

35份辣椒种质资源辣椒素类物质和辣椒红素的精准评价

秦于玲, 刘维侠, 朱 丹, 曹振木, 殷晓敏, 刘子记*

中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南 海口

收稿日期: 2025年3月16日; 录用日期: 2025年4月16日; 发布日期: 2025年4月24日

摘 要

为筛选高辣高红色素的优异辣椒种质, 本研究以35份辣椒种质资源作为实验材料, 运用高效液相色谱(HPLC)技术, 开展辣椒素类物质及辣椒红素含量的精准评价。检测方法呈现出良好线性关系, 确保分析结果准确可靠。35份辣椒种质辣椒素类物质含量方面, 热辣6号含量最高, 为33.24万SHU, 小黄椒、A56和A61的辣椒素类物质含量在10~20万SHU, 30份种质的辣椒素类物质含量均 <10万SHU; 在干物质辣椒红素含量方面, 35份辣椒种质中含量 > 200 mg/kg的有6份, 分别为遵辣1号、四平头、门巴辣椒、A59、遵义4号和A47, 辣椒红素含量100~200 mg/kg的辣椒种质有8份, 其他21份辣椒种质资源辣椒红素含量均 <100 mg/kg; 辣椒素类物质与辣椒红素含量之间的相关性不显著。研究揭示了不同辣椒种质在辣椒素类物质和辣椒红素含量上的显著差异, 为辣椒育种提供了丰富的遗传资源, 对选育高辣高红色素含量的品种奠定基础。

关键词

辣椒种质资源, 辣椒类物质, 辣椒红素, 精准评价

Precise Evaluation of Capsaicinoids and Capsanthin in 35 Pepper Germplasm Resources

Yuling Qin, Weixia Liu, Dan Zhu, Zhenmu Cao, Xiaomin Yin, Ziji Liu*

Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou Hainan

Received: Mar. 16th, 2025; accepted: Apr. 16th, 2025; published: Apr. 24th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 秦于玲, 刘维侠, 朱丹, 曹振木, 殷晓敏, 刘子记. 35 份辣椒种质资源辣椒素类物质和辣椒红素的精准评价[J]. 农业科学, 2025, 15(4): 463-471. DOI: 10.12677/hjas.2025.154057

Abstract

In order to screen out excellent pepper germplasms with high capsaicinoids and high capsanthin content, 35 pepper germplasm resources as experimental materials were evaluated, and the contents of capsaicinoids and capsanthin were detected by high-performance liquid chromatography (HPLC) technology in the study. The detection method showed a good linear relationship, ensuring the accurate and reliable analytical results. Among the 35 pepper germplasms, Rela 6 had the highest capsaicinoids content, reaching 332,400 SHU. The capsaicinoids contents of Xiaohuangjiao, A56 and A61 ranged from 100,000 to 200,000 SHU, while the capsaicinoids content of 30 germplasms were all less than 100,000 SHU. In terms of the capsanthin content in dry matter, six of the 35 germplasms had capsanthin content exceeding 200 mg/kg, namely Zunla 1, Sipingtou, Menba Pepper, A59, Zunyi 4, and A47. Eight germplasms had capsanthin content ranging from 100 to 200 mg/kg, while the remaining 21 germplasms had capsanthin content less than 100 mg/kg. The correlation between capsaicinoids and capsanthin content was not significant. The study revealed significant differences in the contents of capsaicinoids and capsanthin among different pepper germplasms, providing rich genetic resources for pepper breeding and laying the foundation for the development of varieties with high capsaicinoids and high capsanthin content.

Keywords

Pepper Germplasm Resources, Capsaicinoids, Capsanthin, Precise Evaluation

Copyright © 2025 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

辣椒是我国种植面积最大的蔬菜,近十年来每年种植面积在 210 万 hm^2 左右[1][2],已成为人们日常餐桌上不可或缺的调味品。辣椒的辣味源于其富含辣椒素类物质,主要包括辣椒素和二氢辣椒素,二者的比例约占辣椒素总含量 90% [3]-[5],辣椒素类物质具有显著的生物活性,在食品、军事、医药、化工合成等行业被广泛应用[6]-[9]。辣椒果实因含类胡萝卜素而颜色多样,辣椒红素是红色辣椒果实中类胡萝卜素的主要成分,其含量占成熟期红色辣椒果实色素含量的 60%以上[10]-[12]。辣椒红素作为一种提取的天然色素,具有安全、颜色鲜亮、保色期长等特性,用于食品、医药和化妆品的添加剂,发展前景广阔[13][14]。

辣椒品种众多,但适用于深加工的品种还比较匮乏,尤其缺少高辣高红素的专用型品种,随着辣椒深加工行业的发展和消费者对天然、健康和功能性食品需求的增加,辣椒素类物质和辣椒红素的市场需求必定持续增长。由于辣椒素类物质和辣椒红素的含量在不同辣椒品种间存在显著差异,且受遗传背景、环境条件和栽培技术等多种因素的影响[15]。因此,精准评价不同辣椒种质资源中辣椒素类物质和辣椒红素的含量与组成,对于辣椒种质资源的有效利用和品种改良具有重要意义。

本研究旨在通过对 35 份辣椒种质资源中辣椒素类物质和辣椒红素的含量进行精准评价,揭示不同种质资源间的含量差异,筛选出高辣椒素和高辣椒红素的优异种质,培育高产、高辣椒素和高辣椒红素的辣椒专用型品种,为工业提取辣椒素和辣椒红素提供原材料。

2. 实验材料与方法

2.1. 实验材料

2.1.1. 辣椒种质资源材料

实验中的 35 份辣椒种质资源(表 1)均由中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所冬季瓜菜研究中心辣椒课题组收集和保存。

Table 1. Pepper germplasm resources
表 1. 辣椒种质资源

序号	种质名称	种质类型	来源地	序号	种质名称	种质类型	来源地
1	D4	一年生辣椒	云南	19	A36	一年生辣椒	海南
2	门巴辣椒	一年生辣椒	西藏	20	A38	一年生辣椒	海南
3	樟树港	一年生辣椒	湖南	21	A39	一年生辣椒	海南
4	二荆条	一年生辣椒	四川	22	A40	一年生辣椒	海南
5	丘北辣椒	一年生辣椒	云南	23	A43	一年生辣椒	海南
6	北京红	一年生辣椒	新疆	24	A46	一年生辣椒	海南
7	铁皮椒	一年生辣椒	新疆	25	A47	一年生辣椒	海南
8	益都红	一年生辣椒	山东	26	A48	一年生辣椒	海南
9	大红袍	一年生辣椒	四川	27	A51	一年生辣椒	海南
10	四平头	一年生辣椒	新疆	28	A53	一年生辣椒	海南
11	望都辣椒	一年生辣椒	河北	29	A54	一年生辣椒	海南
12	CM334	一年生辣椒	广东	30	A56	一年生辣椒	海南
13	遵义 4 号	一年生辣椒	贵州	31	A57	一年生辣椒	海南
14	遵辣 1 号	一年生辣椒	贵州	32	A59	中国辣椒	海南
15	小黄椒	一年生辣椒	山西	33	A61	中国辣椒	海南
16	红龙 12	一年生辣椒	新疆	34	热辣 6 号	中国辣椒	海南
17	CF19	一年生辣椒	海南	35	热辣 9 号	中国辣椒	海南
18	A34	一年生辣椒	海南				

2.1.2. 辣椒果实

实验辣椒材料种植于海南省儋州市宝岛新村试验场五队，取成熟的辣椒果实，带回实验室，去除果柄。用于测定辣椒红素的样品，去除辣椒种子后，果实快速切碎部分速冻于液氮中，另一部分置于 50℃ 的烘箱中烘干至恒重，测含水量，每个重复 9 个果实，三次重复；用于测定辣椒素和二氢辣椒素的样品，置于 50℃ 的烘箱中烘干至恒重，用低温电动打粉机粉碎，粉末置于自封袋中待用。

2.1.3. 标准品及实验耗材

标准品辣椒红素(纯度 ≥ 90.0%)购于 sigma 公司，辣椒素(纯度 ≥ 98%)、二氢辣椒素(纯度 ≥ 98%)购于上海源叶生物科技有限公司。甲醇、乙酸乙酯、正己烷、二氯甲烷、叔丁基甲醚为 Fisher scientific 色

谱纯。Agilent1260 高效液相色谱仪, 辣椒红素色谱柱: YMC Carotenoid C30 (4.6 mm × 250 mm, 粒径 3 μm), 辣椒素和二氢辣椒素色谱柱: Cosmosil C18 (4.6 mm × 250 mm, 粒径 5 μm)。

2.2. 实验方法

2.2.1. 标准溶液的配制与标准曲线的制作

辣椒素和二氢辣椒素标准溶液的配制: 用万分之一天平分别称取辣椒素和二氢辣椒素标准品 0.0510 g、0.0510 g 于 10 mL 棕色容量瓶中, 用甲醇溶解, 分别配制成辣椒素和二氢辣椒素含量均为 5000 mg/L 的标准储备液, 再取 5 mL 辣椒素、2.5 mL 二氢辣椒素于 10 mL 棕色容量瓶中, 甲醇定容, 配制成辣椒素浓度 2500 mg/L、二氢辣椒素浓度 1250 mg/L 的混合标准母液, 使用甲醇将混合标准溶液依次稀释, 配制成不同浓度的混合标准溶液, 经 0.22 μm 有机滤膜过滤至 2 mL 棕色样品瓶中, 将不同浓度的混合标准液进样分析, 以峰面积为纵坐标, 标准溶液浓度为横坐标制作标准曲线。

辣椒红素标准溶液的配制: 用二氯甲烷和正己烷(8:2)溶解后, 再用乙酸乙酯稀释 4 倍配制成母液, 使用乙酸乙酯、二氯甲烷和正己烷(6:4:1)依次配制成不同浓度的标准溶液, 经 0.22 μm 有机滤膜过滤至 2 mL 棕色样品瓶中, 将不同浓度的标准液进样分析, 以峰面积为纵坐标, 标准液浓度为横坐标制作标准曲线。

2.2.2. 辣椒素类物质测定

根据厉志伟[3]方法测定辣椒果实中辣椒素和二氢辣椒素的含量, 使用万分之一天平称取 2.5 g 粉末于 50 mL 离心管中, 加入 30 mL 甲醇, 摇匀后放入超声波仪中超声 30 min, 期间摇匀 2~3 次, 4000 rpm/min 离心 5 分钟, 将上清转移到新的 50 mL 离心管中, 沉淀重新加 20 mL 甲醇, 摇匀后超声 20 min, 期间摇匀 2 次, 4000 rpm/min 离心 5 分钟, 将两次上清液合并, 甲醇定容至 50 mL, 0.22 μm 有机滤膜过滤至 2 mL 棕色样品瓶中, 待测。HPLC 的测定条件为: 波长 280 nm, 柱温 35℃, 流动相甲醇: 水(70:30), 流速 1 mL/min, 进样量 10 μL, 运行时间 20 min。

2.2.3. 辣椒红素的测定

根据王琴飞等[16]方法测定辣椒果实辣椒红素的含量, 辣椒果实液氮研磨后称取 0.2 g 左右于 2 mL 离心管中, 加入 400 μL 预冷的超纯水混匀后, 再加入 100 μL 饱和氯化钠溶液和 50 μL 正己烷, 涡旋仪上震动混匀 1 min, 4℃ 4000 rpm/min 离心 2 min, 加入 200 μL 二氯甲烷, 涡旋仪上震动混匀 1 min, 4℃ 4000 rpm/min 离心 2 min, 加入 800 μL 乙酸乙酯, 涡旋仪上震动混匀 1 min, 4℃ 4000 rpm/min 离心 5 min, 取上清液用 0.22 μm 有机滤膜过滤至 2 mL 棕色样品瓶中, 待测。HPLC 的测定条件为: 流动相甲醇: 叔丁基甲醚为(80:20), 流速 1.0 mL/min, 检测波长 450 nm, 进样量 20 μL, 柱温 30℃。

2.3. 数据分析

数据处理和分析采用 excel 软件, 辣椒素类物质和辣椒红素含量之间的相关性分析采用 SPSS 软件中的 Pearson 方法。

3. 结果与分析

3.1. 检测方法的线性关系

辣椒素和二氢辣椒素的标准曲线(图 1、图 2), 线性关系较好, 相关系数 R^2 均达到 0.9999。辣椒素和二氢辣椒素的色谱图(图 3)基线平稳, 峰形对称性好, 能够确保分析结果的准确性。

辣椒红素的标准曲线(图 4), 线性关系良好, 相关系数 R^2 达到了 0.9995, 可以进行样品的分析。

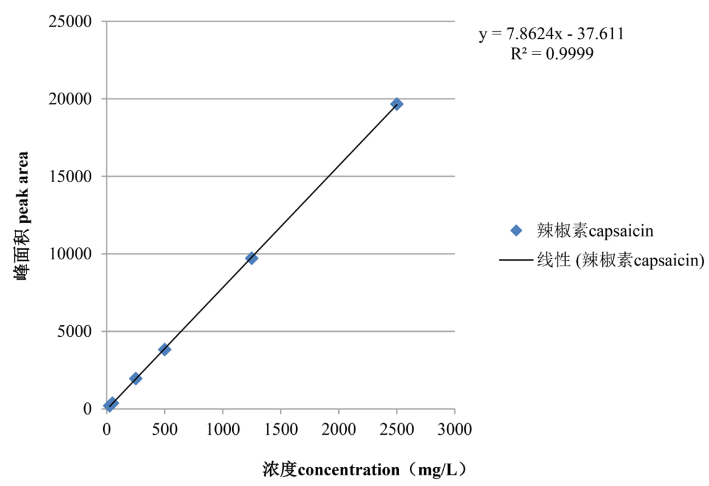


Figure 1. The standard curve of capsaicin
图 1. 辣椒素的标准曲线

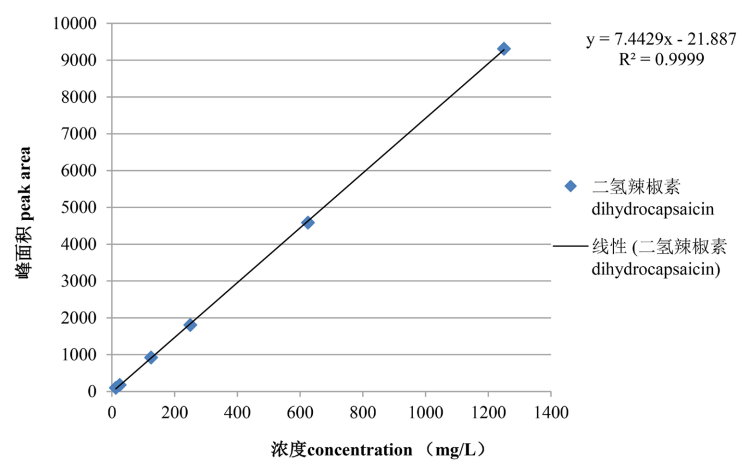


Figure 2. The standard curve of dihydrocapsaicin
图 2. 二氢辣椒素的标准曲线

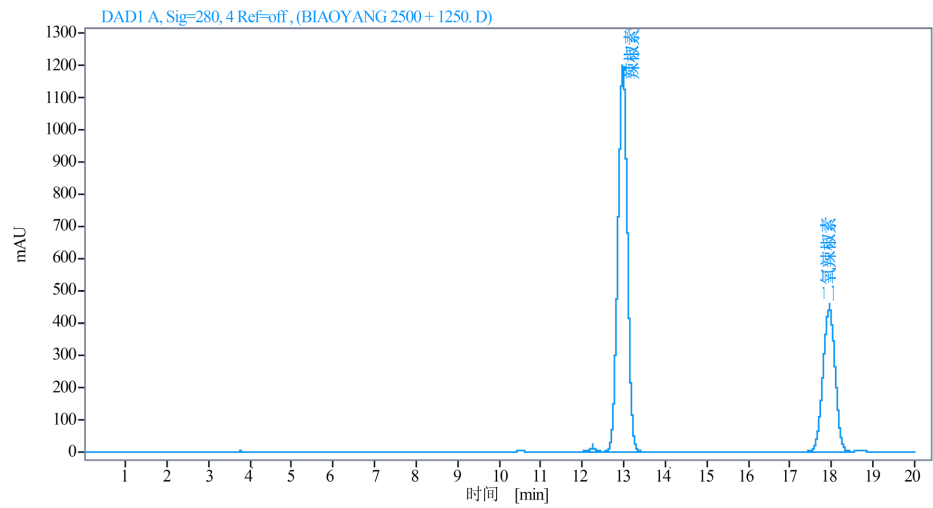


Figure 3. Chromatograms of capsaicin and dihydrocapsaicin standards
图 3. 辣椒素和二氢辣椒素标准品的色谱图

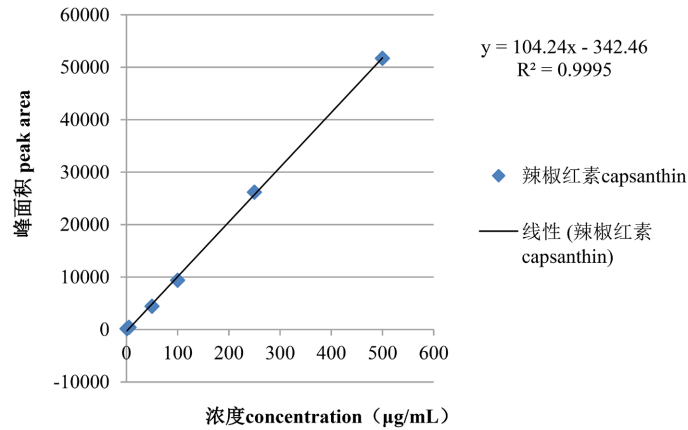


Figure 4. The standard curve of capsanthin
图 4. 辣椒红素的标准曲线

3.2. 辣椒种质资源辣椒素类物质的含量分析

35 份辣椒种质资源辣椒素类物质 HPLC 分析发现(图 5), 辣椒素类物质最高的辣椒种质是热辣 6 号, 含量为 33.24 万 SHU, 其次为热辣 9 号, 辣椒素类物质含量为 27.21 万 SHU, 两份辣椒种质均为中国辣椒类型, 在一年生辣椒种质中, 辣椒素类物质含量较高的是小黄椒, 为 15.62 万 SHU, 其他一年生辣椒辣椒素类物质含量均低于 10 万 SHU。

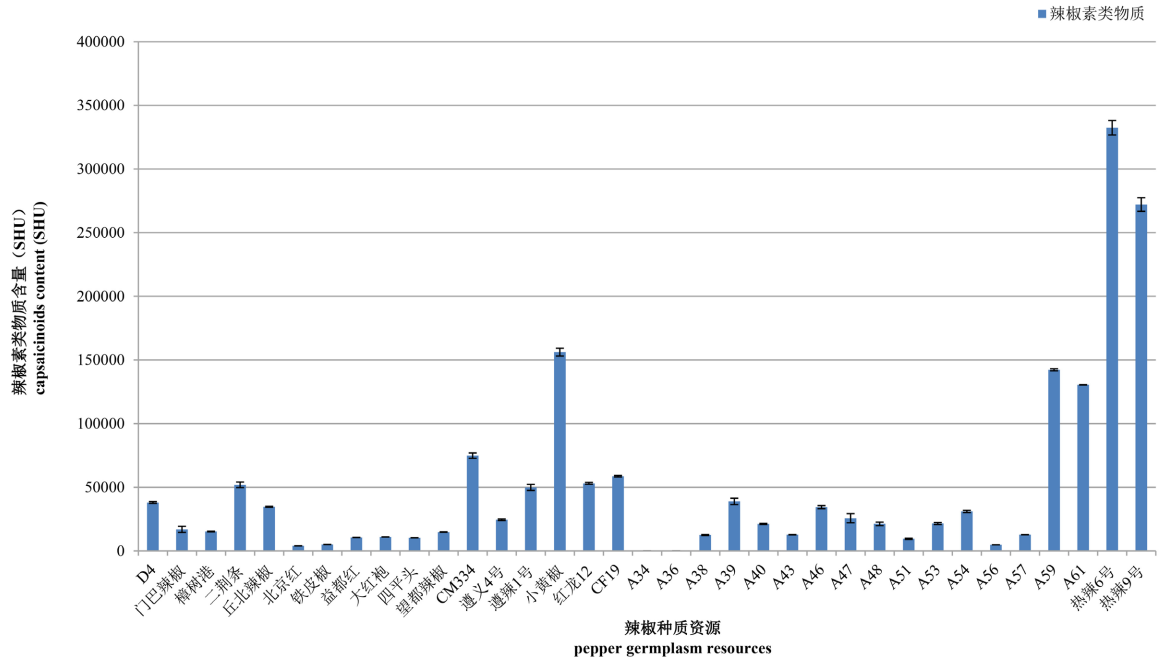


Figure 5. Capsaicinoids content in pepper germplasm resources
图 5. 辣椒种质资源辣椒素类物质含量

3.3. 辣椒种质资源辣椒红素的含量分析

35 份辣椒种质资源辣椒红素 HPLC 分析发现(图 6), 辣椒红素干物质含量最高的是遵辣 1 号, 为 284.8 mg/kg, 最低的小黄椒, 未检测出有辣椒红素。辣椒红素含量 $> 200 \text{ mg/kg}$ 的辣椒种质有 6 份, 分别为遵

辣 1 号、四平头、门巴辣椒、A59、遵义 4 号和 A47；辣椒红素含量 100~200 mg/kg 的辣椒种质有 8 份，分别为 CM334、益都红、A36、A61、樟树港、A39、红龙 12 和铁皮椒；其他 21 份辣椒种质资源辣椒红素含量均低于 100 mg/kg。

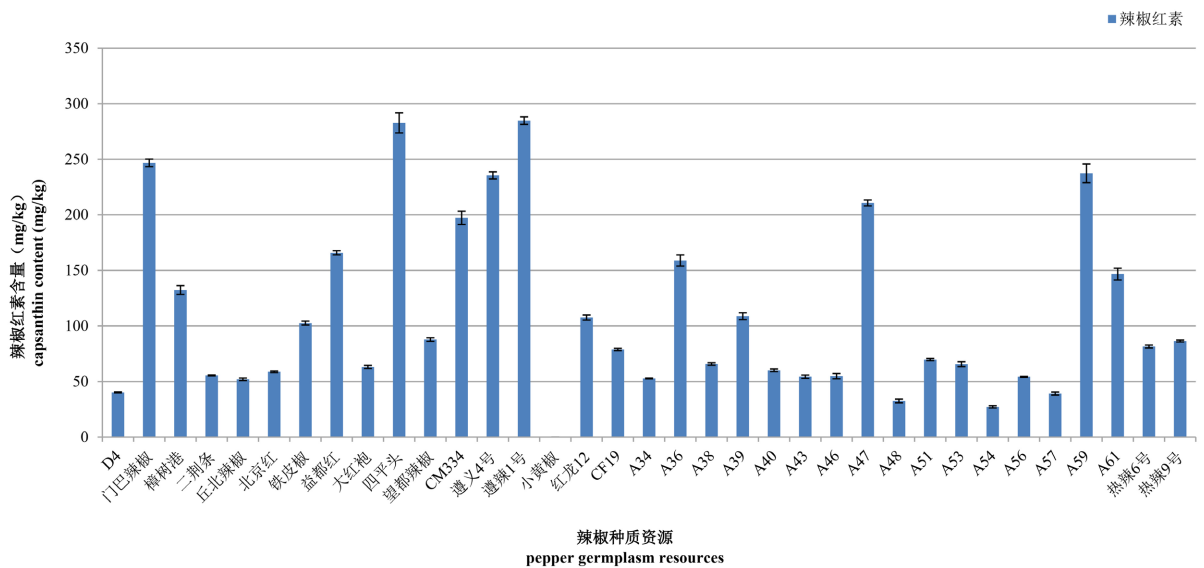


Figure 6. Capsanthin content in pepper germplasm resources
图 6. 辣椒种质资源辣椒红素含量

3.4. 辣椒素类物质与辣椒红素含量相关性分析

对辣椒素类物质与辣椒红素含量进行相关性分析(表 2)，结果表明二者间的相关性不显著。

Table 2. Correlation analysis between capsaicinoids and capsanthin content
表 2. 辣椒素类物质与辣椒红素含量相关性分析

		辣椒素类物质	辣椒红素
辣椒素类物质	皮尔森相关	1	-0.016
	显著性(双尾)		0.928
	数量	35	35
辣椒红素	皮尔森相关	-0.016	1
	显著性(双尾)	0.928	
	数量	35	35

4. 讨论

近年来，随着人们生活水平的提高和消费需求的多样化，对高辣、高辣椒红素辣椒品种的需求日益增加。然而目前我国高辣、高辣椒红素辣椒品种选育相对滞后，缺乏系统性的种质资源精准评价和优异基因挖掘，育种效率低，难以满足产业发展的需求[17]。因此，开展高辣、高辣椒红素辣椒种质资源的精准评价和新品种选育研究，对于提升我国辣椒产业核心竞争力，促进农民增收致富，保障国家食品安全和人民健康具有重要意义。

本研究对 35 份辣椒种质资源的辣椒素类物质和辣椒红素含量进行了精准评价，辣椒素、二氢辣椒素

及辣椒红素标准曲线呈现出良好的线性关系, 相关系数高, 且色谱图基线平稳、峰形对称, 确保了分析结果的准确性与可重复性, 测定方法方便、快捷[3] [13]。

35 份辣椒种质间辣椒素类物质的含量差异极为显著。热辣 6 号和热辣 9 号等中国辣椒类型的种质具有较高的辣椒素类物质含量, 这为育种者培育高辣的辣椒品种提供了宝贵的遗传材料。深入挖掘这些种质的遗传特性, 通过常规育种与分子育种技术将高辣性状导入其他综合性状优良的品种中, 培育出满足深加工产业需求的高辣辣椒品种, 将会推动辣椒加工产业的创新发展[18]。一年生辣椒种质中, 小黄椒的辣椒素类物质含量相对突出, 其他一年生辣椒含量较低, 说明同类型的栽培种之间也存在丰富的辣度遗传多样性, 为下一步辣椒的定向辣度育种提供了广阔空间。这种多样性的存在可能与不同辣椒种质的地理起源、进化历史以及人工选择方向密切相关[19]。

同样, 不同辣椒种质间辣椒红素含量差异也较为显著。遵辣 1 号辣椒红素干物质含量最高, 大部分种质的辣椒红素含量较低, 这种现象表明辣椒红素合成在不同种质中受到复杂的遗传调控[20]。可能与果实成熟度、生长环境等因素相关联, 后续如何通过精准调控环境条件或筛选合适种质在特定区域种植, 以提高辣椒红素产量与质量, 是值得研究的方向。随着辣椒基因组测序完成和分子生物学的发展, 辣椒红素生物合成调控取得了很大突破[21], 将为深入研究辣椒红素合成的遗传影响因素提供了技术保障。

从辣椒素类物质和辣椒红素含量的综合评价来说, 二者间的相关性不显著, 这与尚迪等[22]研究结果一致。从数据分析来看, 高辣种质多是中国辣椒类型, 高红种质多集中在一年生辣椒类型, 想要选育出高辣椒素类物质、高辣椒红素的新品种, 还需要广泛收集优异的种质资源, 并深入评价并通过种间杂交, 才能选育出满足辣椒深加工产业需求的新品种。

基金项目

海南省科技计划三亚崖州湾科技城联合项目(320LH067); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1630032022009); 2019 年海南省基础与应用基础研究计划(自然科学领域)高层次人才项目(2019RC315)。

参考文献

- [1] 邹学校, 胡博文, 熊程, 等. 中国辣椒育种 60 年回顾与展望[J]. 园艺学报, 2022, 49(10): 2099-2118.
- [2] 邹学校, 杨莎, 戴雄泽, 等. 中国辣椒产业快速发展 40 年回顾与展望[J]. 园艺学报, 2025, 52(1): 247-258.
- [3] 厉志伟, 王盛莉. 高效液相色谱法测定辣椒中辣椒素、二氢辣椒素[J]. 中国调味品, 2017, 42(11): 123-126.
- [4] 雷建军, 朱张生, 陈长明, 等. 辣椒分子育种研究进展[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(7): 1-20.
- [5] 封雪, 马海潇, 张美玲, 等. 辣椒中生物活性成分分析方法现状研究[J]. 农产品质量与安全, 2024(1): 66-74.
- [6] 阙小峰, 余雁, 方志成, 等. 天然辣椒生物碱的提取方法及其应用研究进展[J]. 食品工业, 2021, 42(9): 231-235.
- [7] Zhu, Z., Sun, B., Cai, W., Zhou, X., Mao, Y., Chen, C., *et al.* (2019) Natural Variations in the MYB Transcription Factor MYB31 Determine the Evolution of Extremely Pungent Peppers. *New Phytologist*, **223**, 922-938. <https://doi.org/10.1111/nph.15853>
- [8] 梁文荟, 单庆云, 王瑾, 等. 辣椒果实辣椒素类物质生物合成调控及其影响因素研究进展[J/OL]. 中国蔬菜, 1-12. <https://doi.org/10.19928/j.cnki.1000-6346.2025.2005>, 2025-01-08.
- [9] 罗晶晶, 肖钰, 邓静, 等. 辣椒素的提取生物活性及应用研究进展[J]. 农产品加工, 2024(7): 85-87, 91.
- [10] 雷建军, 朱张生, 陈长明, 等. 辣椒红色素及其生物合成的分子机理研究进展[J]. 园艺学报, 2023, 50(3): 669-684.
- [11] Ha, S., Kim, J., Park, J., Lee, S. and Cho, K. (2007) A Comparison of the Carotenoid Accumulation in Capsicum Varieties That Show Different Ripening Colours: Deletion of the Capsanthin-Capsorubin Synthase Gene Is Not a Prerequisite for the Formation of a Yellow Pepper. *Journal of Experimental Botany*, **58**, 3135-3144. <https://doi.org/10.1093/jxb/erml32>
- [12] Kim, J., An, C.G., Park, J., Lim, Y.P. and Kim, S. (2016) Carotenoid Profiling from 27 Types of Paprika (*Capsicum annuum* L.) with Different Colors, Shapes, and Cultivation Methods. *Food Chemistry*, **201**, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.041>

-
- [13] 秦于玲, 申龙斌, 曹振木. 辣椒不同发育时期果实着色的转录组分析[J]. 分子植物育种, 2020, 18(17): 5576-5583.
- [14] Song, J., Sun, B., Chen, C., Ning, Z., Zhang, S., Cai, Y., *et al.* (2023) An R-R-Type MYB Transcription Factor Promotes Non-Climacteric Pepper Fruit Carotenoid Pigment Biosynthesis. *The Plant Journal*, **115**, 724-741.
<https://doi.org/10.1111/tpj.16257>
- [15] 王楠艺, 付文婷, 吴迪, 等. 辣椒品质研究进展[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(16): 21-27.
- [16] 王琴飞, 张如莲, 徐丽, 等. HPLC 测定西番莲中叶黄素和 β -胡萝卜素[J]. 热带作物学报, 2016, 37(3): 609-614.
- [17] 王立浩, 张宝玺, 张正海, 等. “十三五”我国辣椒育种研究进展、产业现状及展望[J]. 中国蔬菜, 2021(2): 21-29.
- [18] 辛竹琳, 崔彦娟, 杨小微, 等. 全球蔬菜产业现状及中国蔬菜育种发展路径研究进展[J]. 分子植物育种, 2022, 20(9): 3122-3132.
- [19] 程蛟文, 赖泽培, 董骥驰, 等. 辣椒基因组学研究进展[J]. 广东农业科学, 2024, 51(7): 1-12.
- [20] 张正海, 曹亚从, 于海龙, 等. 辣椒果实主要品质性状遗传和代谢物组成研究进展[J]. 园艺学报, 2019, 46(9): 1825-1841.
- [21] 张正海, 王永富, 吴华茂, 等. 辣椒重要性状遗传定位与候选基因研究进展[J]. 园艺学报, 2024, 51(3): 669-696.
- [22] 尚迪, 孙婷, 刘玉珊, 等. 四川省辣椒资源辣椒素和辣椒红素相关性初探[J]. 南方农业, 2021, 15(22): 109-112.