

不同品种生菜施用生物菌肥的生长与品质效应分析

王浩然, 黄广学, 李佳蔚, 郭翼, 王月英*

北京农业职业学院园艺园林学院, 北京

收稿日期: 2025年12月3日; 录用日期: 2026年1月2日; 发布日期: 2026年1月9日

摘要

为减少化学肥料使用并提高生菜品质, 本研究探讨了生物菌肥对不同品种生菜生长与品质的影响。研究选取五个常见生菜品种, 在常规种植基础上增施生物菌肥, 通过感官品尝、植株测量和营养成分分析进行综合评价。结果表明, 5个生菜品种的口感综合表现存在明显差异, 其中“北散生2号”的口感和外观认可度最高; 施用菌肥能显著促进多数生菜的生长, 提高单株重量, 尤其使“北散生2号”产量实现翻倍; 但对营养品质的影响因品种而异, 部分品种的维生素C含量下降, 而 β -胡萝卜素和膳食纤维含量有所提升。综合来看, “北散生2号”和“射手101”对菌肥响应最佳, 在产量和综合品质上表现突出。本研究说明生物菌肥可作为生菜绿色生产的有效手段, 但其效果依赖品种特性, 且生产中应当遵循“生物菌肥 + 减施化肥(氮肥)”的策略, 同时在实际应用中应优选适配品种。

关键词

生菜, 生物菌肥, 品种筛选, 生长指标, 营养品质

Analysis on Growth and Quality Effects of Different Varieties of Lettuce Applying Biological Bacterial Fertilizer

Haoran Wang, Guangxue Huang, Jiawei Li, Yi Guo, Yueying Wang*

College of Horticulture and Landscape Architecture, Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing

Received: December 3, 2025; accepted: January 2, 2026; published: January 9, 2026

*通讯作者。

文章引用: 王浩然, 黄广学, 李佳蔚, 郭翼, 王月英. 不同品种生菜施用生物菌肥的生长与品质效应分析[J]. 农业科学, 2026, 16(1): 67-74. DOI: 10.12677/hjas.2026.161010

Abstract

In order to reduce the use of chemical fertilizers and improve the quality of lettuce, this study discussed the effects of biological bacterial fertilizers on the growth and quality of different varieties of lettuce. In this study, five common lettuce varieties were selected, and biological bacterial fertilizer was added on the basis of conventional planting, and a comprehensive evaluation was made through sensory taste, plant measurement and nutrient composition analysis. The results showed that there were obvious differences in the overall taste performance of five lettuce varieties, among which "Beisansheng No.2" had the highest recognition of taste and appearance. The application of bacterial fertilizer can significantly promote the growth of most lettuce, increase the weight of each plant, and especially double the yield of "Beisansheng No.2". However, the effect on nutritional quality varies from variety to variety. The content of vitamin C in some varieties decreases, while the content of β -carotene and dietary fiber increases. On the whole, "Beisansheng No.2" and "Shooter No.101" have the best response to bacterial fertilizer, and they are outstanding in yield and comprehensive quality. This study shows that biological bacterial fertilizer can be used as an effective means of green production of lettuce, but its effect depends on the characteristics of varieties, and the strategy of "biological bacterial fertilizer + reducing chemical fertilizer (nitrogen fertilizer)" should be followed in production, and suitable varieties should be optimized in practical application.

Keywords

Lettuce, Microbial Fertilizer, Variety Screening, Growth Index, Nutritional Quality

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生菜(*Lactuca sativa* L. var. *ramosa* Hort.)是菊科一年生蔬菜作物，是全球食用最多的蔬菜之一，因其具有食用和药用价值而受到高度重视[1]。近年来，由于生菜口感鲜美，生长周期短，产量高，栽培面积的逐年扩大，已经成为了我国人民喜爱的蔬菜之一。同时，由于其兼顾生长周期短、复种指数高、生长均匀整齐、商品率高等优点而在生产中备受青睐，在城市蔬菜自给率和周年供应中，占有重要的地位[2]。

生物菌肥，又称生物肥料、微生物肥料[3]，是指一类通过生物技术手段生产或带有一定生物活性的新型活体肥料，被应用于农业生产中，被认为是化学肥料的有效替代品[4]。李玉奇等人对温室黄瓜施加微生物菌肥的效果做了研究，结果表明茎粗、叶面积指数、叶片数等都有一定程度的提高，品质改善良好，收益大幅度增加[5]。根据谢静静的研究，不结球白菜育苗时基质内加入生物菌肥，能够有效增加株高与叶长；生长期施加则可进一步提升植株高度、鲜重与干物质积累，改善整体生长状况[6]。此外，生物菌肥除了能够促进植株增产，还能够积累无机离子、合成渗透调节物质，参与调节植物体内渗透平衡从而补偿盐胁迫对植物造成的损伤[7]；卿晨等的研究表明解磷菌和丛枝真菌菌根复合微生物菌肥可以提高玉米苗期抗旱性[8]。

当前有关生物菌肥对不同品种生菜的多角度促进作用报道较少，在本研究中我们对不同生菜品种进行感官综合评价，通过额外施加生物菌肥，分析植株各项形态及品质指标。最终我们发现生物菌肥能够促进生菜植株营养指标积累，对品质指标存在不同的影响作用，为设施生菜生产配施生物菌肥、较少化

学肥料使用、提质增产提供一定的基础和思路。

2. 材料与方法

2.1. 供试材料

本试验共采用 5 份生菜品种, 包括绿色散叶、绿色结球、紫色散叶三种类型。其中“射手 101”购自北京开心格林农业科技有限公司, 其余品种均为北京农业职业学院园艺园林学院生菜课题组收集繁育, 详见表 1。试验中所用生物菌肥由中国农业科学院蔬菜花卉研究所石延霞研究员课题组提供, 其主要有效成分为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*)及胶冻样芽孢杆菌(*Bacillus mucilaginosus*)。

Table 1. Experimental material

表 1. 供试材料

序号	品种名称	品种类型
1	北散生 2 号	绿色散叶
2	北生 4 号	绿色结球
3	北紫生 8 号	紫色散叶
4	射手 101	绿色散叶
5	冰山 117	绿色散叶

2.2. 试验时间、地点

本试验于 2023 年 8 月至 2023 年 11 月在北京农业职业学院绿色科技园日光温室进行。

2.3. 试验方法

2.3.1. 感官评价

在采收前 5 个参试生菜品种的田间品鉴实验中, 随机选取 15 名年龄、性别、职业背景各异的调查对象, 分别从脆度、甜度、口感整体喜好度和外观喜好度 4 个方面进行感官评价。采用隶属函数法对各项指标进行标准化处理, 计算各品种的综合隶属度。

2.3.2. 处理设置

2023 年 8 月 18 日播种, 所有品种均采用 72 孔穴盘播种育苗。待幼苗长至 4 叶 1 心期后, 选择长势相近的幼苗于日光温室内按株行距 25 cm × 25 cm 高畦双行定植, 覆地膜铺设滴灌管带。定植前施用有机肥 16 kg/hm²。每个处理进行 3 次重复, 每个重复种植 2 畦。

试验分为对照组(对照)与加施生物菌肥处理组(菌肥)。对照组进行正常水肥管理, 定植后 1 周追施少量速效氮肥; 在结球初期或莲座期再追施 1 次氮肥; 在产量形成中期, 追施少量氮肥。生物菌肥处理组自定植后每 15 d 随水施加生物菌肥 500 mL, 待 20 min 滴灌结束后用清水冲洗浇水管 5 min [9]。

2.3.3. 指标测定

于采收当天在田间测量植株的形态指标, 根据李锡香的《莴苣种质资源描述规范和数据标准》[10]测定株高、展幅和叶片数。定植后 45 d 田间取样检测各品质指标, 采用 2,6-二氯靛酚滴定法测定 L(+)抗坏血酸总量[11], 酶重量法测定样品中可溶性膳食纤维[12], 离子色谱法测定硝酸盐[13], β -胡萝卜素采用高效液相色谱法进行检测[14]。

2.3.4. 数据整理与分析

使用 Excel 软件整理计算试验数据, 使用 SPSS 软件对试验数据进行隶属函数分析与显著性差异分析。

3. 结果与分析

3.1. 不同生菜品种间的感官评价

利用隶属函数法对不同生菜品种的感官品尝结果进行分析。如表 2 所示, 分析结果表明 5 个生菜品种的综合隶属度介于 0.19~0.83 之间, 品种间差异明显。“北散生 2 号”的综合隶属度最高, 达 0.83, 其在甜度、口感喜好度和外观喜好度方面表现优异, 显示出良好的综合品质和消费者接受度。“射手 101”排名第 2, 综合隶属度为 0.70。该品种在脆度方面表现最为突出, 表明其质地特性受到认可, 但外观喜好度相对较低, 一定程度上影响了最终排名。“北紫生 8 号”和“冰山 117”分别位列第 3 和第 4, 综合隶属度分别为 0.25 和 0.24, 两者分属紫叶和绿叶生菜, 但不同年龄人群评价较为一致。在甜度和外观方面表现中等, 但脆度与口感整体评价较为一般。“北生 4 号”的综合隶属度最低, 为 0.20, 排名第 5, 其在脆度与甜度方面得分较低, 是影响其综合表现的主要因素。

Table 2. Sensory evaluation of lettuce varieties

表 2. 生菜品种间感官评价

品种	脆度	甜度	口感喜好度	外观喜好度	综合隶属度	综合排名
北散生 2 号	2.07	1.00	1.87	1.73	0.8280	1
北生 4 号	1.53	0.33	1.27	1.60	0.1958	5
北紫生 8 号	2.00	0.33	1.33	1.47	0.2521	3
射手 101	2.87	0.87	1.93	1.13	0.7015	2
冰山 117	2.67	0.33	1.27	1.20	0.2419	4

3.2. 生物菌肥对不同生菜品种的形态指标影响

不同生菜品种对生物菌肥的响应具有一定差异, 总体来看, 施用生物菌肥后各品种的株高和展幅均较未施菌肥处理有所增加, 表现出一定程度的生长促进作用(表 3)。在株高方面, 除“冰山 117”外, 菌肥处理组较对照组均出现极显著水平的增加($P < 0.01$), “北散生 2 号”、“北生 4 号”、“北紫生 8 号”及“射手 101”的株高分别提高了约 29.6%、18.9%、15.6% 和 15.7%, 差异均达到显著水平, 而“冰山 117”株高虽有一定增加(提高 7.8%), 但差异不显著。

在展幅方面, 生物菌肥的施用显著促进了所有参试品种的展幅增长。其中“射手 101”对生物菌肥的响应最为敏感, 展幅增加了 11.34 cm, 增加比例接近 30.4%。“北紫生 8 号”与“北生 4 号”展幅也分别增加了 4.67 cm 和 5.67 cm, 显示其对菌肥具有较强的形态响应能力。值得注意的是, 尽管“北散生 2 号”的展幅增幅仅为 2.67 cm, 但其整体表现最趋稳定, 不同处理间变异较小, 表明该品种在形态调控上对外源调节因子具备较强的适应性。

表 4 结果显示, 生物菌肥对叶片数和单株重的影响因品种而异。在叶片数方面, “北散生 2 号”、“北生 4 号”和“射手 101”在施用菌肥后叶片数显著增加, 增幅分别为 36.0%、32.9% 和 16.1%; 而“北紫生 8 号”和“冰山 117”的叶片数虽有增加趋势, 但未表现出统计学显著性。单株重是能够直接反映生物菌肥补偿效果的关键指标, 而生物菌肥的施用对绝大多数品种的产量指标产生了显著的积极影响。除北生 4 号外, 其余四个品种的单株重在施用菌肥后均显著提高, 其中“北散生 2 号”的增长最为惊人,

从 303.67 g 显著提高至 618.67 g, 增幅达 103.7%; 而“北紫生 8 号”、“射手 101”、“冰山 117”的增幅也分别达到 56.2%、14.0% 和 31.7%, 仅“北生 4 号”单株重表现为不显著的少量增加。

Table 3. Difference in plant height and width among varieties under different treatments
表 3. 不同处理下各品种株高、展幅差异

参试品种	株高(cm)		展幅(cm)	
	对照	菌肥	对照	菌肥
北散生 2 号	16.33 ± 0.29b	21.17 ± 0.76a	36.00 ± 1.00b	38.67 ± 1.15a
北生 4 号	15.50 ± 0.50b	18.43 ± 0.31a	38.67 ± 1.15b	44.33 ± 0.58a
北紫生 8 号	20.17 ± 0.76b	23.33 ± 0.76a	38.33 ± 1.53b	43.00 ± 1.00a
射手 101	22.33 ± 0.29b	25.83 ± 0.76a	37.33 ± 2.08b	48.67 ± 2.08a
冰山 117	17.17 ± 0.29a	18.50 ± 1.50a	30.67 ± 1.15b	35.67 ± 1.53a

综合来看, 生物菌肥的施用对生菜的多项形态指标具有普遍的显著促进作用, 但不同生菜品种对生物菌肥的响应程度存在差异。“北散生 2 号”在株高、叶片数和单株重方面的增幅均表现突出, 而“射手 101”则在展幅方面响应最为显著。部分品种如“冰山 117”和“北紫生 8 号”在某些指标上(如株高和叶片数)对生物菌肥的响应不显著, 而“北生 4 号”在单株重方面未表现出显著的增产效应。

Table 4. Difference in leaf number and plant weight among varieties under different treatments
表 4. 不同处理下各品种叶片数、单株重差异

参试品种	叶片数		单株重(g)	
	对照	菌肥	对照	菌肥
北散生 2 号	34.33 ± 1.53b	46.67 ± 2.08a	303.67 ± 14.05b	618.67 ± 14.57a
北生 4 号	27.33 ± 0.58b	36.33 ± 0.58a	502.33 ± 21.01a	530.67 ± 2.52a
北紫生 8 号	32.67 ± 1.53a	34.00 ± 1.00a	369.33 ± 3.06b	577.00 ± 9.64a
射手 101	22.67 ± 0.58b	26.33 ± 0.58a	591.00 ± 12.53b	673.67 ± 17.01a
冰山 117	26.67 ± 0.58a	27.67 ± 1.15a	300.33 ± 3.51b	395.67 ± 15.14a

3.3. 生物菌肥对不同生菜品种的品质指标影响

如表 5 所示, 施用生物菌肥后, 所有生菜品种的 L(+) - 抗坏血酸总量均表现出普遍下降, 且降幅在处理间存在显著差异。在这一变化过程中, “北生 4 号”的响应最为敏感, L(+) - 抗坏血酸总量从未施菌肥的 11.50 mg/100g 降至 4.35 mg/100g, 降低幅度达 62.2%; 而“射手 101”则表现相对稳定, 仅降低了 9.8%。

与此同时, 生物菌肥对可溶性膳食纤维含量的影响则呈现相反的规律。除“北生 4 号”未达到显著差异外, 其余 4 个品种在施菌肥后均表现出显著提高。“北散生 2 号”、“北紫生 8 号”、“射手 101”和“冰山 117”分别增加了 8.6%、36.9%、9.2% 和 10.3%, 其中“北紫生 8 号”的提升幅度最大。

对硝酸盐含量分析表明, 施用生物菌肥导致生菜体内亚硝酸盐含量增加, 并且存在较大的品种差异(表 6)。“北散生 2 号”和“射手 101”在施用菌肥后硝酸盐含量明显上升, 分别增加了 48.5% 和 50.8%; “北生 4 号”略有升高但增幅较小(7.8%); 而“北紫生 8 号”和“冰山 117”在两个处理间未呈现显著性增加, 表明其氮素代谢可能对菌肥干预具有较强稳定性。

生物菌肥处理对参试生菜品种 β -胡萝卜素含量的影响呈现差异化调控效应。菌肥处理显著提升了“北

“散生 2 号”、“北生 4 号”和“北紫生 8 号”的 β -胡萝卜素含量，分别较对照增加了 39.9%、57.1% 和 32.1%，其中“北生 4 号”的增幅最为显著。同时，“冰山 117”在施用菌肥后 β -胡萝卜素含量显著降低了 21.7%，呈现出与其他品种相反的响应趋势，表明菌肥对 β -胡萝卜素积累的调控作用具有品种特异性，其作用方向及幅度因基因型差异而不同。

Table 5. Contents of L(+) ascorbic acid and soluble dietary fiber in different varieties under different treatments
表 5. 不同处理下各品种 L(+) 抗坏血酸总量、可溶性膳食纤维含量

参试品种	L(+) 抗坏血酸总量(mg/100g)		可溶性膳食纤维(g/100g)	
	未施菌肥	施菌肥	对照	菌肥
北散生 2 号	8.99 \pm 0.12a	7.33 \pm 0.04b	0.372 \pm 0.011b	0.404 \pm 0.003a
北生 4 号	11.50 \pm 0.10a	4.35 \pm 0.07b	0.345 \pm 0.007a	0.356 \pm 0.012a
北紫生 8 号	8.47 \pm 0.06a	5.83 \pm 0.07b	0.358 \pm 0.006b	0.490 \pm 0.010a
射手 101	11.20 \pm 0.24a	10.10 \pm 0.11b	0.390 \pm 0.003b	0.426 \pm 0.009a
冰山 117	7.68 \pm 0.21a	5.60 \pm 0.18b	0.380 \pm 0.004ab	0.419 \pm 0.002a

Table 6. Contents of nitrate and β -carotene in different varieties under different treatments

表 6. 不同处理下各品种硝酸盐、 β -胡萝卜素含量

参试品种	硝酸盐($\mu\text{g/g}$)		β -胡萝卜素($\mu\text{g}/100\text{g}$)	
	对照	菌肥	对照	菌肥
北散生 2 号	2.31 \pm 0.10a	3.43 \pm 0.06b	746.00 \pm 27.77b	1043.12 \pm 12.63a
北生 4 号	1.41 \pm 0.01a	1.52 \pm 0.02b	950.67 \pm 8.10b	1493.00 \pm 3.62a
北紫生 8 号	3.45 \pm 0.13a	3.44 \pm 0.12a	1273.46 \pm 14.85b	1682.40 \pm 3.51a
射手 101	3.33 \pm 0.07a	5.02 \pm 0.21b	1894.39 \pm 9.08a	1844.82 \pm 10.16a
冰山 117	6.51 \pm 0.25a	6.64 \pm 0.06a	1958.40 \pm 31.85a	1532.90 \pm 11.32b

4. 讨论

过去几十年间，随着“菜篮子”工程的持续推进，蔬菜产业的规模和质量都大幅提高，设施蔬菜产业增长迅速[15]。为实现高产，设施蔬菜种植中会投入更多肥料，提高复种指数，导致土壤理化性质变差、连作障碍等问题频发，严重制约设施蔬菜的产量与品质[16]。配施生物菌肥能够增加土壤中微生物的数量，促进作物生长发育，对土壤中的矿质元素具有固定作用[17]。

生菜作为高价值叶类蔬菜的代表，生产中需肥量大，茬口安排紧凑[18]，加之喜冷凉的特点使得其设施栽培占比日益增加，肥料危害也更为显著。为解决化学肥料过度使用对土壤造成的危害，微生物菌肥的研发成为研究热点[19]。本研究系统评价了不同生菜品种的感官品质及其对生物菌肥的形态、产量和品质响应。结果表明，品种间的差异显著影响菌肥效应，菌肥虽然总体促进了植株生长和产量，但对营养品质的调控呈现出复杂且品种特异性的结果，这种形态指标与营养品质的非同步变化揭示了产量与品质间的权衡关系。

生物菌肥对生菜生长性状表现出普遍的促进作用，尤其显著提高了株高、展幅和单株重，这与前人研究所述菌肥改善根系发育、促进养分吸收的机制相符。有学者发现微生物菌肥可以使雪茄烟苗根系活力显著增强 57.23%，根长延长 60.47% [20]，李艾兰等对温室青椒冲施生物菌肥，能够加快植株生长进程，提早开花坐果，提升其连续坐果能力[21]。然而，不同参试品种的响应程度差异显著，例如“北散生

2号”在单株重上实现了翻倍增长，而“北生4号”则未表现出显著增产。这种差异很可能源于不同品种根系构型、养分吸收效率以及与特定菌株互作能力的固有遗传特性。这表明，生物菌肥的增产效果并非普适性的，其在生产中的应用需考虑品种匹配性。

同时我们观察到，菌肥在提升多数品种 β -胡萝卜素和可溶性膳食纤维含量的同时，普遍导致了L(+)-抗坏血酸(维生素C)含量的下降，并引发了部分品种硝酸盐的积累。这一现象可能暗示着一种代谢资源的重新分配：菌肥诱导的旺盛生长调节碳代谢从而促进结构性物质的积累[22]，促进溶性膳食纤维积累的同时消耗了大量的碳架和还原力，可能挤占了维生素C合成通路所需的前体与能量。同时，微生物促进的氮素矿化与吸收，若未能被碳同化过程充分匹配，则可能导致硝酸盐在体内的暂时累积。硝酸盐作为潜在的食品安全指标，其积累可能与菌肥增强土壤氮素矿化与植株氮吸收能力有关，而植株体内硝酸还原酶活性未能同步提升，导致硝酸盐未能充分转化为氨基酸与蛋白质。值得注意的是，这种硝酸盐的额外积累和单株重的高水平增加在其它作物中是不常见的，我们猜测一方面可能是由于生菜对氮素的高需求、高吸收速率和快速生长，导致硝酸盐随着被活化的根系被大量吸收；另一方面可能是由于我们在施加生物菌肥的同时并未减少氮肥的使用，不正确的比例扰乱了植株营养成分的积累，在过去的研究中也有这样的现象被发现[23]。

基于综合数据分析，“北散生2号”和“射手101”是施用生物菌肥的最佳品种。“北散生2号”因其对菌肥响应最为全面：单株重量激增、关键营养品质显著提升、具有最高的感官评分，成为高产优质的首选。其次是“射手101”，其优势在于生长稳健与品质平衡：菌肥促进其展幅大幅增加，单株重也实现了显著提升，尤为重要的是在品质指标中表现最稳定，维生素C降幅最小，实现了产量与营养价值的良好兼顾。

综上，生物菌肥对生菜的效应具有明显的品种依赖性，其可以作为提高生菜生物量的有效策略，但对品质的影响是多维且具备品种特异性的。在实际应用中，需根据目标品质性状筛选适宜的优势品种-菌肥组合，以实现产量与特定品质指标的协同优化。根据GB2762-2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中对叶菜类蔬菜硝酸盐的限量参考，本研究中所有处理的硝酸盐含量虽未超标，但其上升趋势提示在实际生产中需加以调控。为兼顾产量提升与食用安全，建议在施用生物菌肥的同时，适当降低化学氮肥用量，或调整菌肥施用时间与频率，避免生育后期过量供氮；此外，可适当延长采收前氮肥停用期，促进硝酸盐在植株体内的转化与代谢，从而在保障产量的同时优化营养品质。在后续的研究中，我们将针对生物菌肥-化肥施加比例进行进一步深入研究，从栽培技术角度出发，探索适宜的生物菌肥施用方法。

基金项目

现代农业产业技术体系北京市智能温室蔬菜创新团队农职院综合试验站(T3348671)。

参考文献

- [1] Assefa, A.D., Choi, S., Lee, J., Sung, J., Hur, O., Ro, N., et al. (2019) Identification and Quantification of Selected Metabolites in Differently Pigmented Leaves of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Cultivars Harvested at Mature and Bolting Stages. *BMC Chemistry*, **13**, Article No. 56. <https://doi.org/10.1186/s13065-019-0570-2>
- [2] 火国涛, 葛国军, 张兆辉, 等. 莴苣种质资源耐热鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(3): 637-653.
- [3] 王粉莲, 苏利民, 王萍, 等. 生物肥料在国内外的研究现状[J]. 内蒙古农业科技, 2010(6): 74-75.
- [4] Shi, Y., Liu, X., Zhang, Q., Gao, P. and Ren, J. (2019) Biochar and Organic Fertilizer Changed the Ammonia-Oxidizing Bacteria and Archaea Community Structure of Saline-Alkali Soil in the North China Plain. *Journal of Soils and Sediments*, **20**, 12-23. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02364-w>
- [5] 李玉奇, 辛世杰, 奥岩松. 微生物菌肥对温室黄瓜生长、产量及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(1): 259-

- 263.
- [6] 谢静静. 化肥减量配施生物菌肥对不结球白菜生长及产量和品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2015.
 - [7] Zawoznik, M.S., Ameneiros, M., Benavides, M.P., Vázquez, S. and Groppa, M.D. (2011) Response to Saline Stress and Aquaporin Expression in Azospirillum-Inoculated Barley Seedlings. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **90**, 1389-1397. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3162-1>
 - [8] 卿晨, 刘正学, 李彦杰. 转录组测序分析干旱胁迫下复合微生物菌肥对玉米幼苗抗旱性的影响[J]. 作物杂志, 2024(3): 32-39.
 - [9] 高逸, 杨悦, 易欣欣, 等. 设施生菜种植与 T1 菌肥处理对土壤微生物群落的影响[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(6): 57-66.
 - [10] 李锡香, 王海平. 莴苣种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 12-16.
 - [11] 徐朝阳. 2,6-二氯酚靛酚滴定法与碘量法测定蔬菜水果中维生素C方法的准确度比较[J]. 食品安全导刊, 2021(25): 100-101.
 - [12] 汪红, 祁玉峰, 魏红. 酶重量法测定食品中膳食纤维含量方法的改进[J]. 食品工业科技, 2007, 28(9): 3.
 - [13] 王素燕, 肖华西. 蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐的测定及含量分析[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(17): 87-89.
 - [14] 郑良珺, 陈倩, 郑仁锦. HPLC 法测定蔬菜中 α -胡萝卜素和 β -胡萝卜素的前处理方法优化[J]. 海峡药学, 2024, 36(9): 24-28.
 - [15] 梅秀臣. 论我国蔬菜产业发展的对策研究[J]. 北京农业, 2012(12): 155.
 - [16] 刘凤淮, 文廷刚, 杜小凤, 等. 蔬菜连作障碍因子分析及其防治措施[J]. 江西农业学报, 2008(5): 41-43.
 - [17] 李庆, 王洲章, 张欢欢, 等. 四株植物根际促生菌对设施番茄土壤氧化亚氮排放的影响[J]. 南京信息工程大学学报, 2025, 17(3): 443-454.
 - [18] 李占台. 京郊设施蔬菜园区生产现状与液体肥应用评价[D]: [硕士学位论文]. 张家口: 河北北方学院, 2019.
 - [19] 谢明杰, 程爱华, 曹文伟. 我国微生物肥料的研究进展及发展趋势[J]. 微生物学杂志, 2000(4): 42-45.
 - [20] Shang, X., Fu, S., Guo, X., Sun, Z., Liu, F., Chen, Q., et al. (2023) Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Microbial Fertilizer Changes Soils' Microbial Structure and Promotes Healthy Growth of Cigar Tobacco Plants. *Agronomy*, **13**, Article No. 2895. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122895>
 - [21] 李艾兰, 周广俊, 宋利云, 等. 生物菌肥在大棚青椒栽培中应用效果研究[J]. 现代农业, 2018(8): 16-17.
 - [22] 苏宏, 田淑芬, 商佳胤, 等. SS31 菌肥对玫瑰香葡萄土壤微生物代谢及叶片荧光特性的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2023, 45(3): 285-297.
 - [23] 任瑞敏. 山芹菜人工栽培密度筛选及施用微生物菌肥效应研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林农业大学, 2024.