

李冬雪, 李昕悦, 郭 婷, 等. 三七不同器官稳定同位素变化规律[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(15): 128–132.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.15.023

三七不同器官稳定同位素变化规律

李冬雪¹, 李昕悦¹, 郭 婷¹, 梁社往², 赵会玉³, 郭春平⁴, 何忠俊¹

(1. 云南农业大学资源与环境学院, 云南昆明 650201; 2. 云南农业大学农学与生物技术学院, 云南昆明 650201;

3. 云南省曲靖市土壤肥料工作站, 云南曲靖 655000; 4. 云南省玉溪市农田建设与土壤肥料工作站, 云南玉溪 653100)

摘要:明确三七不同器官中碳、氮、氢、氧同位素的变化规律, 以及年限对三七碳、氮、氢、氧稳定同位素的影响, 为三七不同器官产地溯源提供理论依据。利用同位素比率质谱仪测定来自云南、广西 44 个 3 年生和 7 个 2 年生春三七各器官花、茎叶、芦头、块根、筋条、须根中的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$, 利用独立样本均值检验以及 Duncan's 法进行多重比较分析。不同年限间, 三七各器官 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 均无差异。不同器官间 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 变化规律基本一致, 均为地下部分极显著高于地上部分, 即 $\delta^{13}\text{C}$ 表现为芦头、块根、筋条、须根 > 花、茎叶 ($P < 0.01$); $\delta^2\text{H}$ 表现为芦头、块根、筋条 > 须根 > 花、茎叶 ($P < 0.01$); $\delta^{15}\text{N}$ 则表现为花、茎叶 > 芦头、块根、筋条 > 须根; $\delta^{18}\text{O}$ 表现为块根 > 芦头 > 花、须根 ($P < 0.01$)。稳定同位素碳、氮、氢、氧在三七不同器官中的分馏效果是不一致的, 在进行三七产地溯源时, 可以不考虑年限因素。在进行三七各器官产地溯源时, 应根据其同位素变化规律选择有差异的同位素指标。

关键词:三七; 器官; 稳定同位素; $\delta^{13}\text{C}$; $\delta^{15}\text{N}$; $\delta^2\text{H}$; $\delta^{18}\text{O}$; 变化规律

中图分类号: S567.23+6.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)15-0128-04

五加科植物三七 (*Panax notoginseng*) 为多年生草本, 为我国名贵中药材, 被誉为“金不换”“南国神草”。三七属主根系植物, 主根发达, 主根和侧根的界限非常明显, 具有止血、活血化瘀、抗氧化、抗衰老、耐缺氧、降血糖、降胆固醇、改善人体免疫功能等作用, 三七的药理作用影响血液系统、心血管系统、中枢神经系统、代谢系统、免疫功能等^[1]。近年来, 由于三七自身的连作障碍越来越严重和价格的涨幅增高, 三七主产区已由云南文山发展到周边的红河、昆明、曲靖、大理、腾冲等地区, 其他省份贵州、四川、广东、广西的部分地区也有三七种植^[2]。

同位素指纹分析是用于农产品产地溯源的一项有效技术。采用稳定同位素指纹特征对农产品的真实性鉴别和产地溯源已经发展成为保护地理标志特色农产品的重要手段, 可通过同位素比率质谱测定农产品中总体或各个特征组分的稳定同位素比值 (如 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$)^[3], 从而实现农产

品的真实性鉴别和产地溯源。生物体中稳定性同位素组成与其生长环境关系密切, 可作为区分物质不同来源的一种“自然指纹”, 是物质的自然属性。不同的同位素组成会因生物代谢类型、气候、土壤及施肥等因素的影响, 其变化规律存在一定差异^[4]。

据报道, 特别是在传统的分析方法不能提供明确结果的情况下, 稳定同位素分析越来越多地应用于确定食品的真实性和原产地鉴别^[5-6], 碳、氮、氧、氢同位素技术在人参^[7]、稻米^[8-9]、茶叶^[3,10]、牛肉^[11]、羊肉^[12]、牛奶^[13]等产地溯源方面显示了其独特的优势。近年来, 稳定同位素在中药材的地理来源溯源分析中也开始有应用的报道, 如 Chung 等通过实例研究, 阐明了不同栽培区域的人参根中 C、N、O 和 S 稳定同位素比值的变化, 并认为稳定同位素比值分析是鉴别韩国人参产地的一种合适工具, 在其他国家也有潜在的应用前景^[7]。

不同类型植物体内同位素组成的影响因子较为复杂, 不仅包括地理环境和栽培方式影响, 还与其自身代谢和分馏作用有关。目前, 中药材中同位素组成与地理环境关系及其变化规律尚未完全揭示, 中药材不同器官同位素组成关系也不是十分清楚, 应选用哪些元素、何种器官作为溯源指标对中药材产品产地鉴别至关重要。本试验主要探讨不同年限春三七碳、氮、氢、氧同位素的异同, 以及三

收稿日期: 2020-12-08

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 81860679); 云南省社会发展科技计划 (编号: 2010CA027)。

作者简介: 李冬雪 (1996—), 女, 吉林农安人, 硕士研究生, 主要从事药用植物设施栽培研究。E-mail: 934793809@qq.com。

通信作者: 何忠俊, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事药用植物栽培和稳定同位素生态研究。E-mail: hezhongjun15@sina.com。

七不同器官间碳、氮、氢、氧同位素的变化规律,旨在为三七产地的同位素溯源技术提供理论依据,推动我国中药材产业的发展及安全追溯管理体系的建立与完善。

1 材料与方法

1.1 样品采集及处理

2012 年 9—11 月采集 3 年生春三七共 44 个样点,分别采自广东南雄、广西靖西、云南(主要选择文山州、红河州以及云南新拓展片区曲靖、昆明、保山、玉溪)。2 年生三七 7 个点,主要采自广西靖西、文山砚山、麻栗坡和昆明石林。所有样品经云南农业大学何忠俊教授鉴定为五加科人参属植物三七。

三七植株在样点地块采用试剂多点取样法随机采集三七整株 15~20 株,将活体样本带回实验室处理。首先用加入少许洗洁精的自来水洗去泥土,其次再用含 1% 柠檬酸的蒸馏水漂洗,最后用蒸馏水反复冲洗干净,摊开晾干附着的水分后,按三七各个器官(花、茎叶、芦头、块根、筋条、须根)分开,105 ℃ 高温杀青 30 min,再 60 ℃ 烘干,粉碎过 100 目筛,取约 2 g 供同位素测定,三七各器官稳定同位素测定在中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所稳定同位素实验室进行。

1.2 稳定碳、氮同位素测定

称取 600~800 μg 三七样品粉末用锡箔杯包好,先经过 Flash EA1112 型元素分析仪转化为纯净的 CO₂ 和 N₂ 气体,然后通过气相色谱柱分离出来,最后进入 DELTAplus Thermo Finnigan 质谱仪进行检测^[14]。δ¹³C 以国际标准的 V-PDB 为基准,δ¹⁵N 的相对标准为空气,计算公式为:δ¹³C (δ¹⁵N) = (R_{样品}/R_{标准} - 1) × 100%,式中:R 分别为 ¹³C/¹²C、¹⁵N/¹⁴N。可实现 1 个样品 δ¹³C、δ¹⁵N 同时测定。

表 1 不同年限间三七各器官 δ¹³C

年限	δ ¹³ C(%)					
	花	茎叶	芦头	块根	筋条	须根
2 年春三七	-2.747 ± 0.110a	-2.823 ± 0.076a	-2.631 ± 0.090a	-2.597 ± 0.098a	-2.598 ± 0.091a	-2.672 ± 0.081a
3 年春三七	-2.796 ± 0.169a	-2.808 ± 0.124a	-2.640 ± 0.152a	-2.637 ± 0.128a	-2.579 ± 0.120a	-2.639 ± 0.123a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

忽略种植年限差异,考察不同器官中的 δ¹³C,结果见图 1。不同器官间,筋条 δ¹³C 值最大,平均为 -2.583%,茎叶最小,平均为 -2.810%。芦头、块根、筋条、须根间均无显著差异,花、茎叶间无显著差异,芦头、块根、筋条、须根极显著高于花、茎叶

1.3 稳定氢同位素测定

称取 1 mg 三七粉末样品放入银杯中(8 mm × 5 mm),放入 96 孔酶联免疫盘中,盖上盖子,在室温环境下平衡 96 h,然后将样品取出放入高温裂解炉的旋转自动进样盘中,样品在 1 275 ℃ 高温下分解为 H₂、N₂ 和 CO 气体。然后经过 100 ℃ 的纯化柱,利用孔径为 5 nm 的分子筛除去 N₂ 和 CO 气体,得到纯净的 H₂,然后进入 DELTAplus Thermo Finnigan 连续流动的同位素比率质谱仪中进行测定。载气 He 气流量为 100 mL/min,样品在载气作用下的流量为 50 mL/min^[14]。δ²H 以平均海洋水为基准(VSMOW),计算公式为:δ²H = (R_{样品}/R_{标准} - 1) × 100%,式中:R 为 ²H/¹H。

1.4 稳定氧同位素测定

取大约 1.0 mg 三七粉末样品放入锡箔杯中,密封,通过自动采样器送入高温元素分析仪(TC-EA)。样品在 1 430 ℃ 的高温下电离的 CO 气体,经过柱温为 90 ℃ 的气相色谱柱,最后进入同位素比率质谱仪(IRMS)中进行测定^[14]。δ¹⁸O 的相对标准为 SMOW(标准平均海洋水),计算公式为:δ¹⁸O = (R_{样品}/R_{标准} - 1) × 100%,式中:R 为 ¹⁸O/¹⁶O。

1.5 数据处理

使用 SPSS 22.0 软件进行独立样本均值检验和 Duncan's 多重比较分析,数据用“平均值 ± 标准差”表示,用 Origin 2018 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 三七各器官碳同位素特征

从表 1 可见,在不同年限(2、3 年)间,春三七 6 个器官的 δ¹³C 值均无显著差异。2 年春七和 3 年春七 δ¹³C 变化规律一致,均为块根、筋条较高,茎叶最低。说明种植年限对春三七碳同位素组成无影响。

表 1 不同年限间三七各器官 δ¹³C

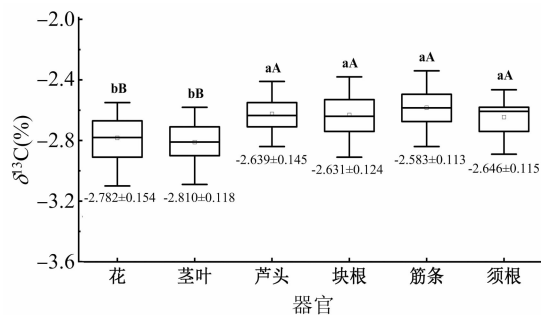
年限	δ ¹³ C(%)					
	花	茎叶	芦头	块根	筋条	须根
2 年春三七	-2.747 ± 0.110a	-2.823 ± 0.076a	-2.631 ± 0.090a	-2.597 ± 0.098a	-2.598 ± 0.091a	-2.672 ± 0.081a
3 年春三七	-2.796 ± 0.169a	-2.808 ± 0.124a	-2.640 ± 0.152a	-2.637 ± 0.128a	-2.579 ± 0.120a	-2.639 ± 0.123a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

(P<0.01)。

2.2 三七各器官氮同位素特征

从表 2 可以看出,各器官 δ¹⁵N 变幅较大,3 年春三七花中的 δ¹⁵N 显著高于 2 年春三七(P<0.05),而其他器官间相比,年际间均无显著差异。三七不



不同小写字母、大写字母分别表示差异显著 ($P < 0.05$)、差异极显著 ($P < 0.01$)。下同
图1 春三七不同器官的 $\delta^{13}\text{C}$ Duncan's 多重比较分析 ($n=51$)

表 2 不同年限间三七各器官 $\delta^{15}\text{N}$

年限	$\delta^{15}\text{N}(\%)$					
	花	茎叶	芦头	块根	筋条	须根
2 年春三七	0.200 ± 0.129b	0.209 ± 0.053a	0.036 ± 0.073a	0.107 ± 0.072a	0.098 ± 0.109a	-0.073 ± 0.135a
3 年春三七	0.385 ± 0.203a	0.285 ± 0.187a	0.118 ± 0.194a	0.139 ± 0.166a	0.160 ± 0.154a	-0.029 ± 0.237a

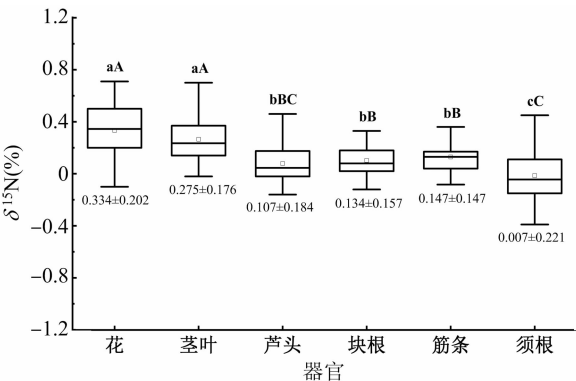


图2 春三七不同器官的 $\delta^{15}\text{N}$ Duncan's 多重比较分析 ($n=51$)

表 3 不同年限间三七各器官 $\delta^2\text{H}$

年限	$\delta^2\text{H}(\%)$					
	花	茎叶	芦头	块根	筋条	须根
2 年春三七	-10.595 ± 1.333a	-10.640 ± 0.643a	-7.301 ± 0.546a	-6.454 ± 0.912a	-7.193 ± 0.485a	-9.360 ± 0.630a
3 年春三七	-9.610 ± 1.112a	-9.243 ± 1.122a	-7.419 ± 0.789a	-7.049 ± 0.815a	-7.428 ± 0.928a	-8.628 ± 1.004a

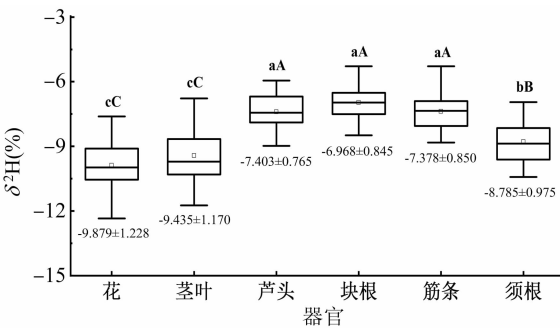


图3 春三七不同器官的 $\delta^2\text{H}$ Duncan's 多重比较分析 ($n=51$)

中的 $\delta^{18}\text{O}$ 值无显著差异。

3 讨论与结论

研究表明,除花 $\delta^{15}\text{N}$ 外,不同年限间三七各器

同器官中 $\delta^{15}\text{N}$ 变化规律(图 2)为:花中 $\delta^{15}\text{N}$ 最高,为 0.334%,茎叶次之,而须根最低(0.007%),地上部分花和茎叶间差异不显著,和地下部分芦头、块根、筋条、须根差异极显著,地下部分芦头、块根、筋条和须根之间存在显著差异,块根、筋条和须根之间存在极显著差异。

2.3 三七中各器官氮同位素特征

由表 3 可知,花、茎叶、芦头、块根、筋条、须根的 $\delta^2\text{H}$ 值在种植年限间无显著差异。由图 3 可知,三七不同器官间 $\delta^2\text{H}$ 值最大为 -6.968%,最小为

-9.879%,部分器官间达到极显著差异 ($P < 0.01$),芦头、块根、筋条极显著高于须根,极显著高于花、茎叶,芦头、块根、筋条间无显著差异,花和茎叶间无显著差异。

2.4 三七中各器官氧同位素特征

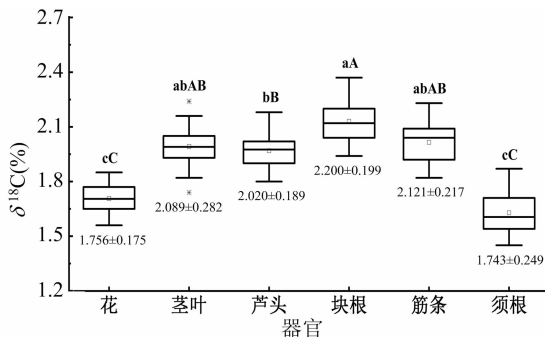
由表 4 可知,春三七各器官不同种植年限间 $\delta^{18}\text{O}$ 均无显著差异。从图 4 可以看出,以块根中的 $\delta^{18}\text{O}$ 最大,平均为 2.20%。以花和须根的 $\delta^{18}\text{O}$ 值最低,二者极显著低于其他器官的 $\delta^{18}\text{O}$ 值 ($P < 0.01$)。然而,块根和茎叶、筋条,芦头和茎叶、筋条

官的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 没有显著差异,后续三七 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 稳定同位素研究中可以不考虑年际因素。

忽略年限差异,考察不同器官中的 $\delta^{13}\text{C}$,三七地上部分花、茎叶与地下部分芦头、块根、筋条、须根存在极显著差异,块根、筋条 > 芦头、须根 > 花、茎叶 ($P < 0.01$)。洪伟等对不同品种桉树(10 个)的叶、枝干和根的 $\delta^{13}\text{C}$ 值进行研究,结果表明同种桉树的叶、枝干、根的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异显著,且依次降低^[15]。董星彩等对五味子生果实、果梗和叶片进行稳定碳同位素组成进行分析,结果显示,不同器官 $\delta^{13}\text{C}$ 值间有显著差异,表现为果实 > 果梗 > 叶片^[16]。影响植物不同器官的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的差异主要来自 2 个方面:

表 4 不同年限间三七各器官 $\delta^{18}\text{O}$

年限	$\delta^{18}\text{O}(\%)$					
	花	茎叶	芦头	块根	筋条	须根
2 年春三七	1.693 ± 0.096a	1.971 ± 0.072a	1.970 ± 0.172a	2.231 ± 0.139a	2.052 ± 0.118a	1.628 ± 0.084a
3 年春三七	1.779 ± 0.195a	2.108 ± 0.299a	2.028 ± 0.192a	2.195 ± 0.208a	2.140 ± 0.236a	1.774 ± 0.270a

图 4 春三七不同器官的 $\delta^{18}\text{O}$ Duncan's 多重比较分析($n=51$)

一是植物运输过程中的分馏、不同器官化学组成成分与生化过程、植物器官形成时间与发展阶段存在差异;二是不同器官呼吸速率不同,植物器官在呼吸过程中利用了比较多的 $\delta^{12}\text{C}$ 物质,从而导致 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在差异^[15-16]。

植物对氮素的吸收征调能力在不同部位也不尽相同,本研究表明, $\delta^{15}\text{N}$ 以花、茎叶极显著高于地下部分,地下部分块根、筋条 > 芦头 > 须根($P < 0.01$)。王志鹏等研究发现,不同组织氮代谢过程与光合过程中对稳定性同位素的代谢存有差异,植物地上部分 $\delta^{15}\text{N}$ 与地下部分相比高(0.006 ± 0.184)%,表明植物吸收的氮素在茎和叶中的分配比例较高,而在根中的分配比例较小^[17]。王红云等研究发现,植物不同器官的 $\delta^{15}\text{N}$ 存在显著差异,植物不同器官的 $\delta^{15}\text{N}$ 差异没有统一规律^[18],Evans 总结认为,不同植物器官间存在 $\delta^{15}\text{N}$ 差异规律不同,主要是因为植物对氮源的利用率不同以及对氮源的同化模式不相同而造成的^[19]。而植物生长过程中的氮再分配以及不同植物器官的氮的同化和氮的损失造成不同器官和物质成分间存在差异。除植物自身对氮的生理代谢过程控制外,土壤类型、有机质含量、肥料类型、前茬施肥、施肥使其乃至灌溉等在很大程度上都影响植物 $\delta^{15}\text{N}$ 值^[18-19]。

植物组织中的氢、氧稳定同位素受到农产品内部代谢变化的影响,也与其生长地域的降水同位素特征以及生态环境因素密切相关^[20]。本试验结果显示, $\delta^2\text{H}$ 地上部分与地下部分差异极显著,芦头、

块根、筋条 > 须根 > 花、茎叶($P < 0.01$);不同器官 $\delta^{18}\text{O}$ 表现为块根 > 芦头 > 花、须根($P < 0.01$)。庞荣丽等研究总结,一般而言,在植物生长过程中,进入叶片表面水分的蒸腾作用、光合作用过程中发生的一系列生化反应可以导致同位素分馏,而水分在植物本身运输过程中不会发生同位素分馏现象^[21]。植物稳定性氢、氧同位素主要受温度状况、降水同位素、植物生理生化过程分馏等因素的影响^[21-22]。

除花 $\delta^{15}\text{N}$ 外,年限因素不影响三七各器官中碳、氮、氢、氧同位素组成。三七地上部分花、茎叶与地下部分芦头、块根、筋条、须根 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 存在极显著差异,地下部分须根与其他器官芦头、块根、筋条 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 存在极显著差异;块根、芦头与花、须根之间 $\delta^{18}\text{O}$ 存在极显著差异,其余器官间规律不明显。在进行三七各器官产地溯源研究时,应根据其同位素变化规律选择有差异的同位素指标。

参考文献:

- [1] 崔秀明,陈中坚. 三七药材的道地性研究[M]. 昆明:云南科技出版社,2007.
- [2] 何忠俊,梁社往,丁颖,等. 三七主根稳定碳同位素组成与生态因子的关系[J]. 生态环境学报,2015,24(4):561-568.
- [3] 刘志,张永志,周铁锋,等. 不同烘干方式对茶叶中稳定同位素特征及其产地溯源的影响[J]. 核农学报,2018,32(7):1408-1416.
- [4] 郭波莉,魏益民,潘家荣. 同位素指纹分析技术在食品产地溯源中的应用进展[J]. 农业工程学报,2007,23(3):284-289.
- [5] 彭凯秀,刘欢,刘鸽,等. 稳定同位素技术在动植物源食品溯源中的应用研究[J]. 食品工业科技,2021,42(8):338-345.
- [6] 郭莲仙,麦展华,赵行,等. 稳定碳同位素技术在食品掺杂和溯源检测的应用[J]. 现代食品科技,2016,32(3):281-290.
- [7] Chung I M, Kim J K, Lee J H, et al. C/N/O/S stable isotopic and chemometric analyses for determining the geographical origin of *Panax ginseng* cultivated in Korea[J]. Journal of Ginseng Research, 2018,42(4):485-495.
- [8] Chung I M, Kim J K, Lee K J, et al. Geographic authentication of Asian rice (*Oryza sativa* L.) using multi-elemental and stable isotopic data combined with multivariate analysis[J]. Food Chemistry, 2018,240(1):840-849.
- [9] 公维民,马丽娜,王飞,等. 我国大米碳氮稳定同位素比率特征及溯源应用[J]. 农产品质量与安全,2019(4):9-12,40.

王玮玮,汪国莲,孙玉东,等. 氮肥施用量对淮安红椒裂果及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(15):132-135.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.15.024

氮肥施用量对淮安红椒裂果及品质的影响

王玮玮^{1,2},汪国莲^{1,2},孙玉东^{1,2},赵建锋^{1,2},王林闯^{1,2},罗德旭^{1,2}

(1. 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所,江苏淮安 223001; 2. 淮安市设施蔬菜重点实验室,江苏淮安 223001)

摘要:在淮安红椒核心种植区,选择种植户常用的先红一号为试材,在其结果期及盛果期追施 0、15、30、45、60、90、180、240 kg/hm² 8 个浓度的氮肥,辣椒果完全转红后采收测产,调查不同氮肥施用量对红椒产量、裂果及果实品质的影响。结果表明,随着氮肥施用量的增加,红椒产量先增加,后减少,T3 小区产量(9.32 kg)最高,与其他处理(除 T4 外)差异显著($P < 0.05$)。同时 T3 小区裂果指数(15.3)、裂果植株率(47.92%)与其他处理比处于较低水平;商品果率(84.01%)在各处理中相对适中;果长、果宽、硬度、肉厚指标与其他处理差异不明显。随着氮肥施用量的增加,可溶性蛋白质含量呈上升趋势,CK 含量最小,T7 处理含量最大;可溶性糖含量方面,T3 处理最高,T7 处理最低,T3 处理与其他处理差异显著($P < 0.05$)。维生素 C 含量 T3 处理最高(40.83 mg/g),与其他处理差异显著($P < 0.05$),T4 ~ T7 处理间差异不显著。有机酸含量方面,T3 处理含量最高,T5 处理次之,T3、T5 处理与其他处理差异显著($P < 0.05$)。

关键词:淮安红椒;氮肥;裂果;品质

中图分类号:S641.306 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)15-0132-04

辣椒属于茄科辣椒属作物,其产量居蔬菜作物之首,全世界种植范围较为广泛^[1]。淮安红椒果实主要为粗牛角形,是江苏省第一个成功注册的设施

蔬菜地理标志产品,色泽鲜红光亮,维生素 C 含量高,具有较高的食用价值和经济价值,备受广大消费者喜爱^[2]。以淮安市清江浦区为核心的红椒种植区,大棚设施化红椒栽培面积达 20 000 hm² 以上,成为淮安及周边地区现代高效农业主导产业之一^[3]。

目前,红椒种植户通常采用活体贮存技术延长红椒的采收期,来满足市场对红椒的需求。然而红椒果实在成熟以后,容易发生裂果的现象,大大降低了红椒的商品价值。氮是红椒生长过程中所必需的大量元素,能够改善其多项生理功能,作用大

收稿日期:2020-12-23

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(17)3040];浙南作物育种重点实验室(编号:2018SZCB01);淮安市农业科学研究院科研发展基金(编号:HNY201909)。

作者简介:王玮玮(1982—),男,江苏淮安人,助理研究员,主要从事辣椒栽培育种技术研究。E-mail:88079385@qq.com。

通信作者:罗德旭,硕士,副研究员,主要从事蔬菜育种及栽培技术研究。E-mail:498782025@qq.com。

[10]夏 魏,刘 志,邵圣枝,等. 茶叶与产地环境中稳定同位素和矿物元素特征及其相关性研究[J]. 核农学报,2020,34(3): 573-581.

[11]孙丰梅,石光雨,王慧文,等. 牛不同组织中稳定性同位素氢、氧、硫组成探讨[J]. 核农学报,2012,26(8):1148-1153.

[12]郭 莉,张 寰,王 燕,等. 基于碳、氮稳定同位素技术的羊肉产地溯源可行性研究[J]. 肉类工业,2020(2):25-30.

[13]Zhao S S,Zhao Y,Rogers K M,et al. Application of multi-element (C,N,H,O) stable isotope ratio analysis for the traceability of milk samples from China[J]. Food Chemistry,2020,310:125826.

[14]梁社往,何忠俊,熊俊芬,等. 基于稳定同位素指纹的春三七主根产地判别研究[J]. 中国中药杂志,2021,46(3):560-566.

[15]洪 伟,黄锦湖,李 键,等. 不同桉树品种稳定碳同位素研究[J]. 福建林学院学报,2008,28(3):193-197.

[16]董星彩,王颜红,李国琛,等. 五味子稳定碳同位素分布特征及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志,2010,29(12):2353-

2357.

[17]王志鹏,楚 彬,周 睿,等. 祁连山东段高寒草甸常见植物稳定性同位素特征[J]. 甘肃农业大学学报,2019,54(1):175-183,189.

[18]王红云,高占锋,付 才,等. 大枣不同组织氮稳定同位素变化规律研究[J]. 华北农学报,2015,30(增刊1):429-434.

[19]Evans R D. Physiological mechanisms influencing plant nitrogen isotope composition[J]. Trends in Plant Science,2001,6(3):121-126.

[20]Kim K, Song J H, Heo S C, et al. Discrimination of ginseng cultivation regions using light stable isotope analysis[J]. Forensic Science International,2015,255:43-49.

[21]庞荣丽,王书言,王瑞萍,等. 同位素技术在水果及制品产地溯源中的应用研究进展[J]. 果树学报,2018,35(6):747-759.

[22]何忠俊,梁社往,丁 颖,等. 三七主根稳定氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 与生态因子关系的研究[J]. 核农学报,2016,30(3):556-564.