

施用含聚谷氨酸有机肥对菊花产量、品质及土壤活性的影响

黄 剑¹, 蒋士菊², 王 刚¹, 秦元柱³, 王 君^{1*}

(1. 山东省泰安市农业技术推广中心, 山东 泰安 271000; 2. 山东省宁阳县磁窑镇农技站, 山东 泰安 271000; 3. 山东青莲菊业有限公司, 山东 泰安 271000)

摘要:为系统评估含聚谷氨酸有机肥对菊花产量、品质及对土壤的调控效应, 本研究于2024年在新泰市翟镇菊花种植区开展田间试验, 设置常规施肥、常规施肥+有机肥、常规施肥+含聚谷氨酸有机肥3个处理, 系统比较不同处理条件下菊花的产量和品质, 土壤中细菌、真菌和放线菌的数量, 土壤酶活性。结果表明, 施用含聚谷氨酸的有机肥处理不仅可以显著提升菊花的产量和品质, 还对土壤产生积极作用。相较于对照组(CK), 单株花数增加8.13%, 百朵鲜花重增加4.49%, 产量增加12.58%; 在菊花品质指标方面, 总黄酮含量提高9.15%, 绿原酸含量提高13.10%, 总糖含量提高10.82%, 总氨基酸含量提高20.70%; 土壤中细菌、真菌和放线菌的平均数量分别增加102.70%、109.79%、44.81%, 脲酶活性提高15.69%, 过氧化氢酶活性提高15.13%, 蔗糖酶活性提高23.27%, 酸性磷酸酶活性提高19.60%。基肥中配施聚谷氨酸有机肥的处理模式, 在显著提高菊花产量和品质的同时, 可有效提高土壤酶活性与微生物量。

关键词:聚谷氨酸; 有机肥; 菊花; 产量; 品质

中图分类号: S141.9

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2026)02-0041-06

Effects of Applying Organic Fertilizer Containing Polyglutamic Acid on Chrysanthemum Yield, Quality and Soil Activity

HUANG Jian¹, JIANG Shiju², WANG Gang¹, QIN Yuanzhu³, WANG Jun^{1*}

(1. Shandong Taian Agro-tech Extension and Service Center, Taian 271000; 2. Shandong Ningyang Ciyao Town Agricultural Technology Station, Taian 271000; 3. Shandong Qinglian Chrysanthemum Industry Co., Ltd., Taian 271000, China)

Abstract: To systematically evaluate the regulatory effects of organic fertilizers containing polyglutamic acid on chrysanthemum yield, quality and the soil environment, a field experiment was conducted in the chrysanthemum planting area of Zhai Town, Xintai City in 2024. Three fertilization treatments were established: conventional fertilization(CK), conventional fertilization combined with organic fertilizer, and conventional fertilization combined with polyglutamic acid-containing organic fertilizer. The chrysanthemum yield and quality, the population sizes of soil bacteria, fungi, and actinomycetes, as well as soil enzyme activities under different treatments were systematically compared. The results showed that the application of polyglutamic acid-containing organic fertilizer not only significantly increased chrysanthemum yield and quality but also exerted a positive regulatory effect on the soil environment. Compared with the control(CK), the number of flowers per plant increased by 8.13%, the weight of 100 fresh flowers increased by 4.49%, and the yield increased by 12.58%. In terms of quality indicators, the total flavonoid content increased by 9.15%, chlorogenic acid content by 13.10%, total sugar content by 10.82%, and total amino acid content by 20.70%. The average population sizes of soil bacteria, fungi, and actinomycetes increased by 102.70%, 109.79%, and 44.81%, respectively. Soil urease activity increased by 15.69%, catalase activity by 15.13%, sucrase activity by 23.27%, and acid phosphatase activity by 19.60%. The application of polyglutamic acid-containing organic fertilizer as base fertilizer not only significantly improved chrysan-

收稿日期: 2025-04-01

基金项目: 山东省重大科技创新工程项目(2020CXGC010803)

作者简介: 黄 剑(1982-), 男, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料研究及推广工作。

通信作者: 王 君, E-mail: tastfz@163.com

themum yield and quality but also effectively enhanced soil enzyme activities and microbial biomass.

Key words: Polyglutamic acid; Organic fertilizer; Chrysanthemum; Yield; Quality

菊花(*Chrysanthemum morifolium* Ramat.)作为我国传统名花,兼具观赏价值和药用功效,其花朵富含绿原酸、黄酮类化合物等活性成分,在食品加工、医药保健领域展现出较高的经济价值^[1-2]。然而,长期连作障碍和化肥过量施用易引发土壤板结、地力衰退等问题,严重制约菊花的产量及品质提升。研究表明,菊花连作5年后土壤脲酶活性降低32.6%,有效磷含量下降28.4%,直接影响产量与次生代谢产物积累^[3-5]。因此,开发新型功能性肥料以改善根际土壤质量,是突破菊花种植连作障碍的重要技术路径。

聚谷氨酸(γ -PGA)作为天然高分子聚合物,分子链上的羧基赋予其独特的水肥调控功能;同时,聚谷氨酸也是一种有机氮源,能够螯合土壤中的部分阳离子,通过络合作用将其导入植物体内,从而提高肥料利用率,研究证实,施用聚谷氨酸可使氮肥利用率提高18.7%~22.3%^[6];在干旱胁迫下可诱导脯氨酸积累(增加41.2%),维持光合系统稳定,增强植物体的抗旱能力^[7-8];因具有保水保肥、平衡土壤酸碱性、增加作物抗逆性等功效,在农业生产中常被用作肥料增效剂^[9]。刁倩等^[10]研究发现,在复合肥中添加聚谷氨酸,水稻产量可提高4.1%~17.0%。魏全全等^[11]研究发现,施用聚谷氨酸增效肥可以显著提高茄子的产量与品质。

目前,关于聚谷氨酸的研究多集中于化学肥料增效领域,而在有机肥体系中引入聚谷氨酸的研究鲜见报道。本研究构建“蚯蚓粪-豆粕发酵基料-聚谷氨酸”三元复合体系,旨在验证含聚谷氨酸有机肥在菊花种植中的应用效果,为菊花种植产业的科学施肥管理提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2024年4—12月,在山东省新泰市翟镇兴隆屯村山东青莲菊业有限公司菊花种植区(N35°55',E117°41')进行,该区属温带季风气候,四季分明,降水均匀,光照充足。试验区面积15 hm²,土壤质地为砂壤土,土壤类型为淋溶褐土,0~20 cm土层pH值6.98,有机质含量11.42 g/kg,碱解氮含量115.12 mg/kg,有效磷含量45.31 mg/kg,速效钾含量116.75 mg/kg,土壤容重1.37 g/cm³,土壤总孔隙度48.23%。

1.2 试验材料

1.2.1 供试品种

供试菊花品种为金丝皇菊。

1.2.2 肥料的制备

将7份新鲜蚯蚓粪起堆,加入3份粉碎豆粕混合,5~7 d适量翻堆1次,至翻堆后温度不再上升为止,整个堆肥发酵过程25 d左右,再加入0.1份聚谷氨酸翻堆均匀,使用干净的取样器,从肥堆不同位置深入堆体内部,采集适量样品后混合均匀检测养分含量,检测合格即得含聚谷氨酸有机肥(指标含量:N+P₂O₅+K₂O≥4.0%,有机质≥30%,聚谷氨酸含量≥1%)。试验所用复合肥(N≥15%、P₂O₅≥15%、K₂O≥15%)、大量元素水溶肥(N≥15%、P₂O₅≥15%、K₂O≥20%,微量元素型)均购自山东金地肥业科技有限公司。

1.3 试验方法

本研究设3个处理,3次重复,每个小区面积40 m²,菊花宽窄行栽植,宽行距1 m,窄行距60 cm,株距40 cm,密度3.75万株/hm²,随机区组排列。其中,对照组(CK):常规施肥,基施复合肥750 kg/hm²;处理1(K₁):基施不含聚谷氨酸的有机肥1500 kg/hm²+复合肥750 kg/hm²;处理2(K₂):基施含聚谷氨酸有机肥1500 kg/hm²+复合肥750 kg/hm²。

于2024年4月,菊花定植前开沟施肥,将土壤与供试肥料充分混合后埋土浇水。追肥在花期喷施3次大量元素水溶肥,每次间隔10 d,每次用量75 kg/hm²。

2024年12月收获时,每个处理实取菊花鲜花100朵,再从中选取20朵大小均匀的鲜花进行统计分析,所有指标均取3次测定的平均值。收获后在每个小区内按“Z”字形布置采样点3个,每个采样点用土钻采集土样(混合后约0.5 kg)进行分析,重复3次。

1.4 检测指标及方法

1.4.1 菊花产量测定

2024年10月2日后,每个小区随机选取10株具有代表性的植株,从中随机选取100朵鲜花称得百朵鲜花重,重复3次,取平均值。统计单株花数并计算单株产量,单株产量×种植密度即为单位面积产量。

1.4.2 菊花品质测定

菊花品质指标主要包括总黄酮含量、绿原酸含量、总糖含量和总氨基酸含量。其中,总黄酮

的提取采用超声波提取法^[12],含量测定采用 AlCl_3 法^[13];绿原酸含量用 HPLC 法进行测定^[14];总糖含量采用蒽酮比色法进行测定^[15];总氨基酸含量参照 GB 5009.124—2016 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定,采用全自动高速氨基酸分析仪(LA8800,日本日立株式会社有限公司)进行测定。

1.4.3 土壤活性的测定

收获后测定各处理土壤酶活性及微生物量,采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定土壤脲酶活性,采用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性,采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定蔗糖酶活性,采用磷酸苯二钠比色法测定酸性磷酸酶活性^[16];土壤微生物量采用稀释涂布平板法进行分离计数,结果以每克土壤中菌落形成单位数(CFU)表示,细菌、真菌和放线菌培养基分别采用牛肉膏蛋白胨琼脂、PDA 和改良高氏 1 号琼脂培养基^[17]。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2017 软件进行数据统计,SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析和 LSD 组间多重比较分析,采用 Pearson 相关系数法分析指标间的相关性,采用 Origin 2022 软件进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 不同处理对菊花产量的影响

由表 1 可知, K_2 处理在产量构成要素上表现最优,与 CK 和 K_1 处理差异显著。 K_2 处理的单株花数达 101.45 朵,较 CK 增加 8.13%,较 K_1 增加 2.51%;百朵鲜花重 466.09 g,较 CK 增加 4.49%,较 K_1 增加 2.16%;产量达 17 730.48 kg/hm^2 ,较 CK 增加 12.58%,较 K_1 增加 6.26%。这表明聚谷氨酸的添加可通过协同提升单株花数和百朵鲜花重实现产量增加。

表 1 不同处理对菊花产量的影响

Table 1 Effect of different treatments on chrysanthemum yield

处理 Treatment	单株花数/朵 Number of flowers per plant	百朵鲜花重/g 100-fresh flower weight	产量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ Yield
CK	93.82±1.58c	446.06±2.19c	15 748.60±29.82c
K_1	98.97±0.59b	456.42±5.26b	16 686.10±117.50b
K_2	101.45±1.59a	466.09±2.25a	17 730.48±192.92a

注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同。

Note: The different lowercase letters indicated significant differences($P<0.05$), the same below.

2.2 不同处理对菊花品质的影响

由表 2 可知,基施含聚谷氨酸有机肥可显著提升菊花功能性成分与营养品质。 K_2 处理菊花的总黄酮含量达 19.09 mg/g ,较 CK 高 9.15%,较 K_1 高 3.19%;绿原酸含量 0.95 mg/g ,较 CK 高 13.10%,较 K_1 高 4.40%;总糖与总氨基酸含量分别为 5.21% 和

3.79%,较 CK 处理分别高 10.82% 和 20.70%,较 K_1 组分别高 4.99% 和 3.55%。值得注意的是,总氨基酸含量增幅达 20.70%,表明聚谷氨酸可能通过促进氮素代谢显著改善菊花营养品质,而绿原酸和黄酮类物质协同提升,进一步强化了菊花的药用价值。

表 2 不同处理对菊花品质的影响

Table 2 Effect of different treatments on quality of the chrysanthemum

处理 Treatment	总黄酮含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ Total flavonoid content	绿原酸含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ Chlorogenic acid content	总糖含量/% Total sugar content	总氨基酸含量/% Total amino acid content
CK	17.49±0.14c	0.84±0.010c	4.62±0.02c	3.14±0.02c
K_1	18.50±0.11b	0.91±0.018b	4.90±0.03b	3.66±0.02b
K_2	19.09±0.26a	0.95±0.025a	5.21±0.04a	3.79±0.04a

2.3 不同处理对土壤酶活性及微生物量的影响

由表 3 可知,基施含聚谷氨酸有机肥可显著提升土壤酶活性。 K_2 处理脲酶活性达 1.18 $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{d})$,

较 CK 高 15.69%,较 K_1 高 7.27%;过氧化氢酶活性 10.58 $\text{mL}/(\text{g}\cdot\text{d})$,较 CK 高 15.13%,较 K_1 高 8.62%;蔗糖酶与酸性磷酸酶活性分别为 13.88 $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{d})$ 和

14.52 mg/(g·d), 较 CK 处理分别提高 23.27% 和 19.60%, 较 K₁ 处理分别提高 13.31% 和 9.83%。其中, 蔗糖酶活性增幅最为显著, 提高了 23.27%, 表明聚谷氨酸可能通过促进碳代谢的方式加速土壤有

机质分解, 而酸性磷酸酶活性的提高(提高 19.60%) 则有助于提高土壤磷素有效性。不仅如此, K₂ 处理与 CK、K₁ 处理间酶活性的差异均达显著水平, 证明聚谷氨酸对土壤酶活性具有促进作用。

表 3 不同处理对收获后土壤酶活性的影响

Table 3 Effect of different treatments on soil enzyme activities after harvest

处理 Treatment	脲酶活性/mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹ Urease activity	过氧化氢酶活性/mL·g ⁻¹ ·d ⁻¹ Catalase activity	蔗糖酶活性/mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹ Sucrase activity	酸性磷酸酶活性/mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹ Acid phosphatase activity
CK	1.02±0.01c	9.19±0.07b	11.26±0.85b	12.14±0.37b
K ₁	1.10±0.03b	9.74±0.37b	12.25±0.88b	13.22±0.36b
K ₂	1.18±0.02a	10.58±0.23a	13.88±1.69a	14.52±1.04a

由表 4 可知, K₂ 处理的放线菌总菌落数达 9.76×10⁵ CFU/g, 较 CK 高 44.81%; 较 K₁ 高 31.36%; 真菌与细菌总菌落数分别为 15.65×10³ CFU/g 和 25.52×10⁶ CFU/g, 较 CK 处理分别提升 109.79% 和 102.70%, 较 K₁ 处理分别提升 50.48% 和 14.39%。值得注意的是, K₂ 处理的真菌与细菌总菌落数分

别是 K₁ 处理的 1.50 倍和 1.14 倍, 表明聚谷氨酸可能通过特异性调控微生物群落结构(尤其是革兰氏阴性菌的增殖), 形成更具活力的根际微生态系统。K₁ 处理虽较 CK 处理提升土壤微生物总量 73.85%, 但聚谷氨酸的添加使微生物总量进一步提升 14.94%, 体现出显著的协同增效作用。

表 4 不同处理对土壤微生物量的影响

Table 4 Effect of different treatments on soil microorganisms

处理 Treatment	放线菌总菌落数/×10 ⁵ CFU·g ⁻¹ Total colony count of actinomycetes	真菌总菌落数/×10 ³ CFU·g ⁻¹ Total colony count of fungal	细菌总菌落数/×10 ⁶ CFU·g ⁻¹ Total colony count of bacterial
CK	6.74±0.02c	7.46±0.014c	12.59±0.02c
K ₁	7.43±0.02b	10.40±0.015b	22.31±0.04b
K ₂	9.76±0.04a	15.65±0.030a	25.52±0.52a

2.4 各指标相关性分析

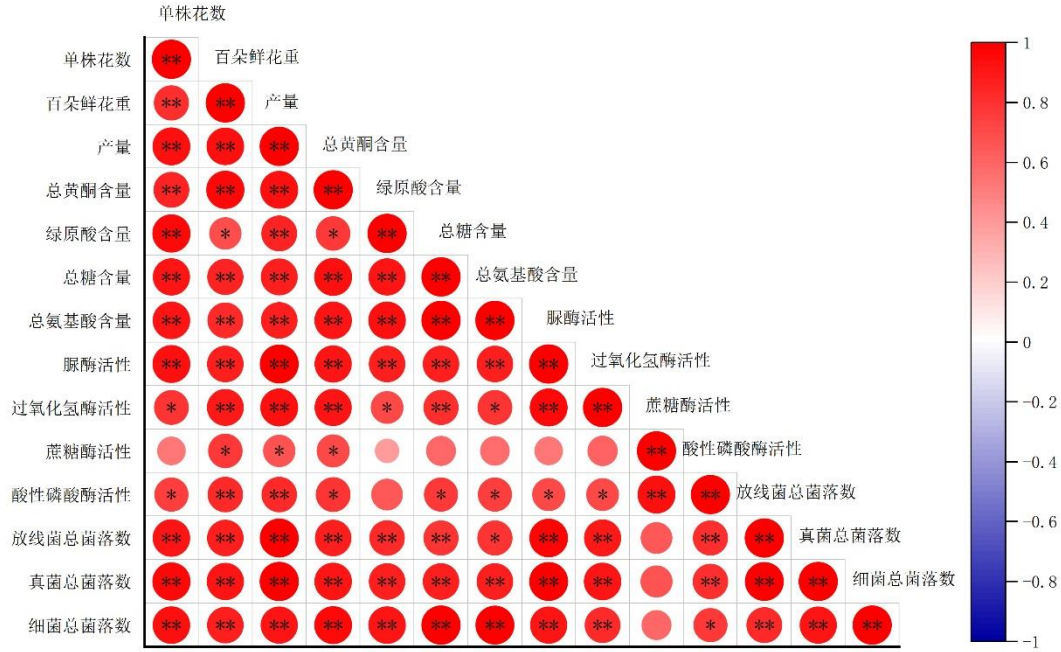
由图 1 可知, 菊花产量、品质与土壤生物活性间呈显著相关。单株花数与土壤中脲酶活性、放线菌总菌落数、真菌总菌落数、细菌总菌落数呈极显著正相关; 百朵鲜花重、产量除与蔗糖酶活性呈显著正相关, 与土壤中脲酶活性、过氧化氢酶活性、酸性磷酸酶活性及各种微生物菌落数均呈现极显著正相关; 品质指标总黄酮含量、总糖含量与脲酶活性、过氧化氢酶活性、放线菌总菌落数、真菌总菌落数、细菌总菌落数呈极显著正相关; 总氨基酸含量与土壤中真菌总菌落数、细菌总菌落数、脲酶活性呈极显著正相关; 绿原酸含量与土壤放线菌总菌落数、真菌总菌落数、细菌总菌落数、脲酶活性呈极显著正相关。聚谷氨酸有机肥处理通过提升土壤酶活性和微生物丰度, 形成“微生物-酶活性-养分吸收”的正向反馈循环, 最终促进菊花功能性成分积累, 体现了多

维度协同优化效应, 这与上述单项指标的分析结果一致。

3 讨论与结论

3.1 含聚谷氨酸有机肥对菊花产量的影响

菊花作为典型的喜钾作物, 其产量形成与钾素吸收密切相关^[18-20], 增加钾肥的施肥比例或者提高钾肥的利用率对菊花增产效果显著^[21]。刘大会等^[22]研究表明, 适量增施钾肥可以提高菊花的品质与产量。本研究结果表明, 含聚谷氨酸有机肥对菊花的单株花数、百朵鲜花重以及产量有明显正向作用, 推测其作用机制可归于三重协同效应。钾素活化机制: 聚谷氨酸分子链上含有羧基和氨基等活性基团, 通过螯合作用将土壤中被固定的钾离子转化成可交换态, 有效提高钾素利用率。该过程有效缓解了钾离子与土壤胶体的吸附固定效应, 促进根系对钾素的吸收运输, 从而增



注：“*”表示显著相关(P<0.05);“**”表示极显著相关(P<0.01)。

Note: * indicates significant correlation(P<0.05); ** indicates extremely significant correlation(P<0.01).

图1 菊花产量、品质与土壤酶活性及微生物量相关性热图

Fig.1 Correlation heat map of yield, quality, soil enzyme activity and soil microorganisms of the chrysanthemum

强光合作用产物向花的分配。水肥耦合效应:聚谷氨酸的三维网状结构具有极强的吸水能力,可以吸收自身重量数十倍的水分,并且形成稳定水膜,从而增强作物的抗旱性。这种保水保肥特性为菊花的生长提供持续的养分供应,可显著提升肥料利用率。根际微生态优化:由于含聚谷氨酸有机肥可以改善土壤结构,增加土壤孔隙度,从而增加土壤的通气性与透水性,有利于菊花根系生长,而发达的根系可以提高对养分的吸收能力,从而为地上部分的生长发育提供保障。这些机制共同解释了本研究中基施含聚谷氨酸有机肥 1 500 kg/hm²+复合肥 750 kg/hm² 处理增加单株花数和百朵鲜花重的现象,为聚谷氨酸在菊花高产栽培中的应用提供了理论依据。

3.2 含聚谷氨酸有机肥对菊花品质的影响

聚谷氨酸作为天然生物高分子,在改善作物品质方面的作用已得到验证。研究表明,喷施 800 倍液聚谷氨酸肥处理可使葡萄可溶性固形物含量显著提高^[23]。本研究中,施用含聚谷氨酸有机肥处理菊花的总黄酮含量、总氨基酸含量得到显著提升,与上述研究结果高度契合,其原因是:聚谷氨酸既能直接当营养物质又能作肥料增效剂使用,不仅可以通过提高土壤中微量元素的吸收率来改善品质,自身在土壤中也就会被分解为单分子的氨基酸,易被菊花吸收,使菊花品质得到改善。

3.3 含聚谷氨酸有机肥对土壤酶活性及微生物量的影响

有研究表明,聚谷氨酸可以显著提升土壤微生物量碳(MBC)和氮(MBN)含量,此两项指标变化可以直观反映土壤微生物的活性高低与微生物群落结构的差异^[24],聚谷氨酸通过促进根系分泌物与微生物相互作用,形成“养分活化-微生物增殖-酶活性提升”的正向反馈。

本研究中,K₂处理可显著提高土壤酶活性并增加土壤微生物量。推测原因:聚谷氨酸可以有效促进土壤中有益微生物的生长与繁殖,这些有益微生物可以加速土壤中有机物的分解,抑制有害菌的生长,从而增加了土壤酶活性与微生物量;含聚谷氨酸有机肥的保水保肥性可以改善土壤环境,良好的土壤环境为微生物的繁殖提供了良好的场所,加速土壤微生物的代谢,而微生物在代谢过程中会产生各种活化酶,会显著提高土壤酶活性。因此基施用含聚谷氨酸有机肥处理在改良土壤方面具有显著的正向作用。

本研究深入探究了含聚谷氨酸有机肥对菊花产量、品质及土壤酶活性和微生物量的影响,为含聚谷氨酸有机肥在菊花生产上的广泛应用提供理论依据。

参考文献:

[1] 吴香婷,刘晴,赵诗聪,等. HPLC法同时测定杞菊叶黄酮酯

- 颗粒中绿原酸、木犀草苷、异绿原酸 A 的含量[J]. 特产研究, 2024(4): 110-115.
- WU X T, LIU Q, ZHAO S C, et al. Simultaneous determination of chlorogenic acid, luteoloside, and isochlorogenic acid A in Qiju Lutein Ester Granules by HPLC[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2024(4): 110-115. (in Chinese)
- [2] 邓晓颜, 王小兰, 李孟, 等. 怀菊花总黄酮富集纯化工艺优化及其抗炎活性、成分组成研究[J]. 中成药, 2023, 45(9): 2815-2821.
- DENG X Y, WANG X L, LI M, et al. Optimization of enrichment and purification process of total flavonoids from Huai Chrysanthemum and study on its anti-inflammatory activity and component composition[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2023, 45(9): 2815-2821. (in Chinese)
- [3] 史静, 张乃明, 包立. 我国设施农业土壤质量退化特征与调控研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(7): 787-794.
- SHI J, ZHANG N M, BAO L. Research advances in characteristics and regulation of soil quality degradation in protected agriculture in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(7): 787-794. (in Chinese)
- [4] 董艳, 董坤, 鲁耀, 等. 设施栽培对土壤化学性质及微生物区系的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2009, 24(3): 418-423.
- DONG Y, DONG K, LU Y, et al. Effects of protected cultivation on soil chemical properties and microbial flora[J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science), 2009, 24(3): 418-423. (in Chinese)
- [5] 余海英, 李廷轩, 周健民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究[J]. 土壤学报, 2006, 42(4): 571-576.
- YU H Y, LI T X, ZHOU J M. Study on variation of soil salinity and its potential environmental effects in typical protected cultivation[J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 42(4): 571-576. (in Chinese)
- [6] 肖家昶, 雷凤芸, 格桑, 等. 外源喷施氨基酸肥对豆瓣菜生长与硒吸收的影响[J]. 浙江农业学报, 2023, 35(7): 1638-1647.
- XIAO J C, LEI F Y, GE S, et al. Effects of exogenous application of amino acid fertilizer on growth and selenium absorption in watercress[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2023, 35(7): 1638-1647. (in Chinese)
- [7] 朱安婷, 蒋友武, 谢国生, 等. 外源聚 γ -谷氨酸对水稻幼苗耐旱性和渗透调节的影响[J]. 核农学报, 2010, 24(6): 1269-1273.
- ZHU A T, JIANG Y W, XIE G S, et al. Effects of exogenous poly- γ -glutamic acid on drought tolerance and osmotic adjustment of rice seedlings[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010, 24(6): 1269-1273. (in Chinese)
- [8] 张盼盼, 党永富, 李川, 等. 氮肥减施下施用炭吸附聚谷氨酸叶面肥对夏玉米产量、氮素累积和转运的影响[J]. 玉米科学, 2022, 30(2): 143-150.
- ZHANG P P, DANG Y F, LI C, et al. Effects of foliar application of carbon-adsorbed polyglutamic acid fertilizer on yield, nitrogen accumulation and translocation of summer maize under reduced nitrogen application[J]. Journal of Maize Sciences, 2022, 30(2): 143-150. (in Chinese)
- [9] 曹丽茹, 鲁晓民, 王国瑞, 等. 叶面喷施炭吸附聚谷氨酸对玉米生长发育的影响[J]. 作物杂志, 2022(2): 158-166.
- CAO L R, LU X M, WANG G R, et al. Effects of foliar application of carbon-adsorbed polyglutamic acid on growth and development of maize[J]. Crops, 2022(2): 158-166. (in Chinese)
- [10] 刁倩, 王斌, 曹辉, 等. γ -聚谷氨酸对水稻、玉米、大豆生长及产量的影响[J]. 南方农业, 2020, 14(28): 48-52.
- DIAO Q, WANG B, CAO H, et al. Effects of γ -polyglutamic acid on growth and yield of rice, maize and soybean[J]. South China Agriculture, 2020, 14(28): 48-52. (in Chinese)
- [11] 魏全全, 张萌, 苟久兰, 等. 聚谷氨酸增效肥料对贵州黄壤区露天茄子生物效应及肥料利用率的影响[J]. 河南农业科学, 2022, 51(5): 53-61.
- WEI Q Q, ZHANG M, GOU J L, et al. Effects of polyglutamic acid synergistic fertilizer on biological effects and fertilizer utilization rate of open-field eggplant in yellow soil area of Guizhou[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2022, 51(5): 53-61. (in Chinese)
- [12] 宋琳琳, 罗乐, 武鹏飞. 超声波法对菊花中总黄酮提取工艺的优化[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(10): 188-189, 192.
- SONG L L, LUO L, WU P F. Optimization of ultrasonic extraction process of total flavonoids from chrysanthemum[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010, 38(10): 188-189, 192. (in Chinese)
- [13] 杜鹃, 吴忠红. 新疆昆仑雪菊总黄酮含量测定方法研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(1): 93-96.
- DU J, WU Z H. Study on the determination method of total flavonoids in Xinjiang Kunlun snow chrysanthemum[J]. Food Research and Development, 2015, 36(1): 93-96. (in Chinese)
- [14] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[S]. 北京: 中国医学科技出版社, 2020.
- [15] 李鑫, 王春旭, 赵地, 等. 生物种衣剂对绿豆生长及产量的比较研究[J]. 东北农业科学, 2023, 48(2): 27-31.
- LI X, WANG C X, ZHAO D, et al. Comparative study of biological seed coating agent on growth and yield of mung bean[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2023, 48(2): 27-31. (in Chinese)
- [16] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 243-323. .
- [17] 沈萍, 陈向东. 微生物学实验(第5版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018: 56, 89.
- [18] 祝丽香, 王建华, 孙印石, 等. 杭白菊氮磷钾吸收、积累及分配规律研究[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(23): 2999-3003.
- ZHU L X, WANG J H, SUN Y S, et al. Study on absorption, accumulation and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium in Chrysanthemum morifolium Ramat.[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2009, 34(23): 2999-3003. (in Chinese)
- [19] 杨可鑫, 赵鑫, 葛红, 等. 不同滴灌施肥模式对切花菊生物量、品质和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(4): 777-788.
- YANG K X, ZHAO X, GE H, et al. Effects of different drip fertilization modes on biomass, quality and nutrient absorption of cut chrysanthemum[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2023, 29(4): 777-788. (in Chinese)

- cannabinoids content in hemp germplasm resources[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(5): 25-31. (in Chinese)
- [30] 罗静,孙绘健,杜珊珊,等. 25个不同基因型陆地棉品种种子萌发期耐盐性评价[J]. 中国棉花, 2024, 51(7): 23-30.
LUO J, SUN H J, DU S S, et al. Evaluation on salt tolerance of 25 upland cotton varieties during germination[J]. China Cotton, 2024, 51(7): 23-30. (in Chinese)
- [31] QIU L C. Research progress on the effects of soil acidity and alkalinity on plant growth[J]. Open Journal of Applied Sciences, 2022, 12(6): 1045-1053.
- [32] CHOJAK-KOŹNIEWSKA J, LINKIEWICZ A, SOWA S, et al. Interactive effects of salt stress and pseudomonas syringae pv. lachrymans infection in cucumber: Involvement of antioxidant enzymes, abscisic acid and salicylic acid[J]. Environmental and Experimental Botany, 2017, 136: 9-20.
- [33] 沈波,王豪,焦猛,等. 不同日本杜鹃品种盐胁迫下生理响应及评价研究[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(5): 1264-1269.
SHEN B, WANG H, JIAO M, et al. Physiological response and evaluation of different Japanese *Rhododendron* varieties under salt stress[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2023, 64(5): 1264-1269. (in Chinese)
- [34] 胡余楠,张涛,胡苑,等. 5种杜鹃花叶片生理特性对海拔高度适应性初探[J]. 中国野生植物资源, 2024, 43(5): 57-62.
HU Y N, ZHANG T, HU W, et al. Preliminary study on the adaptability of leaf physiological characteristics of five *Rhododendron* species to altitude[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2024, 43(5): 57-62. (in Chinese)
- [35] ZHAO Z, LIU J H, JIA R Z, et al. Physiological and TMT-based proteomic analysis of oat early seedlings in response to alkali stress[J]. Journal of Proteomics, 2019, 193(20): 10-16.
- [36] 王曼力,项洪涛,李琬,等. 淹水胁迫下烯效唑缓解小豆幼苗茎部生理损伤的效应研究[J]. 东北农业科学, 2024, 49(2): 17-24.
WANG M L, XIANG H T, LI W, et al. Mitigating effects of uniconazole on physiological damage and yield of adzuki bean seedlings under waterlogging stress[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(2): 17-24. (in Chinese)
- [37] 梁琼月,潘明君,尹永强,等. 外源ABA对低温胁迫下烤烟幼苗生理指标的影响[J]. 东北农业科学, 2023, 48(5): 51-55.
LIANG Q Y, PAN M J, YIN Y Q, et al. Effects of exogenous ABA on physiology index of tobacco seedling under cold stress[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2023, 48(5): 51-55. (in Chinese)
- [38] 张乐华,周广,孙宝腾,等. 高温胁迫对两种常绿杜鹃亚属植物幼苗生理生化特性的影响[J]. 植物科学学报, 2011, 29(3): 362-369.
ZHANG L H, ZHOU G, SUN B T, et al. Physiological and biochemical effects of high temperature stress on the seedlings of two *Rhododendron* species of subgenus *Hymenanthes*[J]. Chinese Journal of Plant Science, 2011, 29(3): 362-369. (in Chinese)
- [39] 李彦平,宋红霞. CO₂ 加富对温室小型黄瓜光合特性和幼苗质量的影响[J]. 东北农业科学, 2023, 48(6): 117-120, 140.
LI Y P, SONG H X. Effects of CO₂ enrichment on photosynthetic characteristics and seedling quality of mini-cucumber in greenhouse[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2023, 48(6): 117-120, 140. (in Chinese)
- [40] ZHOU X, WANG Y, SHEN S. Transcriptomic comparison reveals modifications in gene expression, photosynthesis, and cell wall in woody plant as responses to external pH changes[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, 203: 111007.
- [41] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Reviews of Plant Physiology, 1982, 33(1): 317-345.
- (责任编辑:范杰英)
-
- (上接第46页)
- [20] 李森,赵平,姜蓉,等. 鲜切菊花品种‘Cedis’多头小菊和‘Country’多头菊养分需求特性研究[J]. 园艺学报, 2018, 45(3): 591-598.
LI M, ZHAO P, JIANG R, et al. Studies on nutrient requirement characteristics of fresh-cut chrysanthemum cultivars ‘Cedis’ multi-head small chrysanthemum and ‘Country’ multi-head chrysanthemum[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2018, 45(3): 591-598. (in Chinese)
- [21] 吕华军,刘秀梅,王辉,等. 施肥模式对连作菊花生长状况及产量的影响[J]. 土壤, 2012, 44(5): 747-753.
LYU H J, LIU X M, WANG H, et al. Effects of fertilization patterns on growth and yield of chrysanthemum under continuous cropping[J]. Soils, 2012, 44(5): 747-753. (in Chinese)
- [22] 刘大会,杨特武,朱端卫,等. 不同钾肥用量对福田河白菊产量和质量的影响[J]. 中草药, 2007, 38(1): 120-124.
LIU D H, YANG T W, ZHU D W, et al. Effects of different potassium fertilizer rates on yield and quality of Futianhe white chrysanthemum[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2007, 38(1): 120-124.
- [23] 闫可,申海林,邹利人,等. 叶面喷施γ-聚谷氨酸生物菌肥对葡萄生长发育的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2017(4): 40-43.
YAN K, SHEN H L, ZOU L R, et al. Effects of foliar application of γ-polyglutamic acid bio-fertilizer on growth and development of grape[J]. Sino-overseas Grapevine & Wine, 2017(4): 40-43. (in Chinese)
- [24] 王晓军,李和明,马廷吉,等. 秦艽不同种植年限对根际土壤微生物群落结构影响的研究[J]. 东北农业科学, 2024, 49(6): 45-49.
WANG X J, LI H M, MA T J, et al. Effects of different planting years of *Gentiana macrophylla* on rhizosphere soil microbial community structure[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(6): 45-49. (in Chinese)
- (责任编辑:范杰英)