

不同种植密度对生姜生长特性、产量及块茎品质的影响

浦亦斌¹, 周细斌², 杨 繁^{2*}, 唐志强²

(1. 中国地质大学, 武汉 430074; 2. 湖北生态工程职业技术学院, 武汉 430200)

摘要:为明确不同种植密度对生姜(*Zingiber officinale* Rosc.)生长特性、产量及块茎品质的影响,以“长姜1号”为材料,设置4种种植密度,系统分析了种植密度对生姜生长、光合特性、产量及品质的影响。结果表明,不同种植密度对生姜的株高、茎粗、根鲜重、茎鲜重、叶鲜重及根冠比均产生显著影响($P<0.05$),随密度降低,各指标均呈上升趋势,其中以T4处理下表现最优。T4处理下生姜叶片净光合速率、蒸腾速率及胞间CO₂浓度较当地常规种植密度处理(T2)相比显著提高16.08%、25.51%和6.19%。T3处理下产量最高,较T1、T2和T4分别提高16.88%、8.45%和15.76%,表明适中密度有助于协调个体与群体关系,实现产量最优。品质方面,随着种植密度降低,姜辣素、可溶性蛋白、维生素C及姜黄素含量均增加,而粗纤维含量降低。综合考虑不同种植密度处理下生姜生长、产量与品质表现,T3和T4处理在产量与品质间表现较为协调,适宜作为湖北地区“长姜1号”栽培的最佳种植密度。

关键词:生姜;种植密度;生长特性;产量;块茎品质

中图分类号:S632.5

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2026)03-0045-06

Effects of Different Planting Densities on the Growth Characteristics, Yield and Tuber Quality of Ginger

PU Yibin¹, ZHOU Xibin², YANG Fan^{2*}, TANG Zhiqiang²

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074; 2. Hubei Ecology Polytechnic College, Wuhan 430200, China)

Abstract: To clarify the effects of different planting densities on the growth characteristics, yield, and tuber quality of ginger(*Zingiber officinale* Rosc.), this study used the “Changjiang No. 1” cultivar and established four planting densities. The results indicated that planting density significantly affected ginger yield, photosynthetic characteristics, quality, and yield ($P<0.05$). All parameters increased with decreasing density, with T4 showing the most favorable performance. The net photosynthetic rate, transpiration rate and intercellular CO₂ concentration of ginger leaves under T4 treatment were significantly increased by 16.08%, 25.51%, and 6.19% compared with the local conventional planting density treatment(T2). The T3 treatment yielded the highest yield, exceeding T1, T2, and T4 by 16.88%, 8.45%, and 15.76%, respectively, indicating that moderate density helps balance individual and collective relationships to achieve optimal yield. Regarding quality, as density decreased, gingerol, soluble protein, vitamin C, and curcumin content all increased, while crude fiber content decreased. Comprehensively considering the growth, yield, and quality performance of ginger under different planting density treatments, the T3 and T4 treatments showed relatively harmonious performance in terms of yield and quality, and were suitable as the optimal planting densities for the cultivation of “Changjiang No.1” in Hubei region.

Key words: Ginger; Planting density; Growth characteristic; Yield; Tuber quality

生姜(*Zingiber officinale* Rosc.)别称姜根、百辣云和勾装指等,是姜科(Zingiberaceae)姜属(*Zingiber*)多年生草本植物姜的新鲜根茎,以其独特的辛辣

风味和丰富的营养成分而闻名,是一种兼具食用、药用和出口经济价值的特产作物,深受广大消费者的喜爱^[1-2]。近年来,随着国内外市场对绿色、健康农产品需求的不断增长,生姜产业呈现出快速发展的趋势,据统计数据,截至2024年,中国现有生姜种植面积达33万hm²,生姜年产量达580万t,占世界总产量的38.32%,已经成为全球

收稿日期:2025-09-26

作者简介:浦亦斌(2005-),男,从事生姜种植管理研究。

通信作者:杨 繁, E-mail: 123116159@qq.com

生姜生产和出口的主要国家^[2-3]。在生姜种植生产过程中,影响产量与品质的因素较多,包括品种^[4]、土壤肥力^[5]、水肥管理^[6]、栽培密度^[7]、病虫害防治及气候条件等。其中,种植密度是影响作物群体结构、光能利用率和产量品质形成的关键农艺因子之一。近年来,随着种植面积的不断扩大和市场需求的持续增长,生姜种植生产中普遍出现了密度配置不合理、个体发育与群体产量矛盾突出的现象,这对生姜生长、产量和品质的形成产生显著影响,严重制约了生姜产业发展。为此,合理确定生姜种植密度,是实现生姜高产、优质和高效栽培的重要环节。

目前,学者针对作物密度效应进行了大量研究^[7-8]。种植密度对莱芜小姜、丽水小黄姜和嘉兴红爪姜植株生长量、产量和淀粉含量影响显著^[9]。不同土壤肥力条件下生姜株高均随着种植密度的增加而增加,合理的种植密度有利于生姜产量的形成^[10]。尽管国内外对生姜及其近缘作物的密度效应已有一定研究,但仍存在以下两个问题:①现有研究主要集中在北方干旱或半干旱地区,针对南方湿润地区的研究相对较少,由于不同生态环境下的温度、湿度和光照条件存在差异,同一密度水平在不同地区可能表现出不同的产量与品质响应。②现有研究多注重产量变化,而忽视了对生姜的生长动态和品质形成机理的研究。密度变化不仅影响群体数量结构,更影响光合效率和干物质积累等生理过程,从而影响根茎膨大与品质形成。因此,有必要结合地区气候与品种特性,开展系统的密度优化研究,为生姜高效栽培提供科学依据。

湖北省鄂州市鄂城区地处北亚热带季风性气候区,具有雨量丰沛、热量充足、雨热同季、光热同季、冬冷夏热、四季分明等特点。该地区种植的“长姜1号”等品种块茎膨大快、品质优良、适应性强,但在生产中存在密度配置经验性强、缺乏量化标准等问题。为此,本研究以“长姜1号”为试验材料,通过设置不同种植密度处理,系统分析其对生姜生长特性、产量及块茎品质的影响规律,旨在揭示密度变化对生姜个体生长与群体结构的调节作用,明确密度对块茎产量与品质的影响趋势,筛选出适合湖北地区生态条件的最佳种植密度,为实现湖北地区生姜高产优质栽培提供理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于湖北省鄂州市鄂城区汀祖镇刘显村

鄂城黄姜种植示范基地,该地区年均气温17.1℃,年降水量1282.5 mm,年均无霜期266 d,年均日照时长2003.8 h,是湖北地区主要生姜种植核心区。播前0~20 cm土层土壤pH为5.58,土壤容重为1.32 g/cm³,有机质为10.73 g/kg,速效氮含量为1.35 mg/kg,速效磷含量为148.73 mg/kg,速效钾含量为97.59 mg/kg。

1.2 试验材料

供试生姜品种为“长姜1号”,由湖北美田生物科技有限公司联合长江大学等单位选育,具有抗病性强、产量高、品质优等特点。

1.3 试验设计

本研究采用单因素随机区组试验设计,设置4个种植密度(株距×行距):T1(15 cm×60 cm)、T2(20 cm×60 cm)、T3(25 cm×60 cm)和T4(30 cm×60 cm),其中,T2处理为当地生产中常规种植密度,每个处理3次重复,共计12个试验小区,每个处理小区面积为12 m×10 m=120 m²。生姜于2025年2月24日进行种植,播种前每666.7 m²基施腐熟牛粪有机肥1200 kg、复合肥(N:P₂O₅:K₂O=18:5:20)80 kg和5 kg硫酸钾,同时在生姜三苗和五苗时期每666.7 m²分别追施复合肥(N:P₂O₅:K₂O=18:5:20)15 kg,9月15日收获。为避免其他因素的干扰,各处理小区之间除种植密度不同外,其他田间管理措施均保持一致。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 生长指标的测定

在生姜成熟收获期,每个处理随机选取10株生姜植株,利用卷尺测定株高,利用游标卡尺测定茎粗,同时每个处理小区选取5株植株,挖出并清洗干净后,按照器官分为根、茎和叶3部分,利用电子天平进行称重。最后计算根冠比,根冠比=根系鲜重/地上鲜重。

1.4.2 光合特性指标的测定

光合指标的测定在生姜光合旺盛期进行(生姜块茎膨大期,2025年7月16日),在当天9:00-11:30利用LI-6400便携式光合测定仪进行测定,测定叶片为生姜植株中部完全展开叶,每个处理重复测定3次,测定指标包括净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和胞间CO₂浓度。

1.4.3 产量的测定

在生姜成熟收获期,每个处理将所有生姜植株全部挖出,用清水冲洗干净泥土和去除茎叶等杂质后进行称重,计算得到生姜产量,计算公式如下:

$$\text{生姜产量}(\text{kg}/666.7 \text{ m}^2) = (666.7 \text{ m}^2 \times \text{小区产量}) /$$

小区面积。

1.4.4 品质指标的测定

采用铁氰化钾-三氯化铁比色法测定生姜辣素含量^[11],采用考马斯亮蓝染色法测定生姜可溶性蛋白含量^[12],采用酸-洗涤法测定生姜粗纤维含量^[13],采用高效液相色谱法测定生姜维生素C含量^[14],采用紫外-可见分光光度计法测定姜黄素含量。

1.5 数据统计与分析

采用 Excel 2022 软件进行数据整理, IBM SPSS 22.0 进行方差分析,处理间多重比较采用 LSD 法进行比较, Origin 2025 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同种植密度对生姜生长特性的影响

由表 1 可知,不同种植密度处理对生姜的株

高、茎粗、根鲜重、茎鲜重、叶鲜重及根冠比均产生显著影响($P<0.05$)。具体表现为,随着生姜种植密度的减小,生姜的株高、地上部及地下部鲜重均呈逐渐上升趋势,其中低密度 T4(30 cm×60 cm)处理表现最优。高密度 T1(15 cm×60 cm)处理株高最低,T4 处理下株高和茎粗分别达到 112.57 cm 和 11.92 mm,较当地常规种植密度处理(T2)相比分别显著提高 4.29% 和 9.66%,说明适度密植有利于茎秆加粗及植株生长。在生物量方面,随着生姜种植密度的降低,生姜根鲜重、茎鲜重和叶鲜重显著增加($P<0.05$),以 T4 处理表现最优,该处理下生姜根鲜重、茎鲜重、叶鲜重分别达到 931.81、785.89、325.63 g,较 T2 处理相比分别提高 9.08%、4.10% 和 10.63%,同时还有利于根冠比的提高,这说明合理密植可促进光合产物的积累与分配,增强地上与地下部生长协调性。

表 1 不同种植密度处理下的生姜生长表现

Table 1 Ginger growth performance under different planting density treatments

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem thickness	根鲜重/g Fresh root weight	茎鲜重/g Fresh stem weight	叶鲜重/g Fresh leaf weight	根冠比 Root-shoot ratio
T1	105.67±3.25d	10.16±0.10b	798.64±5.24d	732.58±2.15d	276.48±1.38d	0.792±0.003d
T2	107.94±2.21c	10.87±0.12a	854.29±4.32c	754.91±1.97c	294.35±1.86c	0.814±0.002c
T3	110.81±1.98b	11.15±0.11a	897.37±3.21b	771.43±2.32b	311.27±1.57b	0.829±0.005b
T4	112.57±2.15a	11.92±0.12a	931.81±4.45a	785.89±1.76a	325.63±1.92a	0.838±0.004a

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters table indicate significant differences($P<0.05$), the same below.

2.2 不同种植密度对生姜光合特性的影响

由表 2 可知,种植密度对生姜叶片光合特性指标蒸腾速率、净光合速率和胞间 CO₂ 浓度均有显著影响($P<0.05$),但气孔导度间影响不显著($P>0.05$)。具体表现为随着生姜密度降低,生姜叶片胞间 CO₂ 浓度、气孔导度、蒸腾速率和净光合速率均逐渐升高,T4 处理下生姜叶片胞间 CO₂ 浓度、气孔导

度、蒸腾速率和净光合速率分别为 174.42 μmol/mol、0.32 mol/m²·s、3.69 mmol/m²·s 和 12.56 μmol/m²·s,较当地常规种植密度处理(T2)相比分别提高 6.19%、18.52%、25.51% 和 16.08%。说明适宜低密度处理有助于形成合理群体结构,增强生姜的光合能力和生物量积累。

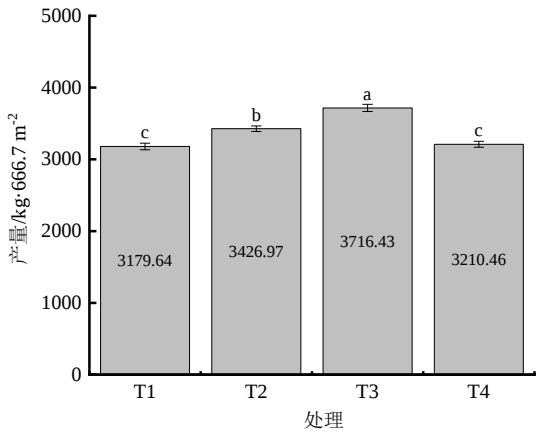
表 2 不同种植密度处理对生姜光合特性的影响

Table 2 Effects of different planting densities on the photosynthetic characteristics of ginger

处理 Treatment	气孔导度/mol·m ⁻² ·s ⁻¹ Stomatal conductance	蒸腾速率/mmol·m ⁻² ·s ⁻¹ Transpiration rate	净光合速率/μmol·m ² ·s ⁻¹ Net photosynthetic rate	胞间 CO ₂ 浓度/μmol·mol ⁻¹ Intercellular CO ₂ concentration
T1	0.24±0.004a	2.61±0.02d	9.76±0.05d	157.83±0.34d
T2	0.27±0.006a	2.94±0.01c	10.82±0.02c	164.25±0.27c
T3	0.30±0.005a	3.48±0.01b	11.94±0.04b	169.77±0.46b
T4	0.32±0.007a	3.69±0.03a	12.56±0.03a	174.42±0.51a

2.3 不同种植密度对生姜产量的影响

由图 1 可知,不同种植密度处理对生姜产量



注:表中同列不同小写字母表示不同种植密度处理下生姜产量间差异性达到显著性水平($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters within the same column in the figure indicate that the differences in ginger yield under different planting density treatments reached a significant level($P<0.05$).

图 1 不同种植密度处理下生姜产量表现

Fig. 1 Ginger yield performance under different planting density treatments

影响显著($P<0.05$)。具体表现为,随着种植密度的降低,生姜产量表现出先升高后下降的趋势,T3 处理产量最高,较 T1、T2 和 T4 处理相比分别增加 16.88%、8.45% 和 15.76%,且 T1 和 T4 处理间差异性不显著。

2.4 不同种植密度对生姜品质的影响

由表 3 可知,随着生姜种植密度的降低,姜辣素、可溶性蛋白、维生素 C 及姜黄素含量均呈上升趋势,而粗纤维含量则逐渐下降。T4 处理下生姜块茎姜辣素、可溶性蛋白、维生素 C 和姜黄素含量最高,分别为 0.92%、0.77%、2.81 mg/100 g 和 3.12%,较 T2 处理相比分别增加 13.58%、13.24%、8.49% 和 14.29%。与 T3 处理间无显著差异,T3 处理下生姜块茎姜辣素、可溶性蛋白、维生素 C 和姜黄素含量分别为 0.89%、0.72%、2.74 mg/100 g 和 2.97%,较 T4 处理相比分别降低 3.26%、6.49%、2.55% 和 4.81%。这说明低密度处理能显著改善生姜的营养与药品品质,提高辛辣风味、抗氧化能力及商品价值。

表 3 不同种植密度处理对生姜品质的影响

Table 3 Effects of different planting densities on ginger quality

处理 Treatment	姜辣素/% Gingerol	可溶性蛋白/% Soluble protein	粗纤维/% Crude fiber	维生素 C/mg·100 g ⁻¹ Vitamin C	姜黄素/% Curcumin
T1	0.75±0.01a	0.61±0.01a	1.51±0.02a	2.24±0.01c	2.14±0.02c
T2	0.81±0.01a	0.68±0.01a	1.34±0.04b	2.59±0.03b	2.73±0.01b
T3	0.89±0.02a	0.72±0.03a	1.20±0.05c	2.74±0.01a	2.97±0.02a
T4	0.92±0.01a	0.77±0.02a	1.18±0.03c	2.81±0.03a	3.12±0.03a

3 讨论与结论

本研究结果表明,种植密度对生姜株高、茎粗、根鲜重、茎鲜重、叶鲜重及根冠比均产生显著影响,且表现出随种植密度降低而逐渐增加趋势,适度稀植有利于生姜个体生长与生物量积累。其主要原因在于,低密度条件下植株间空间竞争减弱,根系分布范围扩大,土壤水分与养分吸收能力增强,同时冠层通风透光条件改善,促进光合有效辐射在群体间的均匀分布,从而提高光合效率与同化产物积累。这与曹光磊等^[15]和王超飞等^[16]研究结果相一致,进一步证明湖北地区在光热条件充足、降水丰沛的生态环境下,适当稀植能促进生姜的营养生长与生物量积累。

本研究结果显示,随着种植密度降低,生姜叶片的净光合速率、蒸腾速率及胞间 CO₂ 浓度显著

升高,其中 T4 处理的净光合速率较当地常规种植密度处理(T2)相比提高 16.08%。表明低密度通过改善冠层结构,增强了光照条件和通气性,从而提高了气孔导度及 CO₂ 吸收利用效率,促进光合产物的合成与运输。类似规律也在其他根茎作物中得到验证^[16-17]。在马铃薯栽培中,低密度显著提高叶片净光合速率和光能利用效率,促进干物质向块茎的分配^[17]。此外,本研究还发现,虽然生姜叶片气孔导度随密度降低略升高,但未达显著水平,这可能与生姜具有较强的气孔调节能力,在湿润环境下气孔限制效应较弱相关。

产量是个体生长与群体结构综合效应的体现。本研究结果表明,生姜产量随密度降低呈“先升后降”趋势,在 T3 处理下产量最高。这一规律符合多数作物产量对密度的“倒 U 型”响应模型^[17-19],这与许国春等^[20]关于马铃薯的研究结论相

一致。这种产量差异可能与地下块茎的分化与扩展模式有关。高密度条件下根茎竞争激烈,根系空间受限,块茎分化部位减少^[16,21];而低密度处理下,根茎能在松散土壤中充分伸展,促进块茎膨大和干物质积累。但当密度过低时,个体生长虽旺盛,但群体数量不足,使总产量下降,这进一步印证了密度优化的重要性^[15,20]。

生姜品质主要受姜辣素、可溶性蛋白、维生素C和姜黄素等功能成分含量影响。本研究结果显示,随着密度降低,姜辣素、可溶性蛋白、维生素C及姜黄素含量显著上升,而粗纤维含量降低。其原因可能是低密度条件下光照充足,促进了碳代谢与芳香族化合物的合成,增强了次生代谢途径中苯丙烷代谢和多酚类物质积累,从而提高了生姜辛辣风味与抗氧化性能^[22-25]。

综上可知,在湖北地区生姜种植中,不同种植密度对生姜生长、光合特性、产量及品质均产生显著影响,表现为随密度降低,生姜植株株高、茎粗、生物量及光合能力均显著增强。生姜产量随密度降低呈“先升后降”趋势,其中T3处理产量最高,较T1、T2和T4处理分别提高16.88%、8.45%和15.76%。同时低密度种植还有助于提升姜辣素、姜黄素、维生素C及可溶性蛋白含量,改善生姜块茎品质,但与T4处理间无显著差异。综合考虑不同种植密度处理下生姜生长、产量与品质表现,湖北地区“长姜1号”生姜的适宜种植密度在25 cm×60 cm~30 cm×60 cm,本研究可为该地区生姜高产优质栽培提供理论依据和技术参考。

参考文献:

- [1] 刘晖,郭清毅,寇明红,等.半夏间作生姜对产量、土壤酶活性和根际微生物群落结构的影响[J].微生物学通报, 2025, 52(4): 1600-1616.
LIU H, GUO Q Y, KOU M H, et al. Effects of intercropping ginger with pinellia on yield, soil enzyme activity and rhizosphere microbial community structure[J]. Microbiology China, 2025, 52 (4): 1600-1616. (in Chinese)
- [2] 杨岩,徐钰,石璟,等.不同栽培模式下的生姜干物质累积及养分吸收规律[J].中国土壤与肥料, 2023(8): 199-205.
YANG Y, XU Y, SHI J, et al. Patterns of dry matter accumulation and nutrient absorption of ginger under different cultivation modes[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2023(8): 199-205. (in Chinese)
- [3] 付丽军,王永存,张璐,等.生物有机肥部分替代化肥对生姜产量、养分利用效率及土壤肥力的影响[J].中国瓜菜, 2023, 36(8): 77-83.
FU L J, WANG Y C, ZHANG L, et al. Effects of partial substitution of chemical fertilizer with bio-organic fertilizer on yield, nutrient use efficiency and soil fertility of ginger[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2023, 36(8): 77-83. (in Chinese)
- [4] OSUNLETI S O, OLORUNMAIYE P M, ADEYEMI O R, et al. Growth and yield of mango ginger(*Curcuma amada* Roxb.) as influence of plant density, organo-mineral fertilizer, and weeding frequency[J]. Journal of Plant Nutrition, 2023, 46(7): 1377-1390.
- [5] 吴家丽,曹家洪,肖春光,等.不同姜块大小及密度对白水生姜生长的影响[J].长江蔬菜, 2023(18): 58-60.
WU J L, CAO J H, XIAO C G, et al. Effects of different ginger tuber sizes and planting densities on the growth of Baishui ginger[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2023(18): 58-60. (in Chinese)
- [6] 宋开慧,付瑶.不同种植密度对生姜种植效果的影响研究[J].农业开发与装备, 2023(1): 227-229.
SONG K H, FU Y. Study on the effects of different planting densities on ginger cultivation outcomes[J]. Agricultural Development & Equipments, 2023(1): 227-229. (in Chinese)
- [7] 刘文豪,李华盛,鹿金额,等.种植密度对作物生长及品质影响的研究进展[J].安徽农业科学, 2025, 53(18): 1-4.
LIU W H, LI H S, LU J Y, et al. Research progress on the effects of planting density on crop growth and quality[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2025, 53(18): 1-4. (in Chinese)
- [8] 李思博.不同施氮量和种植密度对两个加工型马铃薯产量和品质的影响[D].哈尔滨:东北农业大学, 2025.
- [9] 蔡盼,张立权,史努益,等.3个不同生姜品种的种植密度试验[J].浙江农业科学, 2025, 66(5): 1133-1137.
CAI P, ZHANG L Q, SHI N Y, et al. Planting density trials of three ginger cultivars[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2025, 66(5): 1133-1137. (in Chinese)
- [10] 邵宏升.不同地力条件下种植密度及其与施肥互作对生姜产量的影响[J].蔬菜, 2024(6): 45-51.
SHAO H S. Effects of planting density and its interaction with fertilisation on ginger yield under varying soil fertility conditions [J]. Vegetables, 2024(6): 45-51. (in Chinese)
- [11] 王春勇,李贺,王耐红,等.生物肥料基肥对生姜生长及姜黄素、姜辣素成分含量的影响[J].中国瓜菜, 2023, 36(7): 111-116.
WANG C Y, LI H, WANG N H, et al. Effects of biofertiliser as base fertiliser on ginger growth and curcumin/zingerone content [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2023, 36(7): 111-116. (in Chinese)
- [12] 王金艳,李喜林,刘骏,等.叶面喷施亚硒酸钠对怀姜硒含量、农艺及品质性状的影响[J].农业科技通讯, 2025(9): 93-98.
WANG J Y, LI X L, LIU J, et al. Effects of foliar application of sodium selenite on selenium content, agronomic traits and quality characteristics of Huai ginger[J]. Agriculture Communications, 2025(9): 93-98. (in Chinese)
- [13] HERBSTTRIT S, RICHARD T L, LENCE S H, et al. Rye as an energy cover crop: Management, forage quality, and revenue opportunities for feed and bioenergy[J]. Agriculture, 2022, 12(10): 1691.
- [14] 马绍鎏,俞飞飞,葛治欢,等.叶面喷施二氢叶吩铁对‘铜陵

- 白姜'品质和产量的影响[J]. 植物生理学报, 2024, 60(4): 635-642.
- MA S Y, YU F F, GE Z H, et al. Effects of foliar application of dihydroporphyrin iron on the quality and yield of "Tongling White Ginger" [J]. *Plant Physiology Communications*, 2024, 60(4): 635-642. (in Chinese)
- [15] 曹光磊, 姜国霞, 高产, 等. 不同密度对生姜种植效果的影响[J]. 陕西农业科学, 2019, 65(6): 30-32.
- CAO G L, JIANG G X, GAO C, et al. Effects of different planting densities on ginger cultivation outcomes[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 65(6): 30-32. (in Chinese)
- [16] 王超飞, 段合明. 不同种植密度对生姜种植效果的影响[J]. 种子科技, 2021, 39(18): 135-136.
- WANG C F, DUAN H M. Effects of different planting densities on ginger cultivation outcomes[J]. *Seed Science and Technology*, 2021, 39(18): 135-136. (in Chinese)
- [17] 王春艳, 孟浩峰, 李玲玲, 等. 氮密互作对旱作马铃薯光合特性、干物质积累及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2024, 42(5): 118-127, 138.
- WANG C Y, MENG H F, LI L L, et al. Effects of nitrogen-density interaction on photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and yield of dryland potatoes[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2024, 42(5): 118-127, 138. (in Chinese)
- [18] 田龙兵, 沈兆崑, 赵孝天, 等. 种植密度与施氮量互作对不同玉米品种产量和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2024, 57(21): 4221-4237.
- TIAN L B, SHEN Z Y, ZHAO X T, et al. Interaction of planting density and nitrogen application rate on yield and water use efficiency of different maize varieties[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2024, 57(21): 4221-4237. (in Chinese)
- [19] 柴尔政, 马佳丽, 张红娟, 等. 不同种植密度对引大灌区青贮玉米产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(9): 33-38.
- CHAI E Z, MA J L, ZHANG H J, et al. Effects of different planting densities on yield and quality of silage maize in the Yinda irrigation district[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2024, 43(9): 33-38. (in Chinese)
- [20] 许国春, 李华伟, 罗文彬, 等. 密度与施氮及其互作对冬作马铃薯产量和氮肥农学利用率的影响[J]. 福建农业学报, 2020, 35(4): 406-413.
- XU G C, LI H W, LUO W B, et al. Effects of planting density, nitrogen application, and their interaction on winter potato yield and nitrogen fertiliser agronomic use efficiency[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 35(4): 406-413. (in Chinese)
- [21] 李齐向, 刘连生, 陈由禹, 等. 利用311-A最优回归设计研究密度和氮钾肥配施对生姜产量的影响[J]. 福建农业学报, 2014, 29(2): 157-159.
- LI Q X, LIU L S, CHEN Y Y, et al. Study on the effects of planting density and combined application of nitrogen and potassium fertilisers on ginger yield using 311-A optimal regression design[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 29(2): 157-159. (in Chinese)
- [22] 王兴翠, 张静, 范燕山, 等. 不同水平钙肥对设施生姜生长、产量和根茎品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(2): 112-117.
- WANG X C, ZHANG J, FAN Y S, et al. Effects of different levels of calcium fertiliser on growth, yield and rhizome quality of protected-culture ginger[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2024, 37(2): 112-117. (in Chinese)
- [23] 梁魁景, 于占晶, 侯晓杰, 等. 姜内生细菌鉴定及对储藏期梨黑斑病菌丝抑制作用初探[J]. 东北农业科学, 2022, 47(3): 113-116, 160.
- LIANG K J, YU Z J, HOU X J, et al. Identification of endophytic bacteria in ginger and preliminary study on their inhibitory effect on black spot fungal hyphae during storage[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2022, 47(3): 113-116, 160. (in Chinese)
- [24] 何红君, 王茹, 张波, 等. 不同移栽密度对“大乌嘴”黄花菜品种产量及品质的影响[J]. 东北农业科学, 2021, 46(3): 82-85.
- HE H J, WANG R, ZHANG B, et al. Effects of different transplanting densities on yield and quality of daylily cultivar "Da Wuzui"[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2021, 46(3): 82-85. (in Chinese)
- [25] 郭建国. 种植密度对豫北太行山区连翘生长和产量的影响[J]. 东北农业科学, 2025, 50(4): 23-27.
- GUO J G. Effects of planting density on growth and yield of forsythia in the Taihang Mountains of northern Henan[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2025, 50(4): 23-27. (in Chinese)

(责任编辑:王 昱)