

不同新型肥料对大蒜生长、产量以及品质的影响

牛雪婷^{1,2}, 刘彬彬^{1,2}, 陈书霞¹, 惠麦侠¹, 刘汉强¹, 汪淑芬^{1,2}

(1 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100;

2 作物抗逆与高效生产全国重点实验室(西北农林科技大学), 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】研究不同种类新型肥料对大蒜生长、产量和品质的影响, 可为实现陕西关中产区大蒜产量品质的定向调控提供理论依据。【方法】2024—2025 年, 以陕西主栽大蒜品种“改良蒜”为试验材料, 采用大田试验, 共设置 12 个处理, 分别为施用常规化肥(CK), 腐殖酸促生根专用水溶肥追施(T1), 矿源黄腐酸钾肥料追施(T2), 多元素含氨基酸水溶肥追施(T3), 中微量元素水溶肥追施(T4), 欢能生物菌肥防根腐套餐追施(T5), 欢能生物菌肥防根腐套餐基施+追施(T6), 欢能生物菌肥防根腐套餐基施(T7), 鱼蛋白氨基酸水溶肥追施(T8), 中科化工微生物菌剂复合型肥基施+追施(T9), 中科化工微生物菌剂复合型肥追施(T10), 中科化工微生物菌剂复合型肥基施(T11), 比较不同肥料对大蒜生长、产量以及蒜叶、蒜薹和鳞茎营养品质的影响。【结果】12 个处理中, 腐殖酸类肥料(T1、T2)处理大蒜植株的株高、假茎高分别提高了 12.62%, 14.91%, 假茎粗、叶宽总体较高。与 CK 相比, 不同新型肥料使大蒜鳞茎产量提高了 1.63%~11.85%, 其中 T3 处理鳞茎横径、纵径和单头质量总体较大, 产量增幅最大, 为 11.85%。不同新型肥料均能不同程度提高蒜叶、蒜薹、鳞茎抗坏血酸、可溶性糖、可溶性蛋白、大蒜素含量等营养品质, 其中 T6 处理对蒜叶以及蒜薹营养品质的促进作用综合表现最优, 与 CK 相比, 其蒜叶和蒜薹大蒜素含量分别显著提高了 33.69%, 29.20%; T9 处理在提升鳞茎营养方面综合表现最优, 与 CK 相比, 其可溶性蛋白、抗坏血酸、大蒜素含量分别显著提高了 27.11%, 60.65%, 19.90%。【结论】不同新型肥料对大蒜生长、产量及品质有明显影响, 在实际应用中可根据生产目的选用特定种类新型肥料或其组合进行定向调控, 以达到大蒜高产优质和资源高效利用的目的。

[关键词] 大蒜; 新型肥料; 产量; 营养品质; 经济效益

[中图分类号] S633.4

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2027)03-0041-10

Effects of different new-type fertilizers on garlic growth, yield and quality

Niu Xueting^{1,2}, Liu Binbin^{1,2}, Chen Shuxia¹, Hui Maixia¹, Liu Hanqiang¹, Wang Shufen^{1,2}

(1 College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 State Key Laboratory of Crop Stress Resistance and High-Efficiency Production, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】This study aims to investigate the effects of different new-type fertilizers on garlic growth, yield, and quality, thereby providing a theoretical basis for targeted regulation of garlic yield and quality in the Guanzhong area of Shaanxi Province. 【Method】The field experiment was conducted from 2024 to 2025 using the major garlic cultivar ‘Gailiangsuan’ in Shaanxi. With conventional basal fertilizer applied, 12 fertilizer treatments were established: conventional fertilizer (CK), topdressing with humic acid water-soluble fertilizer special for promoting root growth (T1), topdressing with mineral-derived potassium fulvate (T2), topdressing with multi-element amino acid water-soluble fertilizer (T3), topdressing with medium and trace element water-

[收稿日期] 2026-01-14 [修回日期] 2026-03-20

[基金项目] 国家重点研发计划项目(2023YFD1600202)

[作者简介] 牛雪婷(2001—), 女, 内蒙古清水河人, 在读硕士, 主要从事蔬菜栽培生理生态研究。E-mail: 2024055300@nwafu.edu.cn

[通信作者] 汪淑芬(1986—), 女, 湖北嘉鱼人, 讲师, 博士, 主要从事油菜素内酯信号转导调控植物生长发育机理研究。E-mail: shufenwang@nwafu.edu.cn

soluble fertilizer (T4), topdressing with Huaneng bio-fertilizer for prevent root rot (T5), basal and topdressing with Huaneng bio-fertilizer for prevent root rot (T6), basal application with Huaneng bio-fertilizer for prevent root rot (T7), topdressing with fish protein and amino acid water-soluble fertilizer (T8), compound basal and topdressing with Zhongke chemical microbial agent (T9), topdressing with Zhongke chemical microbial agent (T10) and basal application with Zhongke chemical microbial agent (T11). The effects of these fertilizers on garlic growth, yield, and the nutritional quality of leaves, bolts, and bulbs were compared. 【Result】 Among the 12 treatments, humic acid fertilizers (T1, T2) increased plant height and pseudostem height of garlic by 12.62% and 14.91%, respectively, and pseudostem diameter and leaf width were generally higher. Compared with CK, different new-type fertilizers increased bulb yield of garlic by 1.63%—11.85%. Among all treatments, T3 presented generally larger bulb transverse diameter, longitudinal diameter and single bulb weight, with the maximum yield increase of 11.85%. All treatments improved the nutritional quality of garlic leaves, bolts and bulbs to varying degrees, including the contents of ascorbic acid, soluble sugar, soluble protein and allicin. T6 exhibited the best comprehensive effect on the nutritional quality of garlic leaves and bolts, with their allicin content significantly increased by 33.69% and 29.20%, respectively, compared with CK. T9 achieved the optimal effect on bulb nutrition, raising soluble protein, ascorbic acid and allicin contents significantly by 27.11%, 60.65% and 19.90% relative to CK. 【Conclusion】 Different new-type fertilizers exert remarkable effects on garlic growth, yield, and quality. In practical production, targeted regulation can be realized by selecting appropriate types or combinations of these fertilizers based on production objectives, so as to achieve high yield, good quality and efficient resource utilization of garlic.

Key words: *Allium sativum*; new-type fertilizer; yield; nutritional quality; economic benefits

蒜 (*Allium sativum*) 是具有调味、抗氧化、杀菌、降血脂等多重生理功能的重要蔬菜作物^[1]。中国是全球最大的大蒜生产国, 种植面积于 2025 年已达 792 000 hm², 预计 2026 年增至 800 000 hm², 大蒜也成为我国出口竞争力最强的蔬菜之一^[2]。

为追求更高收益, 蒜农普遍长期连作且过量施肥, 但过量施用化肥导致土壤板结、酸化、盐渍化, 地力持续衰退^[3]。研究表明, 长期施用化肥可使土壤 pH 明显下降^[4], 氮、磷等养分通过径流流失, 加剧农业面源污染^[5]。此外, 化肥连年施用还会抑制有益土壤微生物活性, 降低微生物多样性, 成为连作障碍的主要诱因^[6]。还有研究显示, 连作根际土壤水浸液对作物种子萌发和幼苗生长具有一定的自毒效应, 且连作年限越长自毒效应越强^[7]。为了解决大蒜生产中化肥施用不当以及连作障碍的问题, 需要引入和推广具有改良土壤、精准补充养分功能的新型肥料以实现绿色增产增效。

新型肥料种类丰富, 其中有机肥、生物有机肥可抑制病原真菌, 缓解连作障碍; 微生物肥料不仅能抑制致病菌, 分解自毒物质, 提高作物抗逆性^[8], 还可提高作物可溶性糖、可溶性蛋白含量^[9]; 腐殖酸、黄腐酸钾等可增强土壤缓冲能力, 降低土壤盐碱化风险^[10]。研究发现, 尿素配施氨基酸水溶肥可

促进养分吸收, 提高生菜产量及可溶性蛋白、糖和维生素 C 含量^[11]; 锌等中微量元素肥料能增强番茄光合性能、代谢酶活性及抗逆性^[12]。因此, 应用新型肥料已成为实现农业可持续发展和保障食品安全的必然趋势。

尽管新型肥料研究日益增多, 但多聚焦单一肥料类型, 缺乏系统比较不同种类新型肥料对大蒜产量和品质影响的研究。为此, 本研究以关中地区“改良蒜”为材料, 系统比较腐殖酸水溶肥、矿源黄腐酸钾、氨基酸水溶肥、中微量元素水溶肥及生物菌肥等对大蒜产量和品质的影响, 旨在筛选出适宜陕西关中地区的高效环保新型肥料, 以克服传统肥料弊端, 为大蒜产量和品质的协同提升提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

大蒜田间试验于 2024—2025 年在陕西省杨凌示范区西北农林科技大学杨凌综合试验示范站进行, 该地区位于东经 107°57′, 北纬 34°18′, 海拔 543 m, 年平均气温 13℃, 属于温带季风半湿润气候, 年平均降雨量 635.1~663.9 mm, 无霜期 211 d。大田土壤为黏壤土, 耕层 (0~20 cm) 土壤理化性质为: pH 8.15, 有机质 14.98 g/kg, 碱解氮 39.49 mg/kg,

有效磷 46.88 mg/kg,速效钾 301.33 mg/kg。

1.2 试验材料

本试验选用陕西主栽品种“改良蒜”。供试常规肥料有:根力多生物有机肥(有机质≥40%,小分子有机碳≥2%),河北根力多生物科技股份有限公司生产;硫酸钾复合肥((N+P₂O₅+K₂O)≥45%,*m*(N):*m*(P₂O₅):*m*(K₂O)=17:17:17),山东金正大生态工程集团股份有限公司生产;大量元素水溶肥((N+P₂O₅+K₂O)≥60%,*m*(N):*m*(P₂O₅):*m*(K₂O)=20:20:20),山东金正大生态工程集团股份有限公司生产。供试新型肥料包括:福进门腐殖酸促生根专用水溶肥(悬浮剂,(N+P₂O₅+K₂O)质量浓度≥200 g/L,腐殖酸质量浓度≥30 g/L),河南省强生农业科技发展有限公司生产;史丹利矿源黄腐酸钾肥料(矿源黄腐酸≥50%,K₂O≥12%),山东史丹利化肥股份有限公司生产;杜高鱼蛋白氨基酸水溶肥(水剂,游离氨基酸质量浓度为 120 g/L),深

圳市杜高生物新技术有限公司生产;多元素含氨基酸水溶肥(复合氨基酸≥35%),山东苍远生物科技有限公司生产;中微量元素水溶肥((钙+镁)≥10%、硫≥10%、铁≥0.1%、铜≥0.05%、锌≥0.2%、硼≥0.2%、锰≥0.05%、硅≥0.001),河北宁奥生物科技有限公司生产;欢能生物菌肥防根腐套餐(含枯草芽孢杆菌、哈茨木霉菌),青岛欢能生物科技有限公司生产;中科化工微生物菌剂复合型肥(含枯草芽孢杆菌、胶冻样类芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、解淀粉类芽孢杆菌),郑州中科化工产品有限公司生产。土壤杀虫剂:辛硫磷(颗粒剂,辛硫磷 3%),四川乐山新路化工有限公司生产。

1.3 试验设计

试验所用大蒜于 2024 年 9 月 16 日统一播种,株距 10 cm,行距 30 cm,种植密度为 330 000 株/hm²。试验共设置 12 个处理,包括 11 个新型肥料处理(T1~T11)和 1 个对照处理(CK),各处理方案见表 1。

表 1 不同新型肥料施用处理试验方案
Table 1 Experimental scheme of different new-type fertilizer treatments

处理 Treatment	底肥处理方式 Basal fertilization method	单次追肥处理方式 Single topdressing method
CK	常规底肥 Conventional basal fertilizer	常规追肥 Conventional topdressing
T1	常规底肥 Conventional basal fertilizer	腐殖酸促生根专用水溶肥 3.0 g/m ² Humic acid water-soluble fertilizer special for promoting root growth 3.0 g/m ²
T2	常规底肥 Conventional basal fertilizer	常规追肥+矿源黄腐酸钾肥料 0.75 g/m ² Conventional topdressing+mineral-derived potassium fulvate 0.75 g/m ²
T3	常规底肥 Conventional basal fertilizer	常规追肥+多元素含氨基酸水溶肥 3.0 g/m ² Conventional topdressing+multi-element amino acid water-soluble fertilizer 3.0 g/m ²
T4	常规底肥 Conventional basal fertilizer	常规追肥+中微量元素水溶肥 4.5 g/m ² Conventional topdressing+medium and trace element water-soluble fertilizer 4.5 g/m ²
T5	常规底肥 Conventional basal fertilizer	常规追肥+欢能生物菌肥防根腐套餐 0.76 g/m ² Conventional topdressing+Huaneng bio-fertilizer for root rot control 0.76 g/m ²
T6	常规底肥+欢能生物菌肥防根腐套餐 0.76 g/m ² Conventional basal fertilizer+Huaneng bio-fertilizer for root rot control 0.76 g/m ²	常规追肥+欢能生物菌肥防根腐套餐 0.76 g/m ² Conventional topdressing+Huaneng bio-fertilizer for root rot control 0.76 g/m ²
T7	常规底肥+欢能生物菌肥防根腐套餐 0.76 g/m ² Conventional basal fertilizer+Huaneng bio-fertilizer for root rot control 0.76 g/m ²	常规追肥 Conventional topdressing
T8	常规底肥 Conventional basal fertilizer	常规追肥+鱼蛋白氨基酸水溶肥 4.5 g/m ² Conventional topdressing+fish protein and amino acid water-soluble fertilizer 4.5 g/m ²
T9	常规底肥+中科化工微生物菌剂复合型 1.5 g/m ² Conventional basal fertilizer+Zhongke chemical microbial agent 1.5 g/m ²	常规追肥+中科化工微生物菌剂复合型 1.5 g/m ² Conventional topdressing+Zhongke chemical microbial agent 1.5 g/m ²
T10	常规底肥 Conventional basal fertilizer	常规追肥+中科化工微生物菌剂复合型 1.5 g/m ² Conventional topdressing+Zhongke chemical microbial agent 1.5 g/m ²
T11	常规底肥+中科化工微生物菌剂复合型 1.5 g/m ² Conventional basal fertilizer+Zhongke chemical microbial agent 1.5 g/m ²	常规追肥 Conventional topdressing

常规底肥为根力多生物有机肥 95.95 g/m²、硫酸钾复合肥 6.00 g/m²;常规追肥为大量元素水溶

肥,每次用量 7.5 g/m²。各新型肥料处理均在当地常规施肥的基础上同时进行。每个处理 3 次重复,

合计 36 个小区,小区面积 10 m²(2.5 m×4 m),按试验方案采用随机排列。除施肥处理差异外,所有小区大蒜均采用统一常规栽培管理措施。底肥于 2024 年 9 月 15 日翻地前一次性均匀撒施,同时撒施辛硫磷 6.00 g/m²;追肥共进行 3 次,分别于鳞芽花芽分化期(2025 年 3 月 13 日)、抽薹期(2025 年 4 月 24 日)和鳞茎膨大期(2025 年 5 月 16 日)采用根部冲施方式施用。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 大蒜植株生长指标 2025 年 5 月 12 日,每个小区取代表性植株 2 株,用卷尺测定大蒜植株的株高、叶宽,用游标卡尺测定假茎高、假茎粗,并统计每株大蒜叶片数。

1.4.2 大蒜鳞茎生长指标及产量 于 2025 年 5 月 24 日进行实收,在各小区采收 1 m²的大蒜,统一剔除植株地上部分及根须,于通风处风干 2 周后用电子天平称取鳞茎质量即为产量。各小区随机选取 20 头分别用电子天平称质量,取平均值即为单头质量,并用游标卡尺测定鳞茎的横径和纵径,即为鳞茎横径和鳞茎纵径。

1.4.3 蒜叶、蒜薹、鳞茎营养品质 分别于 2025 年 4 月 10 日、5 月 12 日、5 月 24 日分别采收蒜叶、蒜薹、鳞茎,每个处理取代表性植株 6 株,测定蒜叶、蒜薹、鳞茎的可溶性蛋白、可溶性糖、抗坏血酸、大蒜素含量。采收样品液氮研磨后于-80℃保存待测。采用考马斯亮蓝 G-250 法^[13]测定可溶性蛋白含量;采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[14];参考 Stevens 等^[15]的比色法测定抗坏血酸含量;参考 Feng 等^[16]的方法测定大蒜素含量。每处理设置 3 个重复。

鳞茎收获后每个处理随机选取 10 株样品,用电子天平测定鲜蒜头单头质量,置于烘箱内于 105℃下杀青 30 min,然后调整温度至 80℃恒温烘干,待样品质量恒定后用电子天平称量干质量并记录,测定含水率。含水率=(鲜质量-干质量)/鲜质量×100%。

1.5 数据处理与分析

试验数据使用 WPS 进行整理,各指标结果用“平均值±标准差”表示。采用 SPSS 25.0 软件进行统计分析。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan’s 的新复极差法进行多重比较($P<0.05$)。基于 PyCharm 2024.1 平台,本研究采用熵权-TOPSIS 法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution),计算各方案与正、负理想解的欧氏距离(分别记为 D^+ 与 D^-),并据此求得相对贴近度(C),依据 C 值大小确定最优处理组, C 值越接近 1 表示综合表现越优^[17]。

2 结果与分析

2.1 不同新型肥料处理对大蒜植株生长的影响

从表 2 可以看出,施用新型肥料促进了大蒜植株的生长。各新型肥料处理大蒜植株的株高较 CK 总体提高了 5.57%~12.62%,其中 T1 处理大蒜植株株高最高。12 个处理中,所有新型肥料处理大蒜叶宽和假茎粗较 CK 分别提高了 6.40%~21.25%,9.89%~29.00%,其中 T2 处理的叶宽和假茎粗最大。与 CK 相比,除了 T7 和 T8 处理外,其余新型肥料处理均提高了大蒜假茎高,其中 T1 处理的假茎高最大,比 CK 提高了 14.90%。各个处理的叶片数差异不显著。

表 2 不同新型肥料对大蒜植株生长的影响

Table 2 Effects of different new-type fertilizers on growth of garlic plants

处理 Treatment	株高/cm Plant height	叶宽/mm Leaf width	假茎粗/mm Pseudostem diameter	假茎高/cm Pseudostem height	叶片数/(个·株 ⁻¹) Leaf number
CK	72.53±3.08 b	28.42±2.26 c	11.93±1.66 c	28.83±2.65 a	7.00±0.00 a
T1	81.68±5.04 a	33.03±3.55 ab	13.98±1.90 ab	33.13±3.38 a	7.50±0.84 a
T2	81.32±7.12 a	34.46±4.32 a	15.39±2.30 a	30.72±3.92 a	7.00±0.63 a
T3	80.15±2.88 a	33.32±1.61 ab	14.11±1.65 ab	30.13±1.83 a	7.33±0.82 a
T4	77.97±5.57 ab	33.13±4.83 ab	13.49±0.65 bc	29.08±2.30 a	7.33±0.52 a
T5	79.23±4.21 a	31.06±2.21 abc	13.11±0.65 bc	29.85±2.64 a	7.33±0.52 a
T6	80.22±3.79 a	31.99±2.41 abc	13.11±0.64 bc	29.62±3.19 a	7.00±0.63 a
T7	79.62±4.40 a	32.11±1.62 abc	14.16±1.54 ab	28.65±2.78 a	7.00±0.89 a
T8	76.87±3.72 ab	30.24±3.09 bc	13.84±1.28 ab	28.65±2.37 a	7.00±0.00 a
T9	80.80±3.81 a	30.89±2.11 abc	13.12±1.31 bc	29.25±2.77 a	7.00±0.00 a
T10	76.57±3.41 ab	31.07±2.07 abc	13.33±1.01 bc	30.75±3.99 a	7.33±0.52 a
T11	78.97±4.42 a	31.94±3.07 abc	13.60±1.53 abc	28.95±5.98 a	7.00±0.89 a

注:同列数据后标不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among treatments ($P<0.05$). The same below.

2.2 不同新型肥料处理对大蒜鳞茎生长及产量的影响

由表 3 可以看出,与 CK 相比,新型肥料处理大蒜的鳞茎横径、纵径分别增加了 0.93%~4.69% 和 2.20%~8.81%,其中 T3 处理鳞茎横径最大,T9 处理鳞茎纵径最大;新型肥料处理大蒜的鳞茎单头质

量显著增加,平均值为 49.63 g,较 CK 增加了 6.37%,其中鳞茎单头质量最大为 T1 处理,较 CK 增加了 12.00%。与 CK 相比,新型肥料处理大蒜平均鳞茎产量提高了 1.63%~11.85%,其中 T1 和 T3 处理产量均较高,与 CK 相比分别增加了 11.83% 和 11.85%。

表 3 不同新型肥料对大蒜鳞茎生长以及产量的影响
Table 3 Effects of different new-type fertilizers on bulb growth and yield of garlic

处理 Treatment	鳞茎横径/mm Transverse diameter	鳞茎纵径/mm Longitudinal diameter	单头质量/g Single bulb weight	产量/(kg·hm ⁻²) Yield
CK	50.50±2.32 d	32.22±2.48 f	46.66±2.86 g	15 754.22±570.60 f
T1	51.66±2.34 bc	34.18±2.47 abcd	52.26±3.09 a	17 617.35±333.55 a
T2	51.79±2.50 bc	33.55±2.84 de	50.65±2.48 b	17 012.49±86.30 ab
T3	52.87±2.24 a	34.80±2.87 abc	52.09±2.79 a	17 621.64±574.17 a
T4	51.38±2.48 bcd	34.36±3.34 abcd	50.54±2.98 b	16 718.91±652.71 bcd
T5	50.87±2.41 cd	33.92±2.23 bcde	48.77±2.98 def	16 456.48±442.93 bcdef
T6	51.89±2.56 bc	32.93±2.13 ef	49.24±3.02 cde	16 616.73±435.95 bcde
T7	52.02±2.48 ab	33.77±2.73 cde	49.97±2.76 bc	16 823.54±124.77 bc
T8	51.68±3.47 bc	34.89±3.39 ab	49.64±2.59 bcd	16 358.81±235.65 bcdef
T9	51.36±2.66 bcd	35.06±2.36 a	48.36±2.67 ef	16 113.50±343.96 cdef
T10	51.70±2.38 bc	34.03±1.73 abcd	48.16±2.63 ef	16 011.36±71.61 def
T11	51.75±2.37 bc	34.36±2.62 abcd	48.10±2.57 f	16 202.17±153.18 cdef

2.3 不同新型肥料处理对蒜叶营养品质的影响

由表 4 可知,各处理之间蒜叶各类营养品质差异显著。与 CK 相比,新型肥料处理蒜叶的抗坏血酸含量明显增加,平均值为 73.07 mg/hg,较 CK 提高 40.89%,其中 T8 处理蒜叶的抗坏血酸含量最高,较 CK 提高了 71.94%。除 T8 处理外,其余新型

肥料处理大蒜素含量均显著高于 CK,其中 T4 处理的蒜叶大蒜素含量最大。与 CK 相比,各新型肥料处理可溶性糖含量明显增加,其中 T8 处理最高,较 CK 增加了 76.92%。与 CK 相比,各新型肥料处理可溶性蛋白含量显著增加,其中 T3 处理最高,较 CK 提高了 118.14%。

表 4 不同新型肥料对蒜叶营养品质的影响
Table 4 Effects of different new-type fertilizers on nutritional quality of garlic leaves

处理 Treatment	抗坏血酸含量/(mg·hg ⁻¹) Ascorbic acid content	大蒜素含量/(mg·g ⁻¹) Allicin content	可溶性糖含量/(mg·g ⁻¹) Soluble sugar content	可溶性蛋白含量/(mg·g ⁻¹) Soluble protein content
CK	51.86±3.96 e	0.92±0.08 f	20.54±1.25 f	7.04±0.27 f
T1	69.98±2.91 d	1.31±0.07 de	21.45±0.41 ef	12.14±0.13 c
T2	55.20±4.02 e	1.29±0.11 de	22.13±0.77 ef	12.74±0.72 c
T3	55.97±3.88 e	1.37±0.11 cd	32.29±0.12 b	15.27±0.60 a
T4	85.88±5.22 ab	1.66±0.14 a	26.75±3.02 c	10.98±0.44 d
T5	80.62±1.01 bc	1.37±0.05 cd	26.21±0.53 c	9.99±0.32 e
T6	85.09±2.42 abc	1.23±0.06 de	30.65±0.64 b	14.26±0.62 b
T7	79.21±7.36 c	1.27±0.09 de	30.41±0.19 b	10.05±0.47 e
T8	89.17±1.72 a	0.82±0.05 f	36.34±2.09 a	12.05±0.36 c
T9	67.70±0.50 d	1.59±0.13 ab	27.42±0.76 c	13.88±0.46 b
T10	66.31±0.60 d	1.48±0.03 bc	25.36±0.67 cd	12.45±0.34 c
T11	68.61±1.27 d	1.21±0.06 e	23.46±1.85 de	12.38±0.06 c

2.4 不同新型肥料处理对蒜薹营养品质的影响

由表 5 可知,与 CK 相比,新型肥料处理蒜薹抗坏血酸含量明显增加,其中 T5 和 T6 处理抗坏血酸含量较高。与 CK 相比,新型肥料处理大蒜素含量提高了 5.31%~71.68%,其中 T1 处理最大。12 个处理中,T8 处理可溶性糖含量最高,比 CK 增加了

50.65%;T6 处理可溶性蛋白含量最大,为 11.00 mg/g。

2.5 不同新型肥料处理对大蒜鳞茎营养品质的影响

由表 6 可知,与 CK 相比,除了 T7、T10 处理外,其余新型肥料处理鳞茎抗坏血酸含量明显增加,其

中 T9 处理最高,比 CK 增加了 60.67%;除了 T3、T7、T8 处理外,其余新型肥料处理鳞茎大蒜素含量明显增加,其中 T9 处理的大蒜素含量最高;除了 T2 处理外,其余新型肥料处理鳞茎可溶性糖含量明显增加,其中 T5 处理可溶性糖含量最大,为 259.04

mg/g;新型肥料处理鳞茎的可溶性蛋白含量均高于 CK,其中 T4 处理最大,比 CK 提高了 30.63%;此外,各处理间的含水率差异较小,总体差异不显著。

表 5 不同新型肥料对蒜薹营养品质的影响

Table 5 Effects of different new-type fertilizers on nutritional quality of garlic bolts

处理 Treatment	抗坏血酸含量/(mg·hg ⁻¹) Ascorbic acid content	大蒜素含量/(mg·g ⁻¹) Allicin content	可溶性糖含量/(mg·g ⁻¹) Soluble sugar content	可溶性蛋白含量/(mg·g ⁻¹) Soluble protein content
CK	20.59±0.65 g	1.13±0.08 f	74.92±1.13 ghi	6.48±0.25 g
T1	28.14±0.86 d	1.94±0.19 a	100.99±2.51 b	8.42±0.29 b
T2	31.38±1.55 c	1.72±0.12 b	94.67±5.50 c	7.51±0.32 cd
T3	21.47±1.07 fg	1.45±0.05 c	73.21±3.42 hi	7.84±0.36 c
T4	22.69±0.94 f	1.25±0.06 ef	71.72±0.47 i	7.16±0.25 def
T5	37.65±1.65 a	1.18±0.07 ef	77.02±1.27 fgh	6.78±0.13 fg
T6	37.71±0.50 a	1.46±0.05 c	81.10±2.49 def	11.00±0.04 a
T7	34.52±0.90 b	1.19±0.08 ef	83.00±1.49 de	7.39±0.34 cde
T8	34.98±1.23 b	1.17±0.06 ef	112.87±3.60 a	7.36±0.25 cde
T9	25.92±0.50 e	1.41±0.10 cd	78.44±1.82 efg	6.93±0.19 efg
T10	21.53±0.78 fg	1.31±0.08 cde	81.74±1.27 def	6.64±0.31 g
T11	22.00±0.55 fg	1.19±0.05 ef	83.46±1.83 d	6.69±0.24 fg

表 6 不同新型肥料对大蒜鳞茎营养品质的影响

Table 6 Effects of different new-type fertilizers on nutritional quality of garlic bulbs

处理 Treatment	抗坏血酸含量/ (mg·hg ⁻¹) Ascorbic acid content	大蒜素含量/ (mg·g ⁻¹) Allicin content	可溶性糖含量/ (mg·g ⁻¹) Soluble sugar content	可溶性蛋白含量/ (mg·g ⁻¹) Soluble protein content	含水率/% Moisture content
CK	10.70±0.72 e	2.06±0.09 cd	133.44±4.80 h	9.11±0.26 f	61.05±0.01 ab
T1	12.48±0.27 d	2.13±0.19 bc	144.20±4.92 g	11.37±0.36 ab	60.65±0.01 ab
T2	14.18±0.79 c	2.45±0.10 a	117.10±5.80 i	10.80±0.78 bcd	60.59±0.01 ab
T3	12.05±0.61 d	1.92±0.09 de	171.98±5.16 f	11.35±0.90 ab	56.32±0.01 d
T4	15.00±1.42 bc	2.31±0.11 ab	222.69±8.14 e	11.90±0.48 a	60.89±0.00 ab
T5	14.10±1.27 c	2.11±0.21 cd	259.04±9.23 a	10.20±0.30 cd	61.33±0.00 a
T6	11.86±0.66 de	2.45±0.19 a	238.37±10.85 c	10.92±0.32 abcd	60.44±0.01 b
T7	9.23±0.02 f	1.78±0.06 ef	140.54±5.85 gh	9.22±0.53 ef	60.41±0.00 b
T8	16.15±0.73 ab	1.73±0.11 f	227.49±9.14 de	10.02±0.58 de	56.52±0.01 d
T9	17.19±1.68 a	2.47±0.12 a	248.00±8.91 b	11.58±0.20 ab	60.46±0.01 b
T10	7.96±0.62 f	2.32±0.04 ab	234.39±9.66 cd	11.50±0.42 ab	60.58±0.01 ab
T11	10.86±0.48 e	2.23±0.08 bc	179.90±5.35 f	11.07±0.46 abc	58.67±0.01 c

2.6 不同新型肥料处理对大蒜鳞茎产值及经济效益的影响

本试验针对不同新型肥料进行肥效研究,除了肥料种类不同,其他试验条件无差异。因此,计算成本时只考虑肥料产品成本,种子、人工等成本均不考虑。肥料成本包括常规底肥成本、追肥肥料成本和新型肥料成本,鉴于本研究中常规底肥、常规追肥(T1除外)的用量、品种均一致,经计算各处理中其成本分别为 8 280.00,2 341.17 元/hm²,可知 CK、T2~T11 处理的常规肥料成本为 10 621.17 元/hm²,T1 处理的常规肥料成本为 8 280.00 元/hm²;新型肥料成本为肥料单价与单位面积用量

的乘积;产值按鳞茎采收时单价 4.90 元/kg 乘以产量计算;纯收入按照产值减去肥料成本计算,结果见表 7。表 7 显示,从肥料成本上看,T1 处理最低,比 CK 减少了 3.51%;从纯收入来看,新型肥料的纯收入平均比 CK 提高了 4.94%,其中 T1 处理最高,比 CK 提高了 14.25%。

2.7 基于熵权-TOPSIS 法的不同新型肥料处理大蒜生长以及品质的综合评价

2.7.1 不同新型肥料处理对蒜叶营养品质影响的综合评价 为了综合评价各处理对蒜叶品质的影响,本研究采用熵权法计算了蒜叶品质指标的权重,通过 TOPSIS 法计算不同处理到正、负向理想解

的欧氏距离(D^+ 和 D^-)以及相对贴近度(C), C 越接近 1,综合评价越好,结果见表 8。由表 8 可知,不同处理蒜叶品质排名前 3 位的依次为 T6、T9、T4 处理, C 值依次为 0.687,0.681,0.648。

2.7.2 不同新型肥料处理对蒜薹营养品质影响的

综合评价 基于熵权-TOPSIS 法的不同新型肥料对蒜薹营养品质影响综合评价结果见表 9。由表 9 可知,T6 处理的 C 值最高,表示该处理的综合评价最好;其次为 T2、T5 处理。

表 7 不同处理施用肥料成本、产值以及经济效益

Table 7 Fertilizer cost, output value and economic benefits of different treatments

处理 Treatment	新型肥料 New-type fertilizer		肥料成本/ (元·hm ⁻²) Fertilizer cost	产值/ (元·hm ⁻²) Output value	纯收入/ (元·hm ⁻²) Net income
	总用量/(kg·hm ⁻²) Total dosage	价格/(元·kg ⁻¹) Price			
CK	0.00	0.00	10 621.17	77 195.69±2 795.95 f	66 574.52±2 795.95 ef
T1	90.05	22.00	10 260.99	86 324.99±1 634.40 a	76 064.00±1 634.40 a
T2	22.51	79.60	12 413.07	83 361.19±422.89 ab	70 948.12±422.89 bc
T3	90.05	6.42	11 198.96	86 346.03±2 813.43 a	75 147.07±2 813.43 a
T4	135.07	3.73	11 124.57	81 922.67±3 198.26 bcd	70 798.10±3 198.26 bcd
T5	22.81	20.50	11 088.80	80 636.73±2 170.37 bcdef	69 547.93±2 170.37 bcde
T6	30.42	20.50	11 244.68	81 422.00±2 136.17 bcde	70 177.32±2 136.17 bcd
T7	7.60	20.50	10 777.05	82 435.34±611.39 bc	71 658.29±611.39 b
T8	135.07	15.39	12 699.19	80 158.15±1 154.67 bcdef	67 458.96±1 154.67 def
T9	60.03	42.00	13 142.43	78 956.17±1 685.38 cdef	65 813.74±1 685.38 f
T10	45.02	42.00	12 512.12	78 455.67±350.88 def	65 943.55±350.88 f
T11	15.01	42.00	11 251.49	79 390.63±750.58 cdef	68 049.24±750.58 cdef

表 8 不同新型肥料处理蒜叶营养品质的熵权-TOPSIS 法分析结果

Table 8 Entropy weight-TOPSIS results for nutritional quality of garlic leaves under different new-type fertilizer treatments

处理 Treatment	D^+	D^-	C	排名 Rank	处理 Treatment	D^+	D^-	C	排名 Rank
CK	0.086	0.006	0.064	12	T6	0.030	0.065	0.687	1
T1	0.049	0.047	0.486	9	T7	0.044	0.048	0.523	7
T2	0.054	0.046	0.457	11	T8	0.054	0.061	0.532	6
T3	0.037	0.068	0.645	4	T9	0.031	0.067	0.681	2
T4	0.036	0.066	0.648	3	T10	0.040	0.055	0.578	5
T5	0.046	0.048	0.515	8	T11	0.049	0.044	0.476	10

注: D^+ 表示与正理想解欧氏距离; D^- 表示与负理想解欧氏距离; C 为相对贴近度。下同。
Note: D^+ denotes the Euclidean distance to a positive ideal solution. D^- denotes the Euclidean distance to a negative ideal solution. C refers to the relative closeness coefficient. The same below.

表 9 不同新型肥料处理蒜薹营养品质的熵权-TOPSIS 法分析结果

Table 9 Entropy weight-TOPSIS results for nutritional quality of garlic bolts under different new-type fertilizer treatments

处理 Treatment	D^+	D^-	C	排名 Rank	处理 Treatment	D^+	D^-	C	排名 Rank
CK	0.091	0.002	0.018	12	T6	0.029	0.081	0.738	1
T1	0.045	0.055	0.551	5	T7	0.049	0.060	0.549	6
T2	0.039	0.056	0.589	2	T8	0.047	0.065	0.580	4
T3	0.079	0.019	0.192	8	T9	0.066	0.027	0.290	7
T4	0.080	0.012	0.128	9	T10	0.083	0.011	0.118	10
T5	0.051	0.073	0.586	3	T11	0.083	0.009	0.099	11

2.7.3 不同新型肥料处理对大蒜鳞茎农艺性状以及经济收益影响的综合评价

本研究采用熵权-TOPSIS 法对不同处理鳞茎农艺性状以及经济收益进行了综合评价,结果见表 10。由表 10 可知,T1 处

理的综合评价最好,其次为 T3 和 T7 处理。

2.7.4 不同新型肥料处理大蒜鳞茎营养品质影响

的综合评价 由表 11 可知,T9 处理 C 值最高,为 0.937,明显高于其他处理;其次为 T5、T8 处理。

表 10 不同新型肥料处理大蒜鳞茎农艺性状以及经济效益的熵权-TOPSIS 法分析结果

Table 10 Entropy weight-TOPSIS results for agronomic traits and economic benefit of garlic bulbs under different new-type fertilizer treatments

处理 Treatment	D^+	D^-	C	排名 Rank	处理 Treatment	D^+	D^-	C	排名 Rank
CK	0.014	0.004	0.197	12	T6	0.009	0.007	0.433	6
T1	0.001	0.016	0.947	1	T7	0.006	0.010	0.601	3
T2	0.007	0.010	0.594	4	T8	0.012	0.005	0.313	8
T3	0.003	0.015	0.813	2	T9	0.014	0.004	0.228	10
T4	0.007	0.009	0.564	5	T10	0.014	0.004	0.217	11
T5	0.009	0.007	0.431	7	T11	0.012	0.005	0.296	9

表 11 不同新型肥料处理大蒜鳞茎营养品质的熵权-TOPSIS 法分析结果

Table 11 Entropy weight-TOPSIS results for nutritional quality of garlic bulbs under different new-type fertilizer treatments

处理 Treatment	D^+	D^-	C	排名 Rank	处理 Treatment	D^+	D^-	C	排名 Rank
CK	0.104	0.025	0.191	11	T6	0.044	0.094	0.682	5
T1	0.091	0.040	0.307	10	T7	0.106	0.020	0.156	12
T2	0.106	0.049	0.316	9	T8	0.026	0.102	0.795	3
T3	0.075	0.051	0.405	8	T9	0.008	0.119	0.937	1
T4	0.031	0.094	0.750	4	T10	0.073	0.086	0.539	6
T5	0.024	0.114	0.823	2	T11	0.076	0.051	0.405	7

3 讨 论

3.1 大蒜生长对肥料种类的响应

农艺性状是评价大蒜长势的关键指标。本研究发现,各新型肥料处理株高、假茎粗、叶宽等指标均优于 CK,表明其促进了大蒜生长,其中腐殖酸类肥料(T1、T2 处理)在促进植株生长方面效果较突出,可能是由于腐殖酸对土壤的碳、氮、磷含量及其化学计量比影响较大,促进土壤养分含量增加^[18],进而促进大蒜生长,这与王圣囡^[19]的研究结果一致。

3.2 蒜叶、蒜薹品质对肥料种类的响应

本研究结果显示,新型肥料处理的蒜叶营养品质总体高于 CK,其中 T8 处理抗坏血酸、可溶性糖含量最高,较 CK 分别提高了 71.94%,76.92%;T3 处理可溶性蛋白含量最大,表明氨基酸类肥料更有利于提高蒜叶抗坏血酸、可溶性糖与可溶性蛋白含量。前人研究也发现,氨基酸肥料显著提高了作物可溶性蛋白和可溶性糖含量^[14],这与本研究结果一致。

本研究发现,12 个处理中,T4 处理蒜叶大蒜素含量最高,相较于 CK 提高了 80.43%,这可能是 T4 处理中的中微量元素肥料中 S、Ca、Mg、Cu、Zn 等元素含量较高所致。研究发现,S 对大蒜品质有明显

提升作用^[20]。此外,有研究表明,施锌肥可以促进草莓维生素 C 和 E 等营养物质的积累^[21];适宜浓度铜能提高葡萄的品质^[22],这与本研究结果一致。

根据熵权-TOPSIS 法分析可知,蒜叶营养品质指标的综合评价排名前 3 位的依次为 T6、T9、T4,其中 T6、T9 处理均为在底肥、追肥中施用了微生物菌剂,表明微生物菌剂处理能改善蒜叶品质。目前,微生物肥料已在蔬菜和粮食作物中应用较多。研究发现,解淀粉芽孢杆菌处理能够使大蒜中可溶性糖含量显著增加 30%^[23],微生物菌剂增加了西瓜可溶性固形物、可溶性糖和 V_C 含量^[24]。以上研究证明,微生物菌剂能明显改善作物营养品质,这与本研究结果一致。

本研究中,根据熵权-TOPSIS 法的分析结果,T6 蒜薹营养品质的综合评价最高,这与蒜叶营养品质综合评价的结果一致,即微生物菌剂可以显著提高大蒜品质。

3.3 大蒜鳞茎产量与品质对肥料种类的响应

本研究中,新型肥料明显提高了大蒜鳞茎的横径、纵径和单头质量及产量。根据熵权-TOPSIS 法的分析结果可知,虽然 T3 处理鳞茎产量最高,但 T1 处理大蒜鳞茎农艺性状以及经济效益的综合评价最高,可知在减少常规追肥投入的情况下,腐殖酸类肥料能显著促进鳞茎生长,进而提高其产量,

这与前人的研究结果^[25-26]一致。可知在大蒜大田生产中,在减少化肥使用的基础上施用腐殖酸类肥料能显著增加大蒜鳞茎产量,从而提高经济效益。

本研究中,基于熵权-TOPSIS法对不同新型肥料处理大蒜鳞茎营养品质进行综合评价,结果显示,T9处理的综合评价值最高,可知在常规底肥和追肥中均添加复合微生物菌剂,能明显提高大蒜鳞茎营养品质,说明微生物菌剂同样能够有效提升大蒜鳞茎的营养品质。这与张智等^[9]、罗雁馨等^[24]的研究结果一致。T6和T9处理中均施用了复合微生物菌剂,但是与T6处理相比,T9处理大蒜鳞茎营养品质更高,这是因为T6处理中施用的复合微生物菌剂主要含有枯草芽孢杆菌、哈茨木霉菌,而T9处理中施用的复合微生物菌剂主要含有枯草芽孢杆菌、胶冻样类芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、解淀粉类芽孢杆菌,微生物种类更为丰富,这可能是T9处理大蒜鳞茎营养品质较优的原因。

本研究中,与CK相比,新型肥料总体提高了大蒜产量和经济效益,其中以增产为目的时,T1处理可以显著实现降本增效,肥料成本较CK减少了360.18元/hm²,且对鳞茎的营养品质有提升效果;以提高鳞茎营养品质为生产目的时,T9处理效果最佳,但其肥料成本较CK明显增加,从而导致纯收入较CK明显减少。T5处理大蒜营养品质略低于T9,但肥料成本相对较低,在显著提升品质的同时实现了增产增效。

4 结 论

本研究采用大田试验,分析了不同种类新型肥料对关中产区大蒜生长、产量和品质的影响,结果发现,各种新型肥料影响差异较大,可根据生产目的选用特定种类新型肥料:(1)以提高蒜叶生长势为生产目的时,宜选用腐殖酸类肥料。(2)以提高蒜叶或蒜薹品质为生产目的时,宜选用微生物菌剂,且在底肥与追肥中同时施用效果更佳,但成本较高。(3)以提高大蒜鳞茎产量为目的时,推荐使用含腐植酸水溶肥,在提升产量的同时也提高了鳞茎营养品质。

[参考文献]

- [1] 那坤,张立石,薛欣,等.大蒜有效成分组方的药效学实验研究[J].中国当代医药,2021,28(12):4-7.
Na K, Zhang L S, Xue X, et al. Experimental study on the pharmacodynamics of the effective part formula of garlic[J]. China

- Modern Medicine, 2021, 28(12): 4-7.
- [2] 孔繁涛,张晶,周向阳,等.中国大蒜年度供需平衡表(2025年9月会商发布)[EB/OL].(2025-09-11)[2026-03-05].
https://www.agri.cn/sj/gxxs/202509/t20250911_8766788.htm.
- Kong F T, Zhang J, Zhou X Y, et al. China annual garlic supply and demand balance sheet (consensus release-September 2025)[EB/OL].(2025-09-11)[2026-03-05].
https://www.agri.cn/sj/gxxs/202509/t20250911_8766788.htm.
- [3] 高欣,赵雪淞,赵凤艳,等.化肥有机替代对连作花生田土壤有机碳和微生物群落的影响[J].生态学报,2023,42(1):99-107.
Gao X, Zhao X S, Zhao F Y, et al. Effects of organic substitution of chemical fertilizers on soil organic carbon and microbial community in continuous cropping peanut fields[J]. Chinese Journal of Ecology, 2023, 42(1): 99-107.
- [4] Longhini V Z, De Souza W C R, Andreotti M, et al. Inoculation of diazotrophic bacteria and nitrogen fertilization in topdressing in irrigated corn[J]. Revista Caatinga, 2016, 29(2): 338-347.
- [5] Wang R, Min J, Kronzucker H J, et al. N and P runoff losses in China's vegetable production systems: loss characteristics, impact, and management practices[J]. Science of the Total Environment, 2019, 663: 971-979.
- [6] 钟云鹏,路风银,李成玉,等.世界大蒜产业发展与贸易动态分析[J].中国蔬菜,2025(7):1-17.
Zhong Y P, Lu F Y, Li C Y, et al. Analysis of the development and trade dynamics of the global garlic industry[J]. China Vegetables, 2025(7): 1-17.
- [7] 邵晓龄,黄钰芳,高婷婷,等.纹党参种子萌发和幼苗生长对其连作土壤水浸液的自毒响应[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2026,54(6):134-143.
Shao X L, Huang Y F, Gao T T, et al. Autotoxic response of *Codonopsis pilosula* var. *modesta* seed germination and seedling growth to its water extracts from continuous cropping soils[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2026, 54(6): 134-143.
- [8] 苏浩,张锐澎,吴思炫,等.连作障碍产生机理及防控现状[J].土壤,2024,56(2):242-254.
Su H, Zhang R P, Wu S X, et al. Mechanisms of continuous cropping obstacles and current situation of prevention and control[J]. Soils, 2024, 56(2): 242-254.
- [9] 张智,景仕豪,周楠,等.不同复合微生物菌剂及施用量对番茄生长和品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2023,51(9):119-128,137.
Zhang Z, Jing S H, Zhou N, et al. Effects of different compound microbial inoculants and application rates on growth and fruit quality of tomato[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2023, 51(9): 119-128, 137.
- [10] 赵玉鹏,王治国,付彦博,等.不同有机物料对新疆黏质土壤化学性质及微生物数量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2025,53(3):93-101.
Zhao Y P, Wang Z G, Fu Y B, et al. Effects of different or-

- ganic materials on chemical properties and microbial quantity of clay soil in Southern Xinjiang [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2025, 53(3): 93-101.
- [11] 陈铭泽. 鲤鱼鳞水解制备含氨基酸水溶肥的工艺筛选及肥效验证[D]. 武汉:华中农业大学, 2023.
- Chen M Z. Process screening and effect verification of amino acid containing water-soluble fertilizer produced by hydrolysis of carp scales[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2023.
- [12] Ahmed R, Yusoff M, Uddin M K, et al. Recent trends in the foliar spraying of zinc nutrient and zinc oxide nanoparticles in tomato production[J]. Agronomy, 2021, 11(10):2074.
- [13] 曲春香, 沈颂东, 王雪峰, 等. 用考马斯亮蓝测定植物粗提液中可溶性蛋白质含量方法的研究[J]. 苏州大学学报(自然科学版), 2006, 22(2):82-85.
- Qu C X, Shen S D, Wang X F, et al. Method research of measuring soluble protein contents of plant rough extraction using Coomassie Brilliant Blue [J]. Journal of Suzhou University (Natural Science Edition), 2006, 22(2):82-85.
- [14] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 西安:世界图书出版公司, 2000.
- Gao J F. Guide to plant physiology experiments[M]. Xi'an: World Book Publishing Company, 2000.
- [15] Stevens R, Buret M, Garchery C, et al. Technique for rapid, small-scale analysis of vitamin C levels in fruit and application to a tomato mutant collection[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(17):6159-6165.
- [16] Feng Y B, Zhou C S, Elgasim A A, et al. Improvement of the catalytic infrared drying process and quality characteristics of the dried garlic slices by ultrasound-assisted alcohol pretreatment[J]. LWT, 2019, 116:108577.
- [17] 叶霜, 李承荧, 邱霞, 等. 基于组合赋权的 TOPSIS 模型在果实品质评价中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(10):111-121.
- Ye S, Li C Y, Qiu X, et al. Application of combination weighting based TOPSIS model in fruit quality evaluation[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2017, 45(10):111-121.
- [18] 王燕红, 任恩良, 赵彬, 等. 不同土壤改良剂对向日葵-土壤碳氮磷含量及其化学计量比的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2025, 53(9):134-144, 156.
- Wang Y H, Ren E L, Zhao B, et al. Effects of different soil amendments on carbon, nitrogen, phosphorus content and stoichiometric ratio of sunflower-soil [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2025, 53(9):134-144, 156.
- [19] 王圣囡. 不同来源黄腐酸及其用量对大蒜生长及产量品质的影响[D]. 山东泰安:山东农业大学, 2023.
- Wang S N. Effects of different sources of fulvic acid and its dosage on garlic growth, yield and quality[D]. Tai'an, Shandong: Shandong Agricultural University, 2023.
- [20] Thangasamy A, Gorrepati K, Ghodke P H, et al. Effects of sulfur fertilization on yield, biochemical quality, and thiosulfate content of garlic[J]. Scientia Horticulturae, 2021, 289:110442.
- [21] Sabahat S, Abbasi J, Ahmad M, et al. Role of micronutrients in improving fruit quality and yield of strawberry cv. chandler under microclimatic conditions [J]. Pakistan Journal of Agricultural Research, 2022, 34(4):897-904.
- [22] Mo X R, Chen C W, Riaz M, et al. Fruit characteristics of citrus trees grown under different soil Cu levels[J]. Plants, 2022, 11(21):2943.
- [23] 熊雨洁, 宋立晓, 王亚, 等. 解淀粉芽孢杆菌 W48 对大蒜产量品质及土壤质量提升效果研究[J]. 中国土壤与肥料, 2024(2):89-96.
- Xiong Y J, Song L X, Wang Y, et al. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* W48 on garlic yield and soil quality improvement [J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2024(2):89-96.
- [24] 罗雁馨, 曹行行, 沈婷婷, 等. 微生物菌剂对退砂土壤改良及西瓜品质的调控作用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2025, 53(11):79-91.
- Luo Y X, Cao H H, Shen T T, et al. Effects of microbial agents on the amelioration of sand removal land and regulation of watermelon quality [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2025, 53(11):79-91.
- [25] Kundu A, Raha P, Dubey A N. Impact of source and method of potassium application on dry matter accumulation and partitioning of potassium in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2021, 21(3):2252-2263.
- [26] Alharby H F, Ansabayeva A, Alamri A M, et al. Humic acid and potassium synergy drives metabolic activation, antioxidant enhancement, and improved nutrient absorption in garlic plants (*Allium sativum* L.) [J]. Scientia Horticulturae, 2026, 358:114706.

(责任编辑:李小平)