

不同施氮水平对白辣椒生长、产量和品质的影响

韦 静¹, 郭勤卫¹, 张 婷¹, 方萍萍¹, 易小磊¹, 谢利芬¹, 李朝森^{1*}, 杨 翀^{2*}

1. 衢州市农业林业科学研究院, 浙江衢州 324000; 2. 湘湖实验室 (农业浙江省实验室), 浙江杭州 311200

摘 要: 白辣椒是浙江省极具特色的辣椒类型, 为明确其最佳的施氮水平, 通过设施栽培试验, 分析 5 个不同施氮处理 (0 kg/hm², T₀; 150 kg/hm², T₁; 195 kg/hm², T₂; 240 kg/hm², T₃; 285 kg/hm², T₄) 对白辣椒生长发育、品质、植株氮元素含量积累的影响。结果表明: 辣椒主茎高、株高、株幅、茎粗、茎和叶生物量、产量指标均随着施氮量的增加而升高。其中, 果宽、单果质量和产量在 T₄ 处理中达到最大值, 分别比对照提高了 36.27%、76.30%、32.16%, T₃ 处理次之, 而 T₃ 处理的果长达到最大。此外, 辣椒叶片的光合能力也随着施氮量的增加而增强, 其中, T₃ 和 T₄ 处理显著高于其他处理。在品质方面, 施氮量对辣椒品质也有一定影响, 维生素 C 和二氢辣椒素含量均随施氮量的增加而降低, 而辣椒素、总辣椒素和氨基酸含量则呈先升后降的趋势。不同施氮量对辣椒根、茎、果的氮吸收影响较小, 但对叶片的氮吸收影响显著, T₂ 处理的叶片氮含量达到最高。通过主成分分析对辣椒产量和品质 10 个指标进行综合评价, 得出白辣椒的最佳施氮量为 T₃ (240 kg/hm²)。

关键词: 白辣椒; 氮肥; 产量; 品质; 主成分分析

中图分类号: S31 文献标志码: A

Effects of Different Nitrogen Levels on the Growth, Yield and Quality of White-fruited Peppers

WEI Jing¹, GUO Qinwei¹, ZHANG Ting¹, FANG Pingping¹, YI Xiaolei¹, XIE Lifen¹, LI Chaosen^{1*}, YANG Chong^{2*}

1. Quzhou Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Quzhou, Zhejiang 324000, China; 2. Xianghu Laboratory (Agricultural Zhejiang Provincial Laboratory), Hangzhou, Zhejiang 311200, China

Abstract: White-fruited pepper is a highly distinctive type of pepper in Zhejiang province. In order to determine the optimal nitrogen level for this variety, a facility cultivation experiment was conducted to analyze the effects of five different nitrogen treatments: 0 kg/hm², T₀; 150 kg/hm², T₁; 195 kg/hm², T₂; 240 kg/hm², T₃; 285 kg/hm², T₄, on the growth, development, quality and accumulation of nitrogen elements in white pepper plants. The results showed that the main stem height, plant height, canopy width, stem diameter, stem and leaf biomass and yield of peppers increased with the application of nitrogen. Notably, fruit width, single fruit weight and yield reached the maximum under the T₄ treatment, with increased of 36.27%, 76.30% and 32.16% respectively compared to the control, followed by T₃, while the T₃ treatment produced the longest fruits. Furthermore, the photosynthetic capacity of the pepper leaves improved with higher nitrogen application, with T₃ and T₄ treatments showing significantly better performance than the others. The quality of peppers was also influenced by nitrogen application. Nitrogen application also affected the quality of the pepper. The content of vitamin C and dihydrocapsaicin decreased with the increasing nitrogen levels, while the levels of capsaicin, total capsaicin and amino acids showed a trend of first increasing and then decreasing. Different nitrogen levels had a minor impact on nitrogen absorption in the roots, stems and fruits of peppers, but significantly affected nitrogen absorption in the leaves, with the T₂ treatment achieving the highest leaf nitrogen content. Through principal

收稿日期 2024-09-15; 接受日期 2024-12-23

基金项目 浙江省农业农村厅蔬菜产业技术项目 (浙农科发[2023]13 号 SC-38); 衢州市科技计划项目 (No. 2022K22); 浙江省农业农村厅市级农科院联盟项目 (No. 2023SJLM18)。

作者简介 韦 静 (1996—), 女, 硕士, 农艺师, 研究方向: 辣椒育种及栽培技术。*通信作者 (Corresponding author): 李朝森 (LI Chaosen), E-mail: 327055733@qq.com; 杨 翀 (YANG Chong), E-mail: parker815@163.com。

component analysis of the 10 indicators related to yield and quality, the optimal nitrogen application for white-fruited peppers is T_3 (240 kg/hm²).

Keywords: white-fruited pepper; nitrogen fertilizer; yield; quality; principal component analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.04.017

白辣椒 (*Capsicum annuum* L.), 果色乳白, 光泽度好, 是浙江省最具特色的辣椒类型, 因其鲜辣口味深受浙中、西、南等地区消费者的喜爱。目前市场上栽培面积较大的白辣椒品种有衢椒 1 号、玉龙椒、衢椒 5 号等, 均为衢州市农业林业科学研究院自主选育^[1-3]。新品种一经推出, 在同类型品种市场占有率超 90%, 近 3 a 白辣椒在浙江、广东、福建、江西等地推广种植面积超过 13 333.33 hm², 增效 2.26 亿元, 有效推动了浙江省乃至全国白辣椒产业的高质量发展, 在服务农业、助农增收促共富中发挥了重要作用。

近年来, 随着经济的快速发展、居民消费水平的提高以及多样化的消费需求, 蔬菜产业逐渐从重产量向重品质转型发展。氮肥是对作物营养生长、增产最显著的营养元素之一。但在蔬菜栽培过程中, 一味追求高产, 过量施入氮肥, 导致蔬菜徒长、抗病性差、亚硝酸盐含量超标、品质差等众多问题, 产量和品质难以兼顾的矛盾日益凸显。通过合理施氮有利于提高蔬菜的品质与产量, 成为众多专家学者研究的重点。苏欣^[4]通过对小白菜、菠菜、辣椒等蔬菜的氮肥研究表明, 在一定范围内, 蔬菜产量随着施氮量的增加而增加, 超过一定用量后, 产量不再增加。适当施用氮肥能维持蔬菜的维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白含量在适宜水平, 但氮肥过量, 将导致亚硝酸盐含量上升。赵凤艳等^[5]对油菜、生菜和茼蒿的施氮量研究表明, 油菜和生菜硝酸盐含量与施氮量呈显著正相关, 3 种蔬菜的维生素 C 含量均随施氮量的增加而降低。王金玲^[6]研究了氮肥对辣椒果实辣椒素代谢、品质和产量的影响, 结果表明, 增加氮肥用量后降低了辣椒果肉中的辣椒素、维生素 C 和可溶性糖含量。刘冲等^[7]通过研究表明, 在苏北盐碱地增加氮肥有利于提高马齿苋的游离氨基酸和脯氨酸含量, 提高其品质。综上, 明确氮肥用量对于保证高品质蔬菜生产十分重要。

白辣椒果实苦味淡, 鲜辣味突出, 已有研究表明游离氨基酸含量和辣椒素含量对辣椒风味贡献大^[8]。目前, 对辣椒不同氮肥水平的研究主要

关注氮肥对维生素 C、亚硝酸盐、可溶性糖、粗蛋白等品质指标的影响, 而对果肉辣椒素、氨基酸含量的影响研究较少。因此, 本研究把辣椒素、氨基酸、维生素 C 含量作为白辣椒感官品质和营养品质的重要指标, 以衢椒 5 号白果辣椒为研究对象, 探讨不同氮肥水平对白辣椒生长、产量和品质的影响, 以期为提高白辣椒产量、提升白辣椒鲜辣口感提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

于 2023 年 7—11 月在衢州市农业林业科学研究院东湖科研创新基地连栋式温室大棚中进行试验, 前茬作物为番茄, 土质为黄壤。土壤基本理化性质: pH 7.29, 碱解氮为 203.73 mg/kg, 速效磷为 13.53 mg/kg, 速效钾为 57.32 mg/kg, 有机质为 51.75 g/kg。

供试辣椒品种为衢椒 5 号, 系衢州市农业林业科学研究院自主选育的白果辣椒。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 设置 5 个氮肥水平: 0 kg/hm², T_0 ; 150 kg/hm², T_1 ; 195 kg/hm², T_2 ; 240 kg/hm², T_3 ; 285 kg/hm², T_4 。不同处理除氮素含量不同外, 磷、钾肥含量相同, 磷 (P_2O_5) 含量为 135 kg/hm², 钾 (K_2O) 含量为 300 kg/hm²。小区面积为 27 m², 每个处理 3 次重复, 随机区组排列。每个小区辣椒双行种植, 株距 0.45 m, 行距 0.50 m, 每个小区定植 80 株。

试验使用的氮肥为尿素 (含 N 46%), 磷肥为钙镁磷肥 (含 P_2O_5 12%), 钾肥为硫酸钾 (含 K_2O 52%)。磷肥全部用于基肥, 氮肥和钾肥按基肥 30%、追肥 70% 的比例进行分配。追肥分别于苗期、坐果初期和采摘期分 12 次施入。辣椒于 2023 年 7 月 18 日播种, 2023 年 8 月 22 日定植, 2023 年 12 月 23 日收获完毕。

1.2.2 指标测定 在辣椒门椒成熟期, 每个小区随机取 8 株测定辣椒株高、株幅、主茎高、茎粗、叶绿素相对含量、净光合速率等指标。在辣椒结果盛期, 每个小区随机取 5 株辣椒的同一节位辣

椒测定果实长度、宽度、果实含水量、辣椒素、氨基酸、维生素 C 含量等指标。辣椒果实分小区分批采收,最后统计辣椒总产量。于最后 1 次采收时每个小区随机取 3 株,采集辣椒植株根、茎、叶等组织,洗净、擦干,于 115 ℃ 杀青,80 ℃ 烘干至恒重,称取不同组织的干物质量。烘干样品粉碎、研磨、过筛后分析辣椒不同组织的氮养分含量。

采用烘干法测定辣椒果实含水量。维生素 C 含量采用索莱宝抗坏血酸/总抗坏血酸含量检测试剂盒进行提取,使用赛默飞(美国)多功能酶标仪进行测定;采用 SHIMADZU-LC20A 液相色谱仪(岛津)测定辣椒素含量^[9];采用 LA8090 高速氨基酸分析仪测定氨基酸含量^[10];采用凯式定氮法进行测定植株氮含量^[11];采用叶绿素计 SPAD-502 Plus(日本)测定叶绿素相对含量

(SPAD 值);采用 Li-cor(美国) Li-6800 光合荧光测量系统测定净光合速率(P_n)。

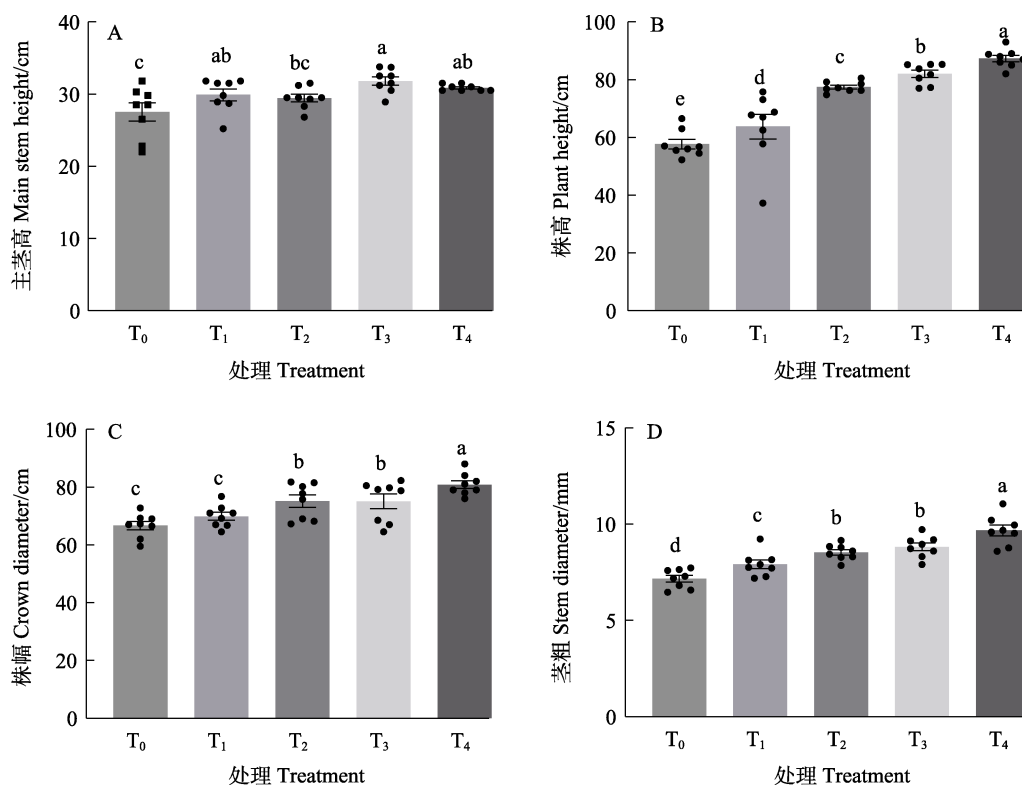
1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据整理,采用 GraphPad Prism 10.0 软件、ChiPlot 作图网站制图。采用 IBM SPSS Statistics 19 软件进行数据统计、单因素方差分析和相关性分析,采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较,采用皮尔逊(Pearson)检测法进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平对辣椒生长发育的影响

2.1.1 对辣椒植株形态及生物量的影响 如图 1 所示,随着施氮量的增加,辣椒主茎高呈先升高后降低的趋势,且 T_3 处理达到最大值(图 1A),而辣椒株高、株幅、茎粗则逐渐升高(图 1B~图 1D)。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

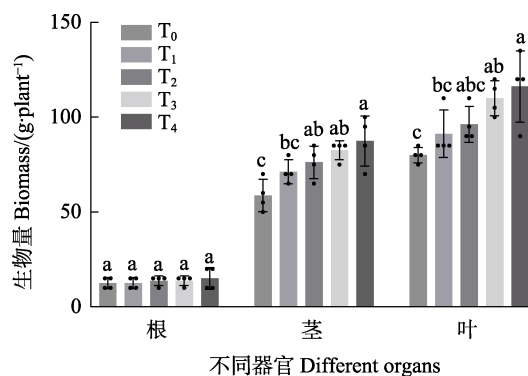
Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 1 不同施氮水平对辣椒植株形态的影响

Fig. 1 Effect of different nitrogen levels on morphology of pepper plants

如图 2 所示,随着施氮量的增加,辣椒植株不同器官的生物量呈逐渐上升的趋势(由于果实分批采收,未统计果实的生物量)。不同处理的根系生物量虽有升高趋势,但未达到显著水平。茎

和叶组织的生物量均在 T_4 处理达到最大值, T_2 、 T_3 与 T_4 处理无显著性差异,表明氮水平在 T_2 时,植株叶和茎生物量已上升到较高水平,此时再提高氮水平,生物量增加不明显。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图2 不同施氮水平对单株辣椒各器官生物量的影响

Fig. 2 Effects of different nitrogen levels on biomass of various organs in pepper plants

2.1.2 对辣椒果实及产量的影响 如图3所示,辣椒果实的长度随施氮量的增加而升高, T₂处理达到最大值(图3A)。果实宽度和单果质量也随着施氮量的增加而升高, T₄处理达到最大值, 分别比对照(T₀)提高了36.27%和76.30%(图3B, 图3C)。产量数据结果表明, T₄处理的增产效果最好, 比T₀增产32.16%, T₁、T₂和T₃处理分别增产20.78%、21.84%、23.09%(图3D)。

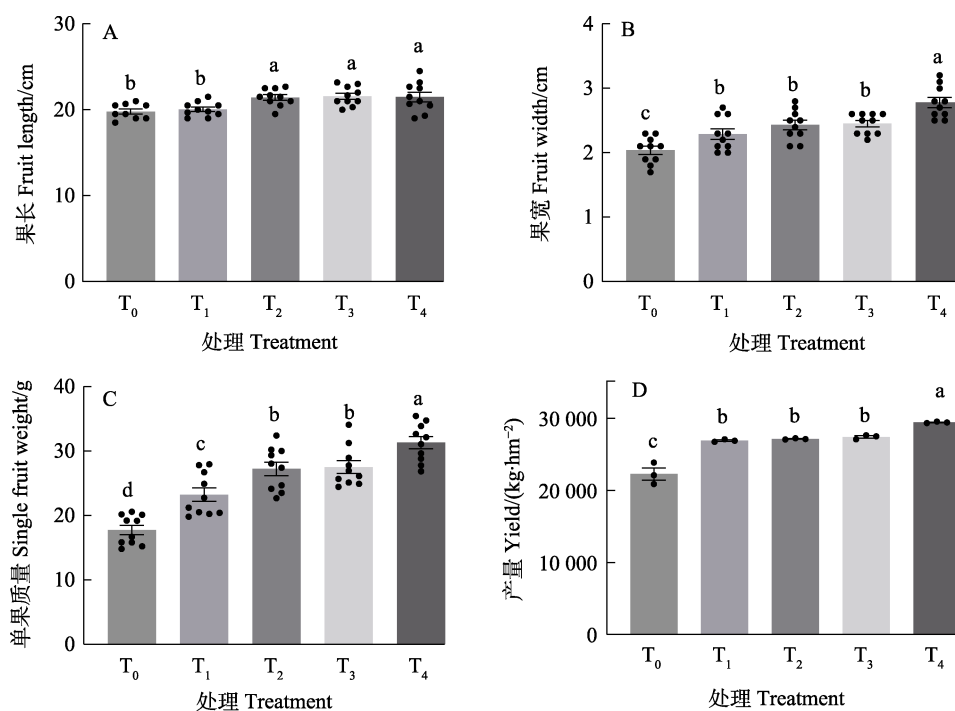
2.2 不同施氮水平对辣椒果实品质的影响

由图4可知, 不同施氮量对辣椒果实含水量

无显著影响(图4A), 但对辣椒果实其他品质影响较大。维生素C含量随施氮量的增加而降低, T₁处理对维生素C含量的不利影响较小(图4B)。辣椒素含量随施氮量的增加呈先升高后降低的趋势, T₁处理的辣椒素含量比T₀提高了13.44%, T₄处理的辣椒素含量下降幅度最大, 达31.64%(图4C)。二氢辣椒素含量随施氮量的增加而下降, T₄处理的辣椒素含量下降幅度最大, 达28.49%(图4D)。总辣椒素含量的变化趋势与辣椒素含量的变化趋势相同, 均在T₁处理达到最大值(图4E)。总游离氨基酸含量和鲜味氨基酸含量均随施氮量的增加呈先升高后降低的趋势, T₁处理的总游离氨基酸含量达到最大值, 比T₀增加12.92%, T₂处理的鲜味氨基酸含量达到最大值, 比T₀增加17.30%(图4F, 图4G)。结果表明适度增施氮肥有利于提高辣椒总游离氨基酸含量, 提高辣椒鲜味。

2.3 不同施氮水平对辣椒植株氮吸收的影响

如图5所示, 除T₄处理根的全氮含量显著升高外, 其他处理的氮含量与T₀均无显著性差异。不同氮肥处理对茎的全氮含量无显著影响。氮肥的施用有利于增加叶片的全氮含量, 对叶片全氮含量的影响呈先升高后下降的趋势, T₂处理的叶

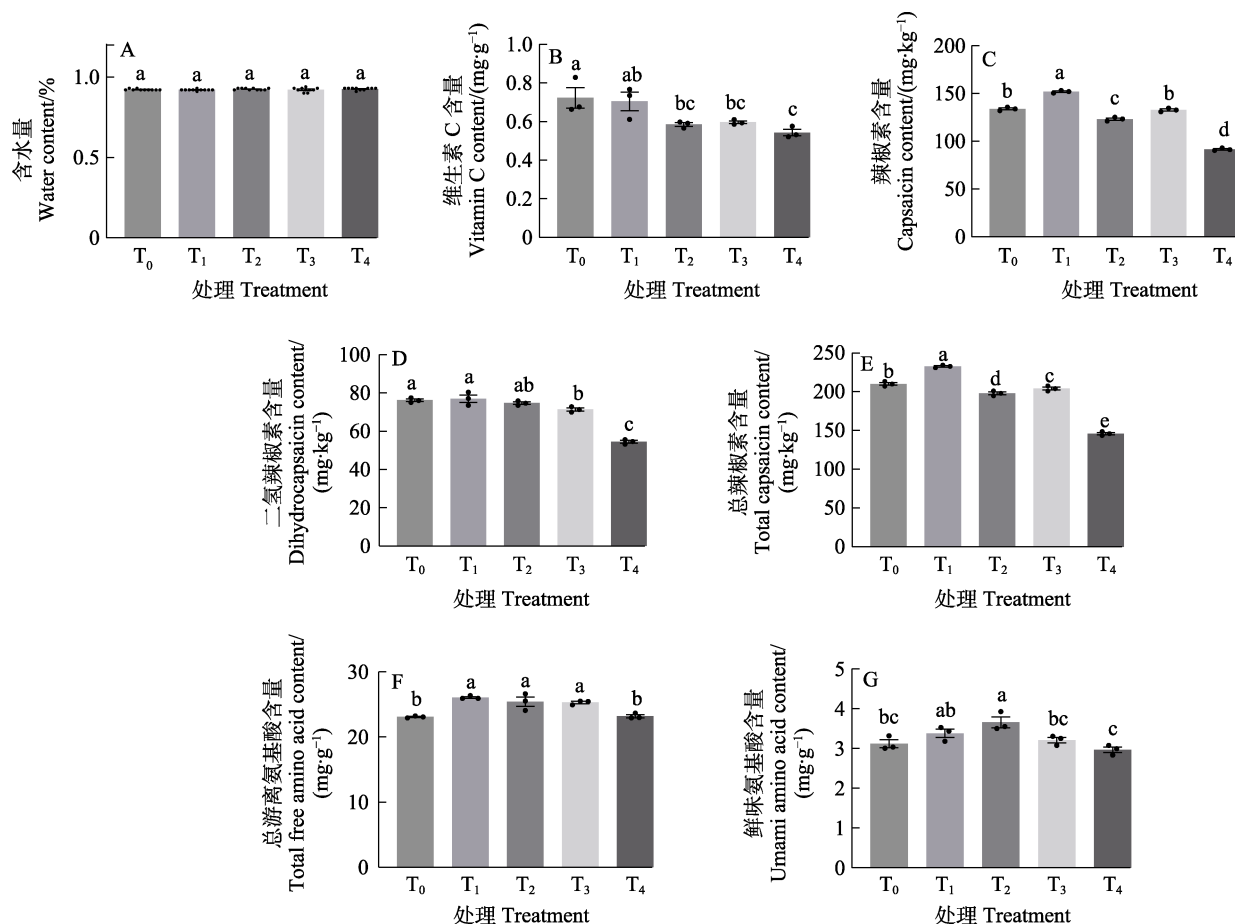


不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图3 不同施氮水平对辣椒果实和产量的影响

Fig. 3 Effects of different nitrogen levels on pepper fruits and yield



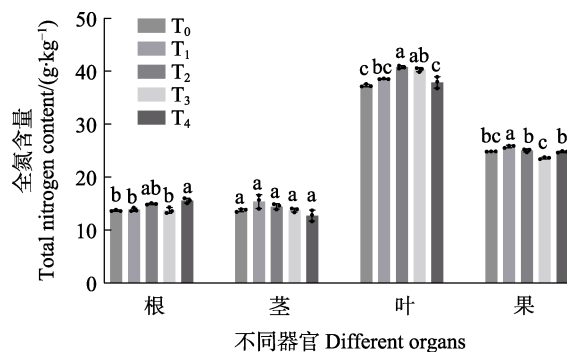
总辣椒素指辣椒素和二氢辣椒素含量的总和；鲜味氨基酸指天冬氨酸、谷氨酸、赖氨酸含量的总和。

不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

The total capsaicin refers to total content of capsaicin and dihydrocapsaicin; Umami amino acids refer to the total content of aspartic acid, glutamic acid and lysine. Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 4 不同施氮水平对辣椒果实品质的影响

Fig. 4 Effects of different nitrogen levels on quality of pepper fruits



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 5 不同施氮水平对辣椒植株各器官全氮含量的影响

Fig. 5 Effects of different nitrogen levels on total nitrogen content of various organs in pepper plants

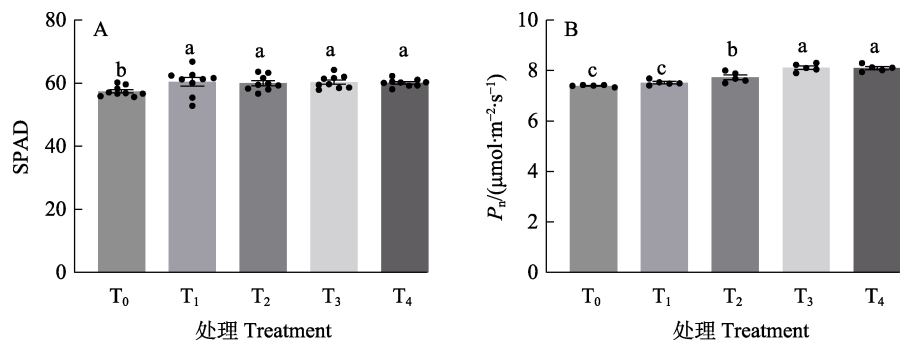
片全氮含量达到最大，比 T_0 增加 9.30%。不同施氮水平对果实的全氮含量影响较小， T_1 处理比 T_0 增加 3.85%，而 T_3 处理比 T_0 减少 4.86%。

2.4 不同施氮水平对辣椒光合作用的影响

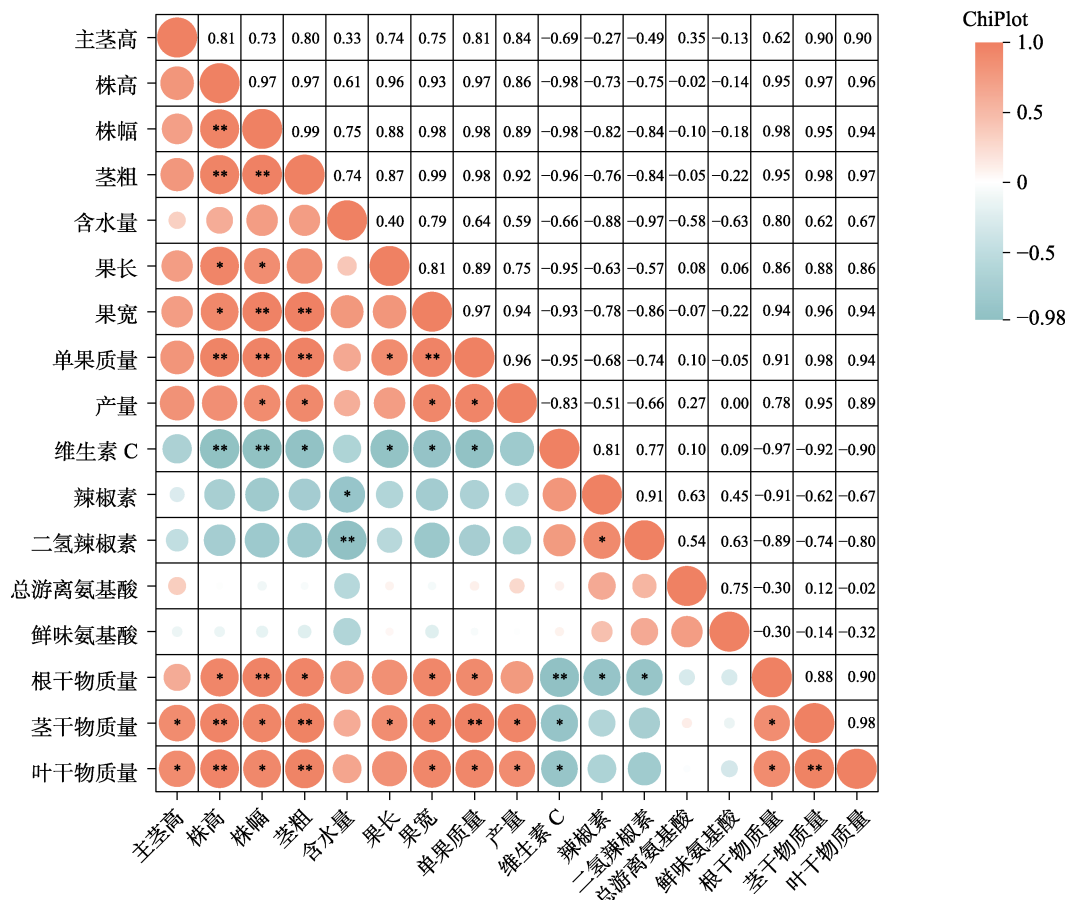
已有研究表明，合理施氮有利于植物叶片积累叶绿素，进而提高光合作用能力^[12]。如图 6 所示，门椒成熟期叶片的叶绿素相对含量 (SPAD) 在不同氮素水平下均高于 T_0 (图 5A)。通过检测该生长阶段辣椒叶片的光合作用能力表明， T_3 和 T_4 处理的净光合速率 (P_n) 均显著高于其他处理 (图 5B)。

2.5 不同施氮水平下辣椒植株性状、产量性状和品质性状的相关性分析

由图 7 可知，株高、株幅、茎粗、干物质量 (根、茎、叶) 等植株性状与果长、果宽、单果质量、产量等果实产量相关性状呈显著或极显著正相关。株高、株幅和茎粗呈极显著正相关，根、茎、叶干物质量三者之间呈现较强的相关性。就果实品质而言，维生素 C 含量与绝大多数植株性



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).
图 6 不同施氮水平对辣椒光合作用的影响
Fig. 6 Effects of different nitrogen levels on photosynthesis in peppers



*表示显著相关 ($P<0.05$); **表示极显著相关 ($P<0.01$)。
* indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).
图 7 不同施氮水平下辣椒综合性状的相关性分析
Fig. 7 Correlation analysis of comprehensive traits of pepper under different nitrogen levels

状和果实产量相关性状呈显著或极显著负相关。辣椒素、二氢辣椒素含量与果实含水量、根干重呈显著负相关,与其他植株性状和果实产量相关性状呈负相关,但未达到显著性水平。氨基酸含量与其他性状相关性不显著。由此可见,辣椒生长过程中根系不断增多,植株逐渐增粗、长高、

株幅扩大、叶片繁茂,果实逐渐变大,产量不断增加,但维生素 C 含量呈下降趋势。

2.6 不同施氮水平下辣椒主要性状的主成分分析及综合评价

2.6.1 辣椒产量和品质性状的主成分分析 农业生产者普遍把辣椒产量作为其关注的首要指标。

对于白辣椒生产而言，维生素 C、辣椒素和氨基酸含量对保证其鲜辣口感及营养品质至关重要，因此本研究把产量和品质作为评价不同施氮水平下辣椒生长优劣的重要指标。通过对果长、果宽、单果质量、产量、果实含水量、维生素 C 含量、辣椒素含量、二氢辣椒素含量、总游离氨基酸含量、鲜味氨基酸含量共 10 个指标进行主成分分析，共提取 4 个主成分，其中主成分 1 对辣椒产量和品质的影响最大，贡献率为 65.737%。前 2 个主成分特征值均大于 1，其累计贡献率高达 93.332%（表 1）。通常认为累计贡献率高于 85%即可描述整体水平并可提取主成分进行综

表 1 主成分的特征值和贡献率
Tab. 1 Eigenvalues and contribution rates of principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	6.574	65.737	65.737
2	2.760	27.595	93.332
3	0.522	5.220	98.552
4	0.145	1.448	100.000

表 2 主成分载荷矩阵及系数
Tab. 2 Principal component loading matrix and coefficients

指标 Indicator	主成分 1 PC1		主成分 2 PC2	
	载荷 Loading matrix	系数 Coefficient	载荷 Loading matrix	系数 Coefficient
含水量（ X_1 ）	0.856	0.334	-0.394	-0.237
果长（ X_2 ）	0.810	0.316	0.370	0.223
果宽（ X_3 ）	0.972	0.379	0.196	0.118
单果质量（ X_4 ）	0.926	0.361	0.376	0.226
产量（ X_5 ）	0.831	0.324	0.492	0.296
维生素 C 含量（ X_6 ）	-0.948	-0.370	-0.207	-0.125
辣椒素含量（ X_7 ）	-0.894	-0.349	0.369	0.222
二氢辣椒素含量（ X_8 ）	-0.930	-0.363	0.319	0.192
总游离氨基酸含量（ X_9 ）	-0.259	-0.101	0.946	0.569
鲜味氨基酸含量（ X_{10} ）	-0.250	-0.098	0.933	0.562

2 个主成分从不同方面反映不同氮肥水平下辣椒品质和产量的总体水平，因此把每个主成分对应方差的相对贡献率作为权重，对 2 个主成分进行加权求和，得到辣椒品质和产量的综合评价函数： $F=0.65737\times F_1+0.27595\times F_2$ 。通过综合评价函数计算不同施氮水平下辣椒产量和品质综合得分（表 3），得分越高，表示该施氮水平下辣椒品

合评价^[13]，说明本研究前 2 个主成分可基本反映不同施氮水平下辣椒产量性状和品质性状的大部分信息，因此选取前 2 个主成分作为数据分析的有效成分。

2.6.2 辣椒产量和品质性状的综合评价 如表 2 所示，以 10 个辣椒产量和品质指标为初始自变量（依次编为 $X_1\sim X_{10}$ ），载荷值的大小和正负反映不同变量对主成分的贡献大小和方向。数值越大，表明对主成分的影响越大，正负代表变量与主成分之间的正相关或负相关关系^[10]。第 1 主成分中 $X_1\sim X_8$ 的载荷值较高，其中 $X_1\sim X_5$ 为正相关， $X_6\sim X_8$ 为负相关。正相关影响最大的是 X_3 （果宽），载荷值为 0.972；负相关影响最大的是 X_6 （维生素 C 含量），载荷值为-0.948。第 2 主成分中 X_9 和 X_{10} 的载荷值较高，均为正相关，载荷值分别为 0.946 和 0.933。将 $X_1\sim X_{10}$ 经标准化后进行主成分分析，最终得到辣椒产量和品质的前 2 个主成分的方程系数（表 2），其方程表达式为： $F_1=0.334X_1+0.316X_2+0.379X_3+\cdots-0.363X_8-0.101X_9-0.098X_{10}$ ； $F_2=-0.237X_1+0.223X_2+0.118X_3+\cdots+0.192X_8+0.569X_9+0.562X_{10}$ 。

质和产量综合表现越好。由表 3 可知，不同氮肥水平下辣椒综合得分从高到低依次为 T_3 、 T_4 、 T_2 、 T_1 、 T_0 ，其中 T_3 处理的综合得分最高为 171.647，表明施氮水平为 T_3 （240 kg/hm²）时辣椒产量和品质综合表现最好； T_0 处理的综合得分最低为 -250.557，表明不施氮肥对辣椒品质和产量负面影响大。

表 3 不同施氮水平下辣椒的成分得分和综合排名
Tab. 3 Component scores and comprehensive evaluation of peppers under different nitrogen levels

处理 Treatment	主成分 Principal component		综合得分 Comprehensive score	排名 Rank
	F_1	F_2		
T ₀	-380.173	-2.331	-250.557	5
T ₁	-312.680	1.181	-205.221	4
T ₂	204.933	1.432	135.112	3
T ₃	260.739	0.889	171.647	1
T ₄	227.181	-1.170	149.019	2

3 讨论

3.1 不同施氮水平对辣椒生长和产量的影响

氮是植物生长必须的大量元素之一，是叶绿素、蛋白质等结构的组成元素，有利于植物的光合作用和物质积累^[14]。氮肥是世界农业生产中最广泛施用的肥料品种之一^[15]。合理的氮肥用量对于辣椒高产和保持鲜辣口感、提升品质具有十分重要的作用。本研究中，随着氮素水平的增加，辣椒植株主茎高、株高、株幅、茎粗均呈逐渐升高的趋势，这可能与辣椒叶片叶绿素含量及光合作用能力提升有关。茎和叶组织的生物量均在 T₂ 处理达到较高值，T₃、T₄ 与 T₂ 处理相比无显著性上升。这表明氮水平达到一定值时，再提高氮水平，植株生物量不再增加，这与韩明珠等^[16]的研究结果一致。前人关于辣椒产量对氮肥用量的响应研究已较为深入，施氮使产量增加，超过一定范围后，产量无明显变化或有下降趋势^[17-18]。在本研究中，产量随着施氮量的增加而升高，在 T₄ 处理达到最大，推测 T₄ 处理的氮肥用量尚未达到产量最大阈值。如果不考虑品质因素，只考虑产量因素，后续可以提高氮肥用量进一步试验。

3.2 不同施氮水平对辣椒品质的影响

辣椒中的辣椒素、游离氨基酸、维生素 C 含量是其重要的食用品质和商品品质。本研究中，维生素 C 含量随着施氮量的增加而呈降低的趋势，这与吴玥^[19]、王金玲^[6]的研究结果一致，但郭标^[20]、曾化伟等^[21]认为适量施氮可以提高辣椒果实的维生素 C 含量。施氮过量时，维生素 C 含量下降，这可能与辣椒试验品种、土壤基础肥力以及施氮水平不同有关。

辣椒的辣味主要由辣椒素类物质的含量决

定，最常见的辣椒素类物质包括辣椒素和二氢辣椒素，其含量相对丰富且辣味最强，占辣椒中的辣椒素类物质的 70% 以上，贡献了辣椒 90% 以上的辣味^[22-23]。本研究中，辣椒果实的辣椒素含量随着施氮量的增加呈先升高后降低的趋势，这与吴玥^[19]的研究结果一致。也有学者认为增施氮肥使辣椒果实中的辣椒素含量减少^[24]，这有可能是试验的施氮水平超过了辣椒素峰值对应的施氮水平阈值或该地块土壤肥力较高导致。除此之外，本研究中二氢辣椒素含量随着施氮量的增加而呈降低的趋势。T₄ 处理的总辣椒素含量下降幅度最大，比 T₀ 降低 30.50%。以上结果表明，为了保证白辣椒的辣味，氮肥用量不可过多。

氮素供应是氨基酸生物合成的重要保证^[25]。李焕春等^[26]认为施氮提高了春小麦籽粒必须氨基酸和总氨基酸含量。刘冲等^[7]认为施氮提高了游离氨基酸含量，在 150 kg/hm² 和 225 kg/hm² 氮肥水平达到较大值。辣椒的鲜味主要由天冬氨酸、谷氨酸、赖氨酸等鲜味氨基酸含量决定^[8]。本研究表明，增加氮肥用量有利于提高辣椒总游离氨基酸含量和鲜味氨基酸含量，提高白辣椒鲜味，T₁ 处理（150 kg/hm²）的总游离氨基酸含量达到最大，比 T₀ 增加 12.92%；T₃ 处理（240 kg/hm²）的鲜味氨基酸含量达到最大，比 T₀ 增加 17.30%。因此，适量增施氮肥有助于提高辣椒果实的总游离氨基酸和鲜味氨基酸含量。

4 结论

本研究通过设置不同氮肥处理，测定不同施氮水平对白辣椒植株形态、果实产量及品质和植株氮吸收方面的影响，重点关注维生素 C、辣椒素、氨基酸含量等影响白辣椒营养品质和鲜辣口感的指标，分析了 17 个性状的相关性表明，果实产量性状与株高、株幅、茎粗、干物质量（根、茎、叶）等植株性状呈显著或极显著正相关；维生素 C 含量与绝大多数植株性状和果实产量相关性呈显著或极显著负相关；辣椒素和二氢辣椒素含量与果实含水量、根干物质量呈显著负相关，因此需要选择合适的施氮水平使辣椒产量、品质达到最佳的平衡状态。本研究利用主成分分析的评价方法对白辣椒产量和品质相关的 10 个性状指标进行数据分析，结果表明施氮水平为 240 kg/hm² 时辣椒产量和品质综合表现最好。

参考文献

- [1] 郭勤卫, 张婷, 李朝森, 项小敏, 王雪艳, 韦静, 赵东风, 刘慧琴. 辣椒新品种衢椒 5 号的选育[J]. 中国蔬菜, 2023(10): 106-108.
GUO Q W, ZHANG T, LI C S, XIANG X M, WANG X Y, WEI J, ZHAO D F, LIU H Q. Breeding of Qujiao No. 5, a new variety of chili pepper[J]. Chinese Vegetables, 2023(10): 106-108. (in Chinese)
- [2] 刘慧琴, 章心惠, 李朝森, 项小敏, 徐建祥. 白辣椒新品种衢椒 1 号的选育[J]. 中国蔬菜, 2012(6): 102-103.
LIU H Q, ZHANG X H, LI C S, XIANG X M, XU J X. Breeding of Qujiao No. 1, a new variety of white chili pepper[J]. Chinese Vegetables, 2012(6): 102-103. (in Chinese)
- [3] 章心惠, 刘慧琴, 李朝森, 项小敏, 郭勤卫, 赵东风, 蒋晓红. 辣椒新品种玉龙椒的选育[J]. 中国蔬菜, 2014(7): 52-53.
ZHANG X H, LIU H Q, LI C S, XIANG X M, GUO Q W, ZHAO D F, JIANG X H. Breeding of Yulong pepper, a new variety of chili pepper[J]. Chinese Vegetables, 2014(7): 52-53. (in Chinese)
- [4] 苏欣. 氮肥水平对几种蔬菜产量、品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
SU X. The effect of nitrogen fertilizer level on the yield and quality of several vegetables[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- [5] 赵凤艳, 魏自民, 陈翠玲. 氮肥用量对蔬菜产量和品质的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2001(1): 43-44.
ZHAO F Y, WEI Z M, CHEN C L. The effect of nitrogen fertilizer application on vegetable yield and quality[J]. Agricultural Systems Science and Comprehensive Research, 2001(1): 43-44. (in Chinese)
- [6] 王金玲. 光照强度及氮肥对辣椒果实辣椒素代谢、品质和产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2004.
WANG J L. The effects of light intensity and nitrogen fertilizer on capsaicin metabolism, quality, and yield of chili fruits[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- [7] 刘冲, 邢锦城, 王茂文, 朱小梅, 董静, 洪立洲. 氮肥对苏北盐碱地马齿苋生长发育及氨基酸含量的影响[J]. 湖南农业科学, 2018(6): 40-43.
LIU C, XING J C, WANG M W, ZHU X M, DONG J, HONG L Z. The effect of nitrogen fertilizer on the growth, development, and amino acid content of portulaca oleracea in saline alkali soil in northern Jiangsu province[J]. Hunan Agricultural Science, 2018(6): 40-43. (in Chinese)
- [8] 张婷, 刘慧琴, 郭勤卫, 李朝森, 章心惠, 项小敏, 赵东风, 万红建. 十六份辣椒材料游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(4): 640-650.
ZHANG T, LIU H Q, GUO Q W, LI C S, ZHANG X H, XIANG X M, ZHAO D F, WAN H J. Principal component analysis and cluster analysis of free amino acid composition in sixteen pepper materials[J]. Zhejiang Agricultural Journal, 2021, 33(4): 640-650. (in Chinese)
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化委员会. 辣椒及辣椒制品中辣椒素类物质测定及辣度表示方法: GB/T 21266—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of capsaicin substances and spicy degree expression method in chili and chili products: GB/T 21266—2007[S]. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- [10] 刘伟, 张群, 李志坚, 卞建明, 黄绿红, 朱向荣, 单杨. 不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 243-250.
LIU W, ZHANG Q, LI Z J, BIAN J M, HUANG L H, ZHU X R, SHAN Y. Principal component analysis and cluster analysis of free amino acid composition in different varieties of yellow flower vegetables[J]. Food Science, 2019, 40(10): 243-250. (in Chinese)
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
BAO S D. Soil agrochemical analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000. (in Chinese)
- [12] 党蕊娟, 李世清, 穆晓慧, 李生秀. 施氮对半湿润农田夏玉米冠层氮素及叶绿素相对值(SPAD 值)垂直分布的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 54-59.
DANG R J, LI S Q, MU X H, LI S X. Effect of nitrogen on vertical distribution of canopy nitrogen and chlorophyll relative values (SPAD value) of summer maize in sub-humid areas[J]. Chinese Journal of Ecological Agriculture, 2009, 17(1): 54-59. (in Chinese)
- [13] GUILLÉN-CASLA V, ROSALES-CONRADO N, LEÓN-GONZÁLEZ E M, PÉREZ-ARRIBAS L V, POLO-DÍEZ L M. Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of E-beam irradiation on ready-to-eat food[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 24(3): 456-464.
- [14] DE BANG T C, HUSTED S, LAURSEN K H, PERSSON D P, SCHJOERRING J K. The molecular-physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants[J]. New Phytologist, 2021, 229(5): 2446-2469.
- [15] TIAN D, NIU S. A global analysis of soil acidification

- caused by nitrogen addition[J]. *Environmental Research Letters*, 2015, 10(2): 024019.
- [16] 韩明珠, 祖艳群, 李元, 吴伯志. 不同施氮水平对丘北辣椒生长、产量及品质的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(增刊 1): 32-35.
- HAN M Z, ZU Y Q, LI Y, WU B Z. The effect of different nitrogen application levels on the growth, yield, and quality of Qiubei chili pepper[J]. *Journal of Agricultural Environmental Science*, 2010, 29(Suppl. 1): 32-35. (in Chinese)
- [17] 何志学, 颀建明, 卢家柱, 赵常旭, 董爱玲. 氮肥水平对辣椒产量和品质的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2017, 52(1): 51-56.
- HE Z X, XIE J M, LU J Z, ZHAO C X, DONG A L. The effect of nitrogen fertilizer level on pepper yield and quality[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2017, 52(1): 51-56. (in Chinese)
- [18] 袁月星, 仇美华, 陈琳. 不同施氮量对辣椒生长·产量及氮肥利用的影响[J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(24): 164-166.
- YUAN Y X, QIU M H, CHEN L. The effects of different nitrogen fertilizer levels on the growth, yield, and nitrogen fertilizer utilization of chili peppers[J]. *Anhui Agricultural Science*, 2020, 48(24): 164-166. (in Chinese)
- [19] 吴玥. 氮肥供应对辣椒品质的影响及机制[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- WU Y. The effect and mechanism of nitrogen fertilizer supply on pepper quality[D]. Chongqing: Southwest University, 2020. (in Chinese)
- [20] 郭标. 氮肥用量对辣椒产量·养分及品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2022, 50(1): 158-159, 162.
- GUO B. The effect of nitrogen fertilizer application on pepper yield, nutrients, and quality[J]. *Anhui Agricultural Science*, 2022, 50(1): 158-159, 162. (in Chinese)
- [21] 曾化伟, 张恩让, 谭亮萍, 贺冬梅, 任媛媛. 土壤水分含量与施氮量对辣椒产量与品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2007(12): 3614, 3617.
- ZENG H W, ZHANG E R, TAN L P, HE D M, REN Y Y. The influence of soil moisture content and nitrogen fertilizer levels on pepper yield and quality[J]. *Anhui Agricultural Science*, 2007(12): 3614, 3617. (in Chinese)
- [22] GOVINDARAJAN S V, RAJALAKSHMI D, CHAND N, SALZER U J. Capsicum: production, technology, chemistry, and quality. Part IV. Evaluation of quality[J]. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 2009, 25(3): 185-282.
- [23] SCHNEIDER D J, SCHLICH E, SEUSS-BAUM I. Comparison between chemical senses thresholds for capsaicin and dihydrocapsaicin in aqueous solutions and identification of the area of burning sensation[J]. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2014, 6(1): 36-41.
- [24] 吕长山, 王金玲, 于广建. 氮肥对辣椒果实中辣椒素含量的影响[J]. *长江蔬菜*, 2005(7): 46-47.
- LYU C S, WANG J L, YU G J. The effect of nitrogen fertilizer on capsaicin content in chili fruits[J]. *Changjiang Vegetables*, 2005(7): 46-47. (in Chinese)
- [25] 姜天华, 温立柱, 郭芸琇, 于媛媛, 孙翠慧, 孙霞, 郑成淑. 生物炭与氮肥配施对牡丹叶片氮素营养和籽粒品质的影响[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(9): 2939-2946.
- JIANG T H, WEN L Z, GUO Y H, YU Y Y, SUN C H, SUN X, ZHENG C S. The effect of biochar and nitrogen fertilizer combined application on nitrogen nutrition of peony leaves and grain quality[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(9): 2939-2946. (in Chinese)
- [26] 李焕春, 高炳德, 妥德宝, 段玉, 赵沛义. 氮肥品种及施用时期对春小麦籽粒氨基酸含量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2009(1): 12-15.
- LI H C, GAO B D, TU D B, DUAN Y, ZHAO P Y. The effect of nitrogen fertilizer varieties and application periods on the amino acid content of spring wheat grains[J]. *Chinese Soil and Fertilizer*, 2009(1): 12-15. (in Chinese)