多种促生细菌,可以与植物产生互作作用,具有提高植物抗逆性的功能<sup>[10]</sup>。PGPR 还可以通过分泌吡啶乙酸等激素来帮助植物吸收营养直接促进植物生长。刘丹丹等<sup>[11]</sup>研究表明,PGPR 能合成一些激素等次生代谢物质,调节植物根围土壤中微生物等活性来提高植物抗病性和品质。申佳丽等<sup>[12]</sup>研究表明根际促生菌可以实现黄瓜增产提质,增加土壤有机质及有效养分,激活土壤酶系,促进植物生长有积极作用。PGPR 促进植物生长的机制多样,如溶磷、解钾、固氮、铁载体的产生、植物激素的产生、促进有益的植物-微生物共生等<sup>[13]</sup>。因此 PGPR 作为连接植物和土壤的纽带,通过与土壤和植物的相互作用构建健康的根际系统,持续高效地促进植物生产<sup>[14]</sup>。

玫瑰色考克氏菌 SDB9<sup>[15,16]</sup> 和耐寒短杆菌 SDB5<sup>[17,18]</sup> 是从榆林本地天然生长的沙地柏中分离并鉴定的根际促生细菌。前期通过在马铃薯<sup>[19,20]</sup> 和水稻<sup>[15,18]</sup> 中进行的大田试验证明这两株菌均具有促生作用,但在不同作物中发挥的增产效果有差异。因此该研究旨在研究两株菌对萝卜农艺性状及营养品质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

榆林市国家农业示范园种植白萝卜品种‘邢育六号’,种子从市场购买,菌株是沙地柏根部分离的两株根际促生菌:玫瑰色考克氏菌(*Kocuria rosea* SDB9)和耐寒短杆菌(*Brevibacterium frigoritol-*

*erans* SDB5)由本实验室分离、命名并保存。

### 1.2 试验方法

1.2.1 试验设计及样品处理 挑选健康饱满的‘邢育六号’白萝卜种子按传统方式种植,待幼苗长出 1~2 片真叶时,用等量清水(对照组,CK)及浓度为  $1 \times 10^7$  CFU/mL 的 SDB9 菌液和 SDB5 菌液(试验组,SDB9 和 SDB5)分别灌根处理。试验采取随机区组设计,3 个处理,每个处理 3 个重复,每个重复的小区面积  $20 \text{ m}^2$ ,行距 30 cm,株距 20 cm,起垄。以后均按传统的种植方式进行管理。待萝卜成熟后,全部采收,测量萝卜的株高、根长、根直径,根  $667 \text{ m}^2$  产量等相关的农艺性状指标。取萝卜根鲜样及烘干磨碎并过 100 目筛的干粉以备营养品质的测定。

1.2.2 萝卜农艺性状指标的测定 分别对不同处理下萝卜的农艺性状指标如株高、根长、根直径、根鲜(干)重,根含水量、叶鲜(干)重、叶含水量、根产量等进行测定并计算。根产量  $(\text{kg}/667 \text{ m}^2) = 20 \text{ m}^2$  的根鲜重/ $20 \text{ m}^2 \times 667 \text{ m}^2$ 。

1.2.3 萝卜营养品质指标的测定 分别对不同处理下鲜样中维生素 C 和干粉中可溶性糖、可溶性蛋白、还原性糖、硝酸盐、纤维素、淀粉等营养成分含量进行测定。维生素 C 含量参考齐芳芳等<sup>[21]</sup> 的方法进行测定;还原性糖含量参考杨泉女等<sup>[22]</sup> 的方法进行测定;可溶性蛋白质含量参考焦洁<sup>[23]</sup> 和张志良等<sup>[24]</sup> 的方法进行测定;可溶性糖、淀粉和纤维素含量参考张志良<sup>[25]</sup> 的方法进行测定;硝酸盐含量参考李酉开<sup>[26]</sup> 的方法进行测定。

### 1.3 数据处理及分析

采用 Microsoft Excel 2021 和 SPSS 29.0 对数据进行统计、显著性分析并绘制柱状图,采用完全随机设计,多因素有重复进行方差分析检验,用 LSD(最小显著差异法)进行处理间的比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 两株根际促生菌 SDB9 和 SDB5 对萝卜农艺性状的影响

表 1 两株根际促生菌 SDB9 和 SDB5 对萝卜农艺性状的影响(地下部分)

处理	地下部分					根产量 (kg/667 m <sup>2</sup> )
	根长/cm	直径/mm	根鲜重/g	根干重/g	根含水率/%	
CK	44.67±2.29a	44.89±2.29a	366.71±20.72b	25.59±1.31b	93.05±4.77a	3 972.33±203.78b
SDB9	39.33±1.68b	48.45±3.83a	415.88±28.65a	30.22±2.65a	92.57±3.82a	4 505.19±548.16a
SDB5	44.50±2.22a	46.11±2.31a	387.55±20.85ab	26.98±1.50b	93.00±4.74a	4 138.30±469.85b

注:表中小写字母 a、b 表示差异显著( $P < 0.05$ )。

表2 两株根际促生菌 SDB9 和 SDB5 对萝卜农艺性状的影响(地上部分)

处理	地上部分			
	叶鲜重/g	叶干重/g	叶含水率/%	株高/cm
CK	130.81±7.83b	15.56±0.92b	87.76±4.49a	88.33±5.29a
SDB9	175.10±20.40a	20.76±2.25a	87.91±5.78a	79.67±2.12a
SDB5	157.24±12.08ab	19.04±1.14a	86.00±4.28a	82.52±4.83a

注:表中大小写字母 a、b 表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

两株根际促生菌 SDB9 和 SDB5 对萝卜农艺性状的影响如表所示(地下部分见表 1;地上部分见表 2)。与 CK 相比, SDB9 菌处理下,萝卜的根(叶)鲜重、根(叶)干重、根 667 m<sup>2</sup> 产量均显著增加,其中根 667 m<sup>2</sup> 产量增加 13.4%,根直径、叶含水率虽有增加但差异不显著;根长显著降低 12.0%,根含水率和株高有降低但差异不显著; SDB5 菌处理下,萝卜的根直径,根(叶)鲜重、根(叶)干重、根 667 m<sup>2</sup> 产量均增加,除了叶干重外,

其余差异均不显著,根 667 m<sup>2</sup> 产量只增加 4%。根长,根含水率、叶含水率和株高稍有降低但差异均不显著。根据萝卜的根长与根直径的变化可以看出,两株菌处理下萝卜的根部形状发生改变,根长变短,根直径增大,其中 SDB9 菌对萝卜根形改变的效果更显著;从增产效果上可以看出, SDB9 菌对萝卜产量的增加效果要高于 SDB5 菌。

## 2.2 两株根际促生菌 SDB9 和 SDB5 对萝卜营养品质的影响

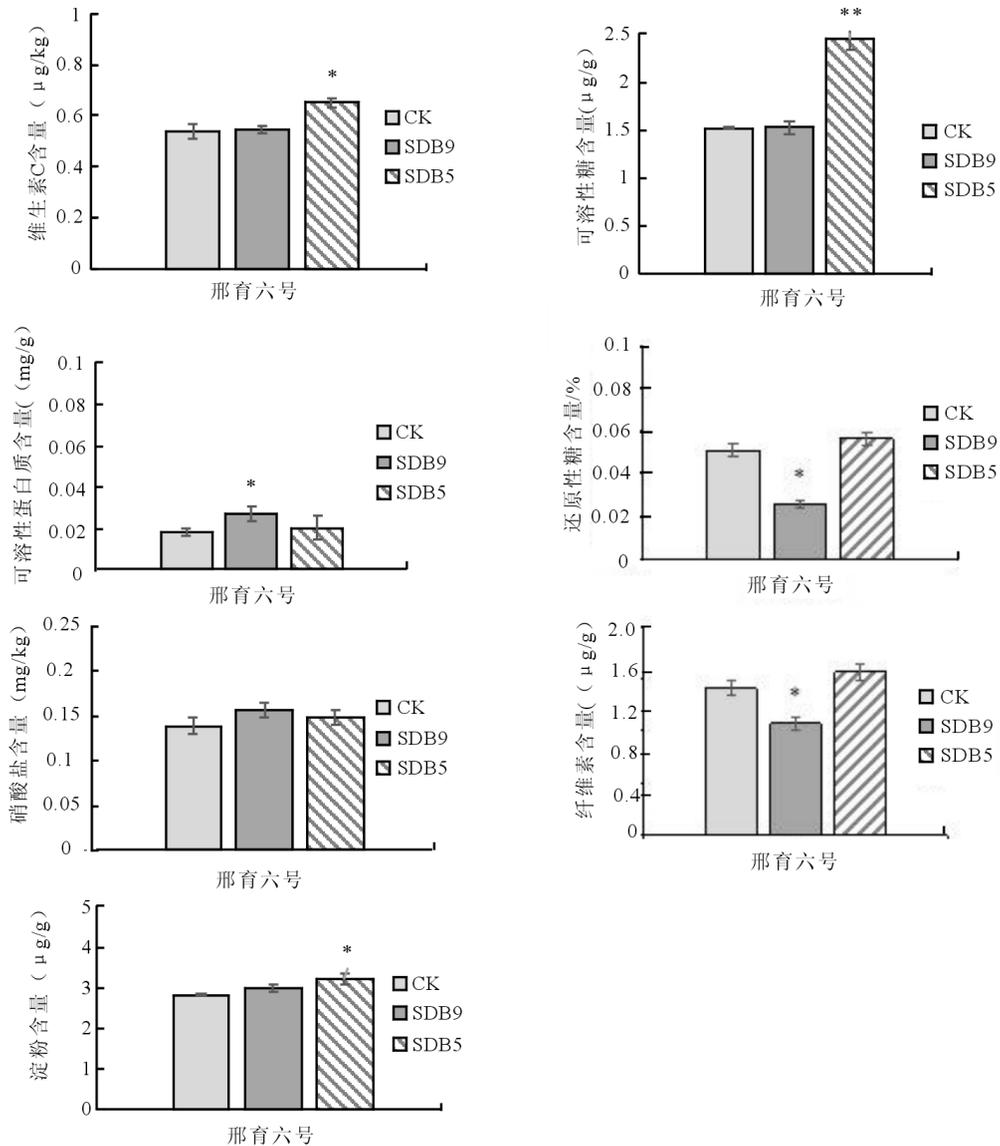


图1 两株根际促生菌对萝卜营养品质的影响

注:图中 \* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

两株根际促生菌对萝卜营养品质的影响见图 1,对不同处理下,‘邢育六号’萝卜维生素 C 含量进行比较分析发现,萝卜中维生素 C 含量较低,与 CK 相比,SDB9 菌使萝卜中维生素 C 含量增加了 1.18%,差异不显著;SDB5 菌使其增加了 21.28%,差异显著。对‘邢育六号’萝卜可溶性糖含量进行比较发现,与 CK 相比,SDB9 菌使萝卜中可溶性糖含量增加了 0.38%,差异不显著;SDB5 增加了 60.94%,差异极显著。对‘邢育六号’萝卜中可溶性蛋白质含量进行的比较发现,与 CK 相比,SDB9 菌使萝卜中可溶性蛋白质含量增加了 48.59%,差异显著,SDB5 萝卜中可溶性蛋白质含量增加 11.07%,差异不显著。对‘邢育六号’萝卜中还原性糖含量进行的比较发现,与 CK 相比,SDB9 中还原性糖含量降低了 49.61%,差异显著,SDB5 在增加了 10.59%,差异不显著。对‘邢育六号’萝卜中硝酸盐含量进行的比较发现,与 CK 相比,SDB9 菌使萝卜中硝酸盐含量增加了 12.83%,差异不显著,SDB5 菌使萝卜中硝酸盐含量增加了 6.67%,差异不显著。对‘邢育六号’萝卜中纤维素含量进行的比较发现,与 CK 相比,SDB9 菌使萝卜中纤维素含量降低了 23.93%,差异显著,SDB5 菌使其增加 11.30%,差异不显著。对‘邢育六号’萝卜中淀粉含量进行的比较发现,与 CK 相比,SDB9 菌使萝卜中淀粉含量加了 5.76%,无显著差异,SDB5 菌使其增加了 14.02%,差异显著。

### 3 讨论

#### 3.1 两株根际促生菌 SDB9 和 SDB5 对萝卜主要农艺性状的影响

本试验选用的萝卜品种为‘邢育六号’又称三尺白,属于白萝卜,是市面上的推产品种,在本地种植适应性好且产量较高。经试验发现两种菌能使白萝卜增产,SDB9 菌能增产 13.4%,增产效果显著,而 SDB5 菌增产效果不显著。根据前期在水稻,马铃薯和玉米的试验结果,推测 SDB9 菌可能促进植物地下部分的生长,SDB5 菌可能有利于植物地上部分的生长,因此对 SDB5 对萝卜根部的增产效果不显著。另外发现两种菌能改变萝卜的根型,尤其是 SDB9 菌对萝卜根型改变的效果更显著,这与本实验室前期在马铃薯块茎中的试验结果类似<sup>[27]</sup>。

#### 3.2 两株根际促生菌 SDB9 和 SDB5 对萝卜营养品质的影响

本研究对萝卜根部的 7 种营养成分(维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白质、还原性糖、淀粉、纤维素和硝酸盐)含量进行了测定。除了硝酸盐外,其余营养成分如可溶性糖<sup>[28]</sup>、蛋白质<sup>[29]</sup>、纤维<sup>[30]</sup>、还原糖<sup>[31,32]</sup>等,前人已研究发现均有利于作物或蔬菜品质的改善。

硝酸盐在人体内可将其还原为亚硝酸,对人体健康有害<sup>[33]</sup>。在本研究将萝卜根部接入 SDB9 菌和 SDB5 菌后,硝酸盐含量略有提高,但与对照相比差异不显著,说明没有明显的降低萝卜的营养品质。SDB5 菌还能使萝卜根中维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白质、还原性糖、淀粉、纤维素均有不同程度的提高,其中维生素 C、可溶性糖和淀粉含量有了显著或极显著的提高。说明 SDB5 菌与萝卜之间的互作能够改善其营养品质。而 SDB9 菌除了显著提高可溶性蛋白外,还显著降低了还原性糖和纤维素,说明 SDB9 菌能影响了萝卜的营养品质。

在植物生产中,产量与品质本身是一对矛盾,SDB9 菌能显著提高萝卜的产量但对品质有一定的影响。SDB5 菌能稍微提高萝卜的产量但能改善萝卜的营养品质。两种菌在萝卜的栽培中均有其利用价值。

### 4 结论

与对照组相比,SDB9 菌处理下白萝卜的根直径、根鲜重、根干重,根产量、叶鲜重,叶干重,叶含水率均增加,除了根直径和叶含水率外,其余差异显著,根长显著降低,根含水率和株高有降低但差异不显著;SDB5 菌处理下,‘邢育六号’的根直径、根(叶)鲜重、根(叶)干重、根 667 m<sup>2</sup> 产量均增加,除了叶干重外,其余差异均不显著,根 667 m<sup>2</sup> 产量只增加 4%。根长、根含水率、叶含水率和株高稍有降低但差异均不显著。说明两种菌处理下萝卜的根部形状发生改变,根长变短,根直径增大,SDB9 改变的效果更显著;SDB9 菌对萝卜的产量的增加效果要高于 SDB5 菌。

SDB5 菌还能使萝卜根中维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白质、还原性糖、淀粉、纤维素均有不同程度的提高,其中维生素 C、可溶性糖和淀粉含量有了显著或极显著的提高。说明 SDB5 菌与萝卜之间的互作能够改善其营养品质。而 SDB9 菌除了

显著提高可溶性蛋白外,还显著降低了还原性糖和纤维素,说明 SDB9 菌能影响了萝卜的营养品质。

综上所述,SDB9 菌能显著提高萝卜的产量但对品质有一定的影响。SDB5 菌能稍微提高萝卜的产量但能改善萝卜的营养品质。

### 参 考 文 献:

- [1] 刘辰,付卫民,刘贤娟,等.萝卜种质亲缘关系的分子标记分析[J].山东农业科学,2023,55(3):22-29.
- [2] 耿兄,田伟娜,林然,等.萝卜及胡萝卜多糖的生物功能研究进展[J].食品科技,2023,48(2):195-201.
- [3] 张绍丽,段青青,王静静,等.山东地区萝卜高效栽培技术[J].北方园艺,2023(16):156-157.
- [4] 荆锡光.不同肥料处理对萝卜品质的影响[D].泰安:山东农业大学,2022.
- [5] Chen P-H, Chen R-Y, Chou J-Y. Screening and evaluation of yeast antagonists for biological control of *Botrytis cinerea* on strawberry fruits [J]. *Mycobiology*, 2018, 46(1):33-46.
- [6] 刘方春,邢尚军,马海林,等.干旱生境中接种根际促生细菌对核桃根际土壤生物学特征的影响[J].应用生态学报,2014,25(5):1475-1482.
- [7] Mbodj D, Effa-Effa B, Kane A, *et al.* Arbuscular mycorrhizal symbiosis in rice: establishment, environmental control and impact on plant growth and resistance to abiotic stresses[J]. *Rhizosphere*, 2018(8):12-26.
- [8] 王端,姚香梅,叶健.根际微生物-植物-病毒-介体昆虫多元互作研究进展[J].生物技术通报,2018,34(2):54-65.
- [9] 陈晓斌,张炳欣.植物根围促生菌(PGPR)作用机制的研究进展[J].微生物学志,2000,20(1):38-41.
- [10] 代金霞,田平雅,张莹,等.银北盐渍化土壤中6种耐盐植物根际细菌群落结构及其多样性[J].生态学报,2019,39(8):2705-2714.
- [11] 刘丹丹,李敏,刘润进,等.我国植物根围促生细菌研究进展[J].生态学杂志,2016,35(3):815-824.
- [12] 申佳丽,曹树槟,焦甜甜,等.7株根际促生菌对设施小黄瓜生长发育及土壤根际环境的影响[J].甘肃农业大学学报,2021,56(4):51-60+68.
- [13] Bharti N, Barnawal D, Awasthi A, *et al.* Plant growth promoting rhizobacteria alleviate salinity induced negative effects on growth, oil content and physiological status in *Mentha arvensis*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2014(36):45-60.
- [14] 李江,靳艳玲,赵海.根际促生菌对植物生长的影响及其作用机制[J].黑龙江农业科学,2023(10):132-137.
- [15] 艾银婷.沙地柏根际促生细菌的筛选和功能鉴定[D].西安:西北大学,2019(4):209-210.
- [16] 王建武,王永利,相微微,等.玫瑰色考克氏菌 SDB9 及其制备方法和应用.中国, CN111019856B [P]. 2020-11-17.
- [17] 王建武,相微微,王宏梅,等.耐寒短杆菌 SDB5 及其在促进植物生长中的应用 [P]. 中国, CN113373094A. 2021.
- [18] 王建武,相微微,陈花,等.沙地柏根际促生耐寒短杆菌 SDB5 的分离和功能鉴定[J].西北农业学报,2022,31(9):1202-1210.
- [19] 王鹏.两种根际促生菌对马铃薯农艺性状和营养品质的影响[D].榆林:榆林学院,2024.
- [20] 屈香香.玫瑰色考克氏菌 SDB9 对玉米农艺性状及营养品质的影响[D].榆林:榆林学院,2024.
- [21] 齐芳芳.蔬菜中维生素 C 含量测定方法的研究[J].现代食品,2023,29(16):206-208.
- [22] 杨泉女,周权驹,吴松健,等.3,5-二硝基水杨酸法与酶法测定甜玉米还原糖和蔗糖含量的比较[J].中国农业科技导报,2017,19(11):125-131.
- [23] 焦洁.考马斯亮蓝 G-250 染色法测定苜蓿中可溶性蛋白含量[J].农业工程技术,2016,36(17):33-34.
- [24] 张志良.植物生理学试验指导[M].北京:高等教育出版社,1990.
- [25] 张志良,李小方.植物生理学试验指导[M].北京:高等教育出版社,2016.
- [26] 李酉开.紫外分光光度法测定硝酸盐[J].土壤学进展,1983,6(6):46-58.
- [27] 王建武,相微微,王宏梅.玫瑰色考克氏菌 SDB9 和耐寒短杆菌 SDB5 在调控马铃薯中的应用 [P]. 中国, CN114503999A. 2022.
- [28] 李云云,李强,余宏军,等.花期短期低氮处理对黄爪抗坏血酸及可溶性糖含量的影响[J].中国土壤与肥料,2019,19(5):46-52.
- [29] 旷娜,唐启源,郑华斌,等.再生季稻米蛋白质含量与外观、加工品质及营养品质的关系[J].中国粮油学报,2011,26(4):1-7.
- [30] 嘉宝,范国栋,冯武.白萝卜的营养保健功用[J].中国食物与营养,2002,27(2):46-47.
- [31] 鄢海燕,宗倩妮,邹纯才,等.瓜蒌蒸制前后还原糖及总糖的比较研究[J].大理大学学报,2018,3(6):65-68.
- [32] 却志群,易文奇,陈纪鹏,等.番薯还原糖和总糖含量的测定[J].宜春学院学报,2016,38(12):85-88.
- [33] 占绣萍,李建勇,方朝阳,等.蔬菜中硝酸盐、亚硝酸盐残留状况及调控对策[J].上海农业学报,2024,40(2):89-93.