

高建晓,李鹏霞,邵明灿,等.短波紫外照射对鲜切网纹瓜货架期品质影响的多变量分析[J].江苏农业科学,2016,44(11):320-326.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.11.095

# 短波紫外照射对鲜切网纹瓜货架期品质影响的多变量分析

高建晓<sup>1,2</sup>,李鹏霞<sup>1</sup>,邵明灿<sup>1</sup>,孙玉东<sup>3</sup>,罗德旭<sup>3</sup>

(1.江苏省农业科学院,江苏南京 210014; 2.南京农业大学食品科学技术学院,江苏南京 210095;  
3.江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所,江苏淮安 223001)

**摘要:**采用单因素方差分析、主成分分析、相关性分析、偏最小二乘回归分析、通径分析5种数据分析方法,探讨了短波紫外线(Ultraviolet - C, UV - C)照射处理对鲜切网纹瓜货架期品质的影响。单因素方差分析表明,UV - C处理可有效抑制鲜切网纹瓜的呼吸强度,显著减缓网纹瓜失重及硬度和蛋白质含量下降,维持较高的抗氧化活性,使网纹瓜获得较高的感官评分。主成分分析表明,UV - C处理对网纹瓜感官评分的影响最为显著,网纹瓜货架前期与后期的可溶性糖含量、可滴定酸含量、糖酸比、硬度、失重率、呼吸强度、蛋白质、总酚含量、类黄酮含量均有较大幅度变动。相关性和偏最小二乘回归分析表明糖酸比、类黄酮含量、CAT活性、硬度与感官评分表现出显著的正相关效应( $P < 0.05$ ),而可滴定酸含量、MDA含量、呼吸强度、失重率与感官评分呈显著负相关( $P < 0.05$ )。通径分析表明,失重率通过自身的直接作用和硬度、呼吸强度、可溶性糖的间接作用影响网纹瓜的品质,是作用于感官评分最主要的因素。

**关键词:**鲜切网纹瓜;短波紫外线;货架期品质;多变量分析

**中图分类号:** TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)11-0320-06

网纹瓜(*Cucumis melon* L. var. *reticulatus* Naud.)属葫芦科甜瓜属的一个变种,是厚皮甜瓜的一种类型<sup>[1]</sup>。鲜切网纹瓜以营养、新鲜、洁净、方便、可食率高达100%等特点,越来越受到在国内外消费者的欢迎<sup>[2]</sup>。然而鲜切甜瓜比整瓜更易发生品质劣变、微生物侵染,且货架期短、影响销售<sup>[3-4]</sup>。目前已有许多鲜切甜瓜保鲜的报道,如成善汉等发现4℃加食盐处理可保持鲜切甜瓜外观品质,延长保鲜时间<sup>[5]</sup>;Zhang等研究发现50% O<sub>2</sub> + 50% CO<sub>2</sub>气调处理可显著提高鲜切哈密瓜在7℃时的货架品质及寿命<sup>[6]</sup>;Silveira等采用热水浸泡和过氧乙酸浸泡处理,可显著提升鲜切甜瓜货架期及商品性<sup>[7]</sup>。利用短波紫外线(200~280 nm)照射采后果蔬是一种无毒、无污染、无残留、安全有效的非化学防腐的果蔬保鲜方法<sup>[8-9]</sup>。近年来研究发现,果蔬经低剂量的短波紫外线(Ultraviolet - C, UV - C)照射后,可明显降低贮藏期间的腐烂率,延缓其后熟进程<sup>[10]</sup>。Manzocco等通过包装贮藏前对鲜切甜瓜进行UV - C处理,能够有效抑制贮藏期间(6℃)鲜切甜瓜表面微生物引起的腐烂,阻止甜瓜汁液流失,保持良好风味,然而UV - C照射调控鲜切甜瓜感官品质的关键因子及因子间的相关性尚不明确<sup>[11]</sup>。

目前,国内外已有利用生物统计法解析果实品质与特征指标关系的报道。单因素方差分析、主成分分析、相关性分

析、偏最小二乘法回归分析、通径分析是5种常见数据分析方法,分别用于判别显著差异、区别主效因子、寻求参数间联系、确定参数间相关性、判别直接效应与间接效应。目前这一研究思路已在杏鲍菇<sup>[12]</sup>、草莓<sup>[13]</sup>、苹果<sup>[14]</sup>等果蔬上得到应用。

衡量鲜切网纹瓜品质的指标众多,UV - C照射处理可能影响多种品质指标,简单的检验分析往往很难判断出影响甜瓜品质的关键因素。因此,为了明确UV - C照射调控鲜切网纹瓜感官品质的关键因子及因子之间的相互影响关系,本研究综合运用单因素方差分析、主成分分析、相关性分析、偏最小二乘回归分析和通径分析5种分析方法,分析UV - C照射处理对鲜切网纹甜瓜货架期品质的影响,以期为鲜切网纹甜瓜保鲜技术提供理论依据和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料处理

网纹瓜采自江苏省淮安市盱眙县网纹瓜种植基地,品种为华蜜0526,成熟度为7~8成熟,果实呈长椭圆形,单瓜质量约2.5 kg,果皮淡黄色覆盖细网纹。单果包装,2 h内运回江苏省农业科学院农产品保鲜实验室,在(6±1)℃条件下预冷24 h后,剔除病、伤果,选择形状大小相近、果色均匀、成熟度一致的果实用于试验处理。

网纹瓜预冷后用自来水清洗表面,沥干表面水分,然后进行切分,鲜切操作在温度10℃的实验室进行。采用经200 mg/L次氯酸钠消毒处理过的刀切掉网纹瓜两端(约2 cm),剩余瓜体按照5 cm厚度大小切分成圆柱状,再切分成立体梯形状(5±0.6) cm × (3.5±0.6) cm × (2.5±0.3) cm,去籽。切分完毕后将鲜切网纹瓜随机分组为无紫外照射组(CK)和UV - C照射组(UV - C)。所选紫外照射光

收稿日期:2015-09-08

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(13)3009]。

作者简介:高建晓(1991—),女,硕士研究生,主要从事果蔬保鲜研究。E-mail:gaojianxiaoo@163.com。

通信作者:邵明灿,硕士,副研究员,主要从事园艺栽培与管理研究。E-mail:smc7849@yahoo.com。

源为普通紫外杀菌灯,长度 59 cm,直径 2.4 cm,输出功率 20 W,约 95% 的紫外光在 254 nm 波长处发射波能。照射时紫外灯管与鲜切网纹瓜之间的距离约为 30 cm,采用紫外光照度计测得网纹瓜放置处的辐照度为  $169 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ,紫外照射时间为 2 h,照射过程中需不断翻转网纹瓜,确保其受照均匀。UV-C 处理后,将 CK 和 UV-C 处理鲜切网纹瓜分别均匀分装,每组挑选大小形状基本相同的 4 块,装入聚丙烯食品托盘中,用透明保鲜膜包装,然后置于  $(6 \pm 1)^\circ\text{C}$  下贮藏。本试验共包括 2 个处理组(CK 和 UV-C),5 组重复,每组重复又包括 3 盒鲜切网纹瓜。贮藏期间每 2 d 取样 1 次,每次随机取样,取鲜切网纹瓜距果皮 1 cm 外的果肉,液氮速冻后于  $-20^\circ\text{C}$  冰箱中保存,用于生理指标的测定。每项指标测定重复 3 次。

## 1.2 仪器与设备

TA.XT Plus 型质构仪(英国 Stable Micro System 公司);TU-1810 紫外可见分光光度计(北京谱析仪器有限公司);梅特勒-托利多 PL202-L 多功能酸度计(梅特勒-托利多上海有限公司);Ultra-Turrax Ika-T18 basic 打浆机(德国 IKA 公司);Agilent Technologies 7820A 气相色谱仪(美国 Agilent 公司)。

## 1.3 方法

1.3.1 呼吸强度 参照胡花丽等的方法<sup>[15]</sup>略有修改,取各处理鲜切网纹甜瓜称量后置于 6.14 L 真空干燥器中,每个处理 3 组重复,于室温下密闭 1 h 后用注射器取样气,抽取 20 mL 样气用气相色谱测定,色谱条件:FID 检测器,柱温  $70^\circ\text{C}$ ,汽化室温度  $150^\circ\text{C}$ ,转化炉温度  $300^\circ\text{C}$ , $\text{N}_2$  压力 0.5 MPa, $\text{H}_2$  压力 0.3 MPa,空气压力 0.5 MPa,重复 3 次。外标法定量。

1.3.2 失重率 采用重量法,失重率 = (贮藏前质量 - 测定时质量)/贮藏前质量  $\times 100\%$ 。

1.3.3 感官评价 参照王建清等的方法<sup>[16]</sup>略有修改。感官品质评分标准为:8~10 分:色泽鲜艳、外观优、有光泽、水果香气浓郁;6~8 分:色泽稍淡、外观良好、有小部分失水、有轻微水果香;4~6 分:果实变为暗黄色、稍有光泽、出现萎蔫现象、有轻微霉变、有轻微酸腐味;2~4 分:暗黄色加深、大面积萎蔫、部分腐烂、出现霉变、有较严重酸腐味道;0~2 分:暗斑大面积出现、几乎全部腐烂、大面积霉变、有严重霉味。

1.3.4 硬度 采用 TA.XT Plus 质构仪进行测定,将样品固定在质构仪平台上,鲜切网纹瓜内表面正对探头,探头直径为 5 mm,下压力度为 25 N,穿刺速度为 5 mm/s,下压深度为 20 mm,单果重复 4 次。

1.3.5 可溶性糖 可溶性糖含量采用蒽酮比色法<sup>[17]</sup>进行测定。采用 80% 乙醇提取可溶性糖,上清液与 0.2% 硫酸蒽酮反应,于 630 nm 波长处测定吸光度。样品的可溶性总糖含量换算为鲜样中葡萄糖的含量(%)。

1.3.6 可滴定酸 参照王亚楠等的方法<sup>[18]</sup>测定。

1.3.7 可溶性蛋白 可溶性蛋白含量采用 Bradford 的方法<sup>[19]</sup>进行测定。取 0.1 mL 样品上清液与 5 mL 考马斯亮蓝反应,于 595 nm 处测定吸光度。样品的可溶性蛋白含量换算为 1 g 鲜样中牛血清蛋白的含量(mg/g)。

1.3.8 维生素 C 维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚法<sup>[20]</sup>

测定。称取 5 g 果肉样品,加 20 mL 2% 的草酸溶液,研磨匀浆后,离心(10 000 r/min,20 min, $4^\circ\text{C}$ )。取上清液 15 mL,用 1% 草酸溶液将样品液移入 50 mL 容量瓶中稀释至刻度,摇匀。取 20 mL 滤液,置于 50 mL 三角瓶中,用已标定的 2,6-二氯酚酚染料溶液滴定,直至溶液呈微红色,且 15 s 不褪色为止,重复 3 次。同时,以 20 mL 2% 草酸溶液作为空白对照按同样方法进行滴定。果实中维生素 C 含量以  $\mu\text{g}/\text{g}$  表示。

1.3.9 总酚 参照 Ghasemnezhad 等的方法<sup>[21]</sup>略有改动。采用 80% 乙醇提取总酚,0.1 mL 上清液与 0.4 mL Folin 试剂 25  $^\circ\text{C}$  反应 3 min,再加入 1 mL 饱和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液,25  $^\circ\text{C}$  反应 1 h,于 760 nm 波长处测定吸光度,以没食子酸作为标准物质,重复 3 次测定,计算总酚含量(mg/g)。

1.3.10 类黄酮 称取 5 g 样品,加无水乙醇 25 mL,摇匀后,超声提取 20 min,放置,吸取上清液 1 mL 于蒸发皿中,加 1 g 聚酰胺粉吸附,水浴挥去乙醇,然后转入层析柱。先用甲苯洗,弃去甲苯液,然后用甲醇洗脱黄酮,定容至 25 mL。此液于波长 360 nm 处测定吸收度。以芸香苷为标准品绘制标准曲线。类黄酮含量以  $\mu\text{g}/\text{g}$  表示。

1.3.11 丙二醛(malondialdehyde,MDA) 参照李合生的方法<sup>[22]</sup>略有改动。称取 1 g 样品,加入 5% 三氯乙酸 10 mL,研磨后所得匀浆在 3 000 r/min 下离心 10 min,取上清液 2 mL,加入 2 mL 0.67% 硫代巴比妥酸,混合后水浴煮沸 30 min,冷却后离心,分别取上清液测定在 450、532、600 nm 处的吸光度,计算 MDA 含量( $\mu\text{g}/\text{g}$ )。

1.3.12 超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase,SOD)活性 SOD 活性测定采用光照法<sup>[22]</sup>。取 5 g 样品,加入 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.2)10 mL,离心(10 000 r/min,20 min, $4^\circ\text{C}$ )。反应需在透明度好、质地相同的试管中进行。反应体系包括:130 mmol/L 甲硫氨酸、750  $\mu\text{mol}/\text{L}$  氮蓝四唑、20  $\mu\text{mol}/\text{L}$  核黄素、100  $\mu\text{mol}/\text{L}$  EDTA、粗提液 1 mL。混匀后,将对照管完全遮光,与样品管同时置于光照培养箱内反应 60 min。反应结束后,用黑布罩盖上试管终止反应。以遮光的对照管作为空白调零,在 560 nm 波长处测定吸光度。以 1 min 内  $\Delta D_{560 \text{ nm}}$  减少 0.1 为 1 个酶活单位,以 U/g FW 表示 SOD 活性的单位。

1.3.13 过氧化物酶(Peroxidase,POD)活性 POD 测定采用愈创木酚法<sup>[22]</sup>。粗酶液制备同 SOD 测定中粗酶液制备方法。将 0.2 mL 粗酶提取液加入 2 mL 0.05 mol/L 愈创木酚中,在  $30^\circ\text{C}$  水浴中平衡 5 min,然后加入 1 mL 0.2% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,混匀,1 min 后扫描 470 nm 波长处吸光度变化,以 1 min 内  $\Delta D_{470 \text{ nm}}$  减少 0.01 为 1 个酶活单位,以 U/g FW 表示 POD 活性的单位。

1.3.14 过氧化氢酶(Catalase,CAT)活性 CAT 测定采用过氧化氢法<sup>[23]</sup>。粗酶液制备同 SOD 测定中粗酶液制备方法。取 0.1 mL 粗酶液和 2 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.0)在  $25^\circ\text{C}$  水浴下预热 5 min,加入 1 mL 0.2%  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,立即于 240 nm 处扫描,以 1 min 内  $\Delta D_{240 \text{ nm}}$  减少 0.1 为 1 个酶活单位,以 U/g FW 表示 CAT 活性的单位。

## 1.4 数据统计与分析

试验数据使用 SPSS 20.0 进行  $t$  测验单因素方差分析( $P < 0.05$ )、相关性分析和主成分分析,使用 Simca-p 11.5

和 DPS 7.5 分别进行偏最小二乘回归分析和通径分析。

2 结果与分析

2.1 单因素方差分析

由表 1 可知,UV - C 处理和 CK 网纹瓜的呼吸强度在货架期内随时间延长呈先下降(0 ~ 2 d)后上升(2 ~ 8 d)趋势,货架期 8 d 时,UV - C 处理网纹瓜的呼吸强度仅为 CK 的 67.4%,显著低于 CK( $P < 0.05$ ),说明 UV - C 处理可有效抑

制网纹瓜的呼吸强度。UV - C 处理和 CK 网纹瓜的失重率在货架前期(0 ~ 4 d)差异不显著,后期(4 ~ 8 d)UV - C 处理的失重率显著低于 CK( $P < 0.05$ ),由此可知,UV - C 处理可有效减缓果实失重。UV - C 处理的硬度显著高于 CK( $P < 0.05$ ),表明 UV - C 照射处理可显著延缓网纹瓜的衰老。UV - C 处理和 CK 网纹瓜的蛋白质含量在货架期间均呈先上升后下降趋势,但 UV - C 处理网纹瓜的蛋白质含量在货架期 4 ~ 8 d 内显著高于 CK( $P < 0.05$ )。

表 1 紫外照射处理对鲜切网纹瓜感官品质的影响

| 处理         | 呼吸强度 CO <sub>2</sub><br>[mg/(kg·h)] | 失重率<br>(%)   | 硬度<br>(N)    | 可滴定酸<br>(%)      | 可溶性糖<br>(%)   | 糖酸比            | 蛋白质<br>(mg/g) | 感官评分<br>(分)  |
|------------|-------------------------------------|--------------|--------------|------------------|---------------|----------------|---------------|--------------|
| 0 d        | 1.57 ± 0.08                         | 0.00 ± 0.00  | 8.00 ± 0.10  | 0.097 ± 0.000 4  | 10.20 ± 0.07  | 105.17 ± 0.82  | 11.34 ± 0.29  | 10.00 ± 0.00 |
| 2 d CK     | 1.24 ± 0.03a                        | 0.08 ± 0.06a | 7.60 ± 0.10a | 0.112 ± 0.000 1a | 10.87 ± 0.03a | 96.48 ± 0.01b  | 17.67 ± 0.17a | 9.80 ± 0.10a |
| 2 d UV - C | 1.28 ± 0.03a                        | 0.03 ± 0.08a | 7.60 ± 0.10a | 0.109 ± 0.000 6b | 11.14 ± 0.12a | 102.26 ± 0.59a | 16.14 ± 0.57b | 9.80 ± 0.10a |
| 4 d CK     | 1.45 ± 0.08a                        | 0.31 ± 0.05a | 7.40 ± 0.08b | 0.115 ± 0.000 4a | 11.23 ± 0.04a | 97.45 ± 0.16b  | 20.21 ± 0.50b | 8.80 ± 0.08b |
| 4 d UV - C | 1.31 ± 0.09a                        | 0.22 ± 0.04a | 7.80 ± 0.18a | 0.104 ± 0.000 4b | 10.70 ± 0.14b | 104.17 ± 0.42a | 21.38 ± 0.58a | 9.30 ± 0.18a |
| 6 d CK     | 1.72 ± 0.08a                        | 0.68 ± 0.07a | 7.20 ± 0.17b | 0.156 ± 0.000 7a | 10.00 ± 0.06a | 63.54 ± 0.06a  | 24.34 ± 0.25b | 7.20 ± 0.07b |
| 6 d UV - C | 1.65 ± 0.11a                        | 0.42 ± 0.06b | 7.90 ± 0.14a | 0.147 ± 0.000 1b | 9.12 ± 0.13b  | 61.05 ± 0.11b  | 27.06 ± 0.25a | 8.00 ± 0.04a |
| 8 d CK     | 2.80 ± 0.22a                        | 1.06 ± 0.13a | 6.00 ± 0.11b | 0.154 ± 0.000 7a | 11.12 ± 0.07a | 72.54 ± 0.30a  | 19.28 ± 0.25b | 5.50 ± 0.11b |
| 8 d UV - C | 1.89 ± 0.09b                        | 0.65 ± 0.08b | 7.00 ± 0.11a | 0.135 ± 0.000 2b | 9.80 ± 0.04b  | 72.63 ± 0.23a  | 21.33 ± 1.01a | 7.00 ± 0.11a |

注:不同小写字母表示同一取样时间点不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

果实糖酸比是评价甜瓜食味好坏的依据。网纹瓜的可溶性总糖含量在货架期内变化不大,UV - C 处理的网纹瓜可溶性总糖含量在 9.12% ~ 11.14% 之间,CK 的总糖含量在 10.00% ~ 11.23% 之间;货架期内,UV - C 处理和 CK 网纹瓜的可滴定酸总体均呈上升趋势,且 UV - C 处理的可滴定酸含量显著低于 CK( $P < 0.05$ )。由果实糖酸比可知,货架期 0 ~ 4 d 内网纹瓜糖酸比变化不大,UV - C 处理的糖酸比维持在 102.26 ~ 105.17 之间,CK 组的糖酸比在 96.48 ~ 105.17 之间,后期糖酸比迅速下降,且 UV - C 处理和 CK 网纹瓜的糖酸比无明显差异。可见,UV - C 处理网纹瓜货架前期的糖酸比变化较小,较好地保持了果实的口感。货架期 8 d,UV - C 处理网纹瓜的感官评分略有下降,得分为 7.00,具有一定的商品价值,而 CK 此时的感官评分已降到 5.50,说明此时的网纹瓜几乎完全丧失商品性。

由表 2 可知,货架期内,UV - C 处理的网纹瓜 CAT 活性随时间延长呈先上升后下降趋势,CK 网纹瓜的 CAT 活性在货架期 4 d 时达到峰值,之后急剧下降,而 UV - C 处理的 CAT 活性在货架期 6 d 时才开始下降,可见,UV - C 处理有效延缓了 CAT 活性的下降。POD 活性的变化也呈先上升后下降趋势,但 UV - C 处理网纹瓜的 POD 活性 6 ~ 8 d 内显著高于 CK( $P < 0.05$ )。表 2 显示,CK 果实的 SOD 活性随时间推进呈先下降后上升趋势,而 UV - C 处理的果实 SOD 活性整体呈上升趋势,且显著高于 CK( $P < 0.05$ )。由货架期内网纹瓜抗氧化组分的变化情况可知,UV - C 处理网纹瓜的总酚、维生素 C 和类黄酮含量在 4 ~ 8 d 内均显著高于 CK( $P < 0.05$ ),且 UV - C 处理有效减缓了 MDA 含量的上升。由此可见,UV - C 处理可使网纹瓜维持较高的抗氧化活性。

表 2 紫外照射处理对鲜切网纹瓜抗氧化活性及相关组分的影响

| 处理         | 维生素 C<br>(μg/g) | 总酚<br>(mg/g)   | 类黄酮<br>(μg/g) | MDA<br>(μg/g) | CAT<br>(U/g) | POD<br>(U/g)    | SOD<br>(U/g)   |
|------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|----------------|
| 0 d        | 21.64 ± 2.74    | 0.12 ± 0.004   | 36.45 ± 1.00  | 0.21 ± 0.006  | 3.61 ± 0.04  | 366.32 ± 17.78  | 180.90 ± 2.17  |
| 2 d CK     | 33.67 ± 2.70a   | 0.138 ± 0.004a | 28.83 ± 0.67a | 0.23 ± 0.003a | 3.89 ± 0.04a | 382.73 ± 7.06b  | 165.39 ± 1.45b |
| 2 d UV - C | 25.42 ± 1.67b   | 0.125 ± 0.003b | 22.51 ± 0.00b | 0.22 ± 0.005b | 3.66 ± 0.04b | 445.75 ± 3.35a  | 215.47 ± 4.04a |
| 4 d CK     | 34.34 ± 1.67b   | 0.141 ± 0.002a | 20.85 ± 0.00a | 0.23 ± 0.002a | 4.20 ± 0.07a | 558.65 ± 2.59a  | 131.13 ± 1.63b |
| 4 d UV - C | 49.32 ± 0.63a   | 0.144 ± 0.002a | 22.53 ± 0.59a | 0.21 ± 0.006b | 3.65 ± 0.04b | 548.21 ± 7.74a  | 248.29 ± 5.43a |
| 6 d CK     | 51.62 ± 2.15b   | 0.123 ± 0.001b | 25.36 ± 0.33b | 0.25 ± 0.003b | 2.61 ± 0.04b | 476.04 ± 7.10b  | 199.30 ± 8.28a |
| 6 d UV - C | 56.62 ± 1.10a   | 0.127 ± 0.001a | 28.35 ± 0.67a | 0.26 ± 0.005a | 4.16 ± 0.09a | 540.13 ± 18.72a | 208.40 ± 8.76a |
| 8 d CK     | 41.72 ± 1.64b   | 0.116 ± 0.001b | 14.45 ± 0.00b | 0.33 ± 0.006a | 2.38 ± 0.04b | 356.00 ± 2.70b  | 184.37 ± 6.16b |
| 8 d UV - C | 46.67 ± 1.64a   | 0.120 ± 0.001a | 16.83 ± 0.34a | 0.28 ± 0.001b | 3.01 ± 0.04a | 509.24 ± 2.22a  | 297.39 ± 7.13a |

注:不同小写字母表示同一取样时间点不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

2.2 主成分分析

对不同货架时间,UV - C 处理和 CK 网纹瓜样本进行主成分分析,得到 PC1、PC2、PC3 这 3 个主成分的累积贡献率为 86.97%,因此设定这 3 个主成分即能够代表整体数据的信息特征。由图 1、图 2 可知,PC1、PC2、PC3 分别解释了变量的 53.33%、22.31%、11.33%。

可溶性糖、糖酸比、硬度及感官品质在 PC1 的正坐标处有

较高的载荷,而可滴定酸、失重率、蛋白质及呼吸强度在 PC1 的负坐标处有较高的载荷,所以 PC1 主要反映的是网纹瓜的感官品质。PC1 很好地区分了 UV - C 处理和 CK 货架前期(0、2、4 d)与货架后期(6、8 d)的样本差异,即货架前期样本都集中在 PC1 正坐标处,货架后期样本都集中在 PC1 负坐标处。说明货架后期可溶性总糖含量、可滴定酸含量、糖酸比、硬度、失重率、呼吸强度、蛋白质含量及感官品质发生了较大的变化。

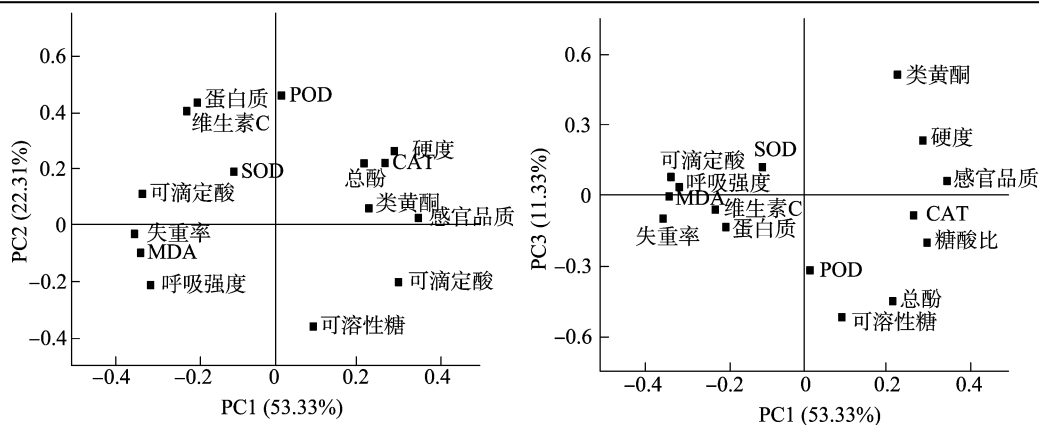


图1 UV-C 处理对鲜切网纹瓜主成分因子载荷的影响

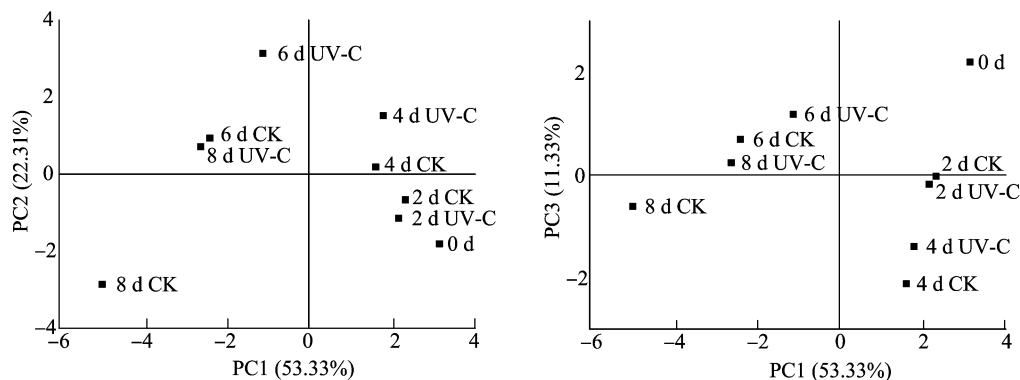


图2 UV-C 处理对鲜切网纹瓜主成分得分的影响

此外,PC1 还较好地区分了同一天内 UV - C 处理和 CK 的样本,表明 UV - C 处理对网纹瓜的感官品质影响较大。

在 PC2 的正坐标上维生素 C、POD、CAT 及 SOD 载荷较高,货架期 6、8 d 时 UV - C 处理和 CK 在 PC2 较好地分开,表明 UV - C 处理对货架末期网纹瓜的维生素 C 含量、POD、CAT、SOD 活性的影响较为显著。

类黄酮在 PC3 的正坐标处有较高的载荷,而总酚在 PC3 的负坐标处载荷较高。此外,PC3 较好地区分了网纹瓜初始品质与货架期 4 d 品质的差异,说明到货架期 4 d 时,UV - C 处理和 CK 网纹瓜的总酚和类黄酮均有较大变化。同时,PC3 把货架期 6、8 d UV - C 处理和 CK 的样本较好地分开,表明 UV - C 处理对货架后期网纹瓜的总酚、类黄酮含量的影响显著。

### 2.3 相关性分析

由表 3 可知,货架期间网纹瓜的感官品质与糖酸比、类黄酮含量、CAT 活性及硬度显著正相关 ( $P < 0.05$ ),与可滴定酸、MDA 含量、呼吸强度及失重率显著负相关 ( $P < 0.01$ )。可滴定酸含量与糖酸比及硬度显著负相关 ( $P < 0.05$ ),与蛋白质含量、MDA 含量、呼吸强度及失重率的正相关性也达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。糖酸比与蛋白质含量、MDA 含量、维生素 C 含量及失重率显著负相关 ( $P < 0.05$ );果实硬度与呼吸强度及失重率显著负相关 ( $P < 0.01$ )。维生素 C 含量与可滴定酸含量、糖酸比及蛋白质含量的相关性也达到显著水平 ( $P < 0.05$ ),但与其他指标相关性不显著。MDA 含量与类黄酮含量、CAT 活性为负相关关系,其中与 CAT 活性显著相关 ( $P < 0.05$ ),CAT 活性与总酚含量显著正相关 ( $P < 0.05$ )。

### 2.4 偏最小二乘回归分析

为了分析网纹瓜的感官评价指标以及抗氧化指标对感官评分的影响,选取感官评分为因变量 ( $Y$ ),其他指标为自变量 ( $X$ ),建立偏最小二乘回归模型。由图 3 可知,前 2 个因子解释了  $X$  变量的 50.13% 及  $Y$  变量的 15.88%。其中,可溶性糖含量、糖酸比、硬度、总酚含量、类黄酮含量、CAT 活性位于因子 1 的正坐标处,表明其与网纹瓜感官评分呈正相关,而可滴定酸含量、失重率、呼吸强度、MDA 含量、SOD 活性与感官评分呈负相关。此外,感官评分位于因子 2 正坐标处,与维生素 C 含量、蛋白质含量相关性较强。

### 2.5 通径分析

使用所有理化指标对感官评分做线性回归分析,得到线性回归方程为  $Y = 6.9975 + 0.0444X_1 + 19.1190X_6 - 0.3149X_{10} - 0.0014X_{11} + 0.1686X_{12} + 0.1636X_{13} - 4.4032X_{14}$ 。式中  $X_1$ 、 $X_6$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{13}$ 、 $X_{14}$  分别代表可溶性糖含量、总酚含量、CAT 活性、SOD 活性、硬度、呼吸强度、失重率。调整决定系数  $r^2 = 1.0000$ ,并进行显著性检验,  $F = 23126.1775$ ,  $P = 0.0051$ ,说明该方程有显著意义,进一步做通径分析。

由表 4 可知,各物质对感官评分的直接通径系数由大到小依次为失重率、CAT 活性、总酚含量、硬度、呼吸强度、可溶性糖含量。其中,失重率对网纹瓜感官评分的直接通径系数高达  $-1.0089$ ,表明失重率对感官评分具有较大的负直接作用,同时硬度、可溶性糖含量通过失重率对感官评分产生较大正间接作用,而呼吸强度通过其产生较大负间接作用。此外,CAT 活性、SOD 活性对感官评分有负直接作用,而可溶性

表 3 鲜切网纹瓜品质与抗氧化能力的相关性分析

| 相关系数  | 可溶性糖  | 可滴定酸   | 糖酸比       | 蛋白质      | MDA      | 总酚     | 维生素 C    | 类黄酮    | POD     | CAT      | SOD    | 硬度        | 呼吸强度      | 失重率       | 感官评分      |
|-------|-------|--------|-----------|----------|----------|--------|----------|--------|---------|----------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 可溶性糖  | 1.000 | -0.398 | 0.630     | -0.510   | -0.138   | 0.298  | -0.578   | -0.338 | -0.288  | -0.018   | -0.448 | -0.303    | -0.025    | -0.132    | 0.191     |
| 可滴定酸  |       | 1.000  | -0.959 ** | 0.705 *  | 0.822 ** | -0.529 | 0.700 *  | -0.443 | 0.050   | -0.597   | 0.120  | -0.635 *  | 0.692 *   | 0.877 **  | -0.891 ** |
| 糖酸比   |       |        | 1.000     | -0.754 * | -0.754 * | 0.523  | -0.756 * | 0.294  | -0.146  | 0.467    | -0.237 | 0.448     | -0.575    | -0.771 ** | 0.804 **  |
| 蛋白质   |       |        |           | 1.000    | 0.369    | 0.111  | 0.942 ** | -0.336 | 0.666 * | -0.050   | 0.249  | -0.123    | 0.133     | 0.502     | -0.508    |
| MDA   |       |        |           |          | 1.000    | -0.625 | 0.427    | -0.631 | -0.219  | -0.645 * | 0.153  | -0.863 ** | 0.916 **  | 0.913 **  | -0.933 ** |
| 总酚    |       |        |           |          |          | 1.000  | 0.037    | 0.138  | 0.513   | 0.678 *  | -0.246 | 0.507     | -0.690 *  | -0.517    | 0.570     |
| 维生素 C |       |        |           |          |          |        | 1.000    | -0.325 | 0.557   | -0.220   | 0.416  | -0.178    | 0.252     | 0.581     | -0.581    |
| 类黄酮   |       |        |           |          |          |        |          | 1.000  | -0.220  | 0.471    | -0.310 | 0.785 **  | -0.539    | -0.686 *  | 0.678 *   |
| POD   |       |        |           |          |          |        |          |        | 1.000   | 0.410    | 0.278  | 0.313     | -0.363    | -0.030    | -0.023    |
| CAT   |       |        |           |          |          |        |          |        |         | 1.000    | -0.306 | 0.781 **  | -0.748 *  | -0.763 *  | 0.748 *   |
| SOD   |       |        |           |          |          |        |          |        |         |          | 1.000  | -0.035    | 0.065     | 0.181     | -0.224    |
| 硬度    |       |        |           |          |          |        |          |        |         |          |        | 1.000     | -0.871 ** | -0.871 ** | 0.855 **  |
| 呼吸强度  |       |        |           |          |          |        |          |        |         |          |        |           | 1.000     | 0.888 **  | -0.893 ** |
| 失重率   |       |        |           |          |          |        |          |        |         |          |        |           |           | 1.000     | -0.995 ** |
| 感官评分  |       |        |           |          |          |        |          |        |         |          |        |           |           |           | 1.000     |

注: \* 表示显著相关( $P<0.05$ ), \*\* 表示极显著相关( $P<0.01$ )。

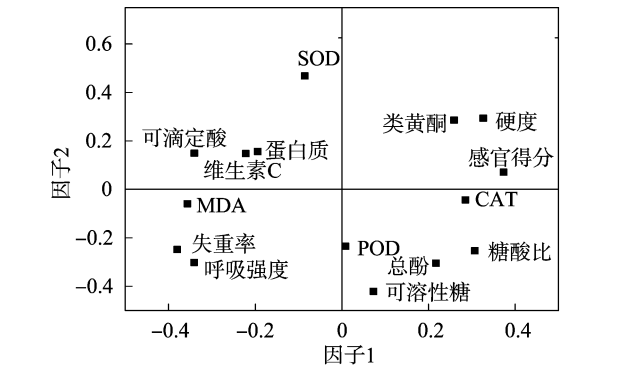


图3 以感官评分为因变量的偏最小二乘回归分析模型的相关载荷

糖含量、硬度、呼吸强度、总酚含量对其起一定正直接作用。

3 讨论

本研究结果表明,网纹瓜经 UV - C 处理后,货架期 8 d 仍具有一定的商品性,而 CK 此时几乎丧失商品性,可见网纹瓜的感官品质在 UV - C 处理后得到了良好的保持,这与 Manzocco 等的研究结果<sup>[11]</sup>一致。单因素方差分析结果表明,与 CK 相比,UV - C 处理可有效抑制网纹瓜的呼吸强度,显著减缓网纹瓜失重以及蛋白质含量和硬度下降。Lamikanra 等的研究也表明 UV - C 处理能够降低切分甜瓜酯酶的活性,降低其呼吸强度,延缓硬度下降,进而提高果实的货架期<sup>[24]</sup>。同时,杨震峰等的研究也表明 UV - C 处理能够显著抑制草莓果实失重率的增加和硬度的下降,从而保持果实的感官和食用品质<sup>[25]</sup>。

表 4 以感官评分为因变量的通径分析结果

| 因子   | 直接       | 可溶性糖     | 总酚       | CAT      | SOD      | 硬度       | 呼吸强度     | 失重率      |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 可溶性  | 0.020 7  |          | 0.036 6  | 0.002 4  | 0.019 1  | -0.020 1 | -0.001 3 | 0.133 5  |
| 糖总酚  | 0.122 6  | 0.006 2  |          | -0.089 5 | 0.010 5  | 0.033 6  | -0.034 8 | 0.521 5  |
| CAT  | -0.132 0 | -0.000 4 | 0.083 1  |          | 0.013 0  | 0.051 8  | -0.037 8 | 0.770 1  |
| SOD  | -0.042 6 | -0.009 3 | -0.030 2 | 0.040 4  |          | -0.002 3 | 0.003 3  | -0.182 9 |
| 硬度   | 0.066 4  | -0.006 3 | 0.062 2  | -0.103 1 | 0.001 5  |          | -0.044 0 | 0.878 7  |
| 呼吸强度 | 0.050 5  | -0.000 5 | -0.084 6 | 0.098 7  | -0.002 8 | -0.057 8 |          | -0.896 2 |
| 失重率  | -1.008 9 | -0.002 7 | -0.063 4 | 0.100 8  | -0.007 7 | -0.057 8 | 0.044 9  |          |

果实糖酸比是构成果实风味品质的重要因素之一<sup>[26]</sup>。试验结果表明,甜瓜果实可滴定酸含量较可溶性糖含量低,货架前期(0 ~ 4 d)二者波动均小,但在货架后期(4 ~ 8 d)变化较大,但 UV - C 处理与 CK 相比,能够显著维持货架后期网纹瓜较低的可溶性总糖和可滴定酸含量,有效减缓货架前期网纹瓜糖酸比的变化,保持了甜瓜较好的风味。此外,货架期 4 d 开始,可溶性糖含量与可滴定酸含量产生的较大变化可能与甜瓜较强的呼吸以及微生物的活动有关<sup>[27-28]</sup>。可溶性蛋白质含量的下降是果实品质劣变的另一表现<sup>[29]</sup>,本试验结果表明 UV - C 处理显著抑制了网纹瓜蛋白质的降解。总酚和类黄酮是植物体内重要的抗氧化物质,维生素 C 是重要的

抗氧化剂,同时也是植物采后衰老的标志性指标<sup>[30]</sup>。UV - C 处理显著保持了货架后期(4 ~ 8 d)网纹瓜较高的维生素 C、总酚及类黄酮的含量,延缓了货架期间的损失。此外,UV - C 处理显著抑制了网纹瓜 MDA 含量的上升,减缓了其对于甜瓜果实组织的伤害。UV - C 处理在不同程度上诱导了活性氧代谢相关酶 POD、CAT 及 SOD 活性的上升,从而维持活性氧代谢的平衡,延缓甜瓜货架期品质的劣变,这与自由基伤害学说是一致的。

主成分分析是从多个因子之间的相互关系入手,利用降维思想,将多个因子化为少数几个互不相关的综合因素的统计方法<sup>[31]</sup>。本研究运用主成分分析法,从网纹瓜 15 个品质

因子中提取出 3 个主成分,得到甜瓜品质 86.97% 的信息。分析结果表明,UV - C 处理主要影响了货架期内甜瓜可溶性总糖含量、可滴定酸含量、糖酸比、硬度、失重率、呼吸强度、蛋白质含量及感官评分的变化,其中对感官评分的影响最为显著;而维生素 C 含量、总酚含量、类黄酮含量、POD 活性、CAT 活性、SOD 活性可以较好地地区分货架期 6、8 d 时 UV - C 处理和 CK 的样本差异,表明网纹瓜的抗氧化性从 6 d 起下降较快,且 UV - C 处理能够有效地维持网纹瓜的抗氧化活性。Jiang 等采用 4 kJ/m<sup>2</sup> 的 UV - C 照射处理香菇也得到了类似的结果<sup>[32]</sup>。

相关性分析及偏最小二乘回归分析结果表明,糖酸比、类黄酮含量、CAT 活性、硬度与感官评分显著正相关,而可滴定酸含量、MDA 含量、呼吸强度、失重率与感官评分显著负相关。果实硬度与呼吸强度及失重率呈显著负相关,这与周任佳等的研究<sup>[33]</sup>相符。此外,类黄酮和 MDA 含量,总酚含量和 POD、CAT 活性,维生素 C 含量、POD 或称、SOD 活性的相关性也较强,表明类黄酮、总酚以及维生素 C 在网纹瓜抗氧化体系中发挥了一定作用,这与 Kim 等对李果实<sup>[34]</sup>和 Banerjee 等对海南蒲桃果实<sup>[35]</sup>的研究结果一致。

通径分析是在相关分析与回归分析的基础上,进一步研究因变量与自变量之间的数量关系,通过直接作用和间接作用揭示了各个因素对因变量的相对重要性<sup>[36]</sup>。结果表明,失重率是影响感官评分的最主要因素,它主要通过自身的直接作用和对硬度、呼吸强度、可溶性糖含量的间接作用对网纹瓜的感官评分产生影响。总酚含量、CAT 活性、SOD 活性也对甜瓜的感官评分有较大的直接作用。

单因素方差分析、主成分分析、相关性分析、偏最小二乘回归分析、通径分析这 5 种多变量分析方法的综合结果表明,与对照相比,UV - C 处理可以显著维持网纹瓜感官品质,主要对可滴定酸含量、糖酸比、硬度、失重率、呼吸强度、MDA 含量、总酚含量、类黄酮含量影响较为明显。感官评分与糖酸比、类黄酮含量、CAT 活性、硬度显著正相关,而与可滴定酸含量、MDA 含量、呼吸强度、失重率显著负相关,其中,失重率通过自身的直接作用和对硬度、呼吸强度、可溶性糖含量的间接作用对鲜切网纹甜瓜货架期商品性造成最直接、最显著的影响。

#### 参考文献:

- [1] 沈波,谢小波,张跃建,等. 不同果肉色泽网纹甜瓜的农艺和生理特性研究[J]. 北方园艺,2012(1):7-10.
- [2] 罗述博,张超,赵晓燕,等. 不同品种甜瓜鲜切加工后贮藏期间的品质变化[J]. 农业工程技术:农产品加工业,2011(6):28-32.
- [3] Lamikanra O, Watson M A. Effects of ascorbic acid on peroxidase and polyphenoloxidase activities in fresh - cut *Cantaloupe muskmelon* [J]. Journal of Food Science,2001,66(9):1283-1286.
- [4] Lamikanra O, Watson M A. Mild heat and calcium treatment effects on fresh - cut *Cantaloupe muskmelon* during storage [J]. Food Chemistry,2007,102(4):1383-1388.
- [5] 成善汉,杨好伟,申海燕,等. 不同温度和保鲜剂对网纹瓜贮藏性状的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(7):4058-4061.
- [6] Zhang B Y, Samapundo S, Pothakos V, et al. Effect of high oxygen and high carbon dioxide atmosphere packaging on the microbial spoilage and shelf - life of fresh - cut *Honeydew muskmelon* [J].

- International Journal of Food Microbiology,2013,166(3):378-390.
- [7] Silveira A C, Aguayo E, Escalona V H, et al. Hot water treatment and peracetic acid to maintain fresh - cut *Galia muskmelon* quality [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 12(4): 569-576.
- [8] 李天略,史载锋,梅平波. 紫外照射对莲雾贮藏保鲜效果的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(21):10136-10138.
- [9] 邓红军. 短波紫外线和热处理对采后草莓损伤生理和品质的调控作用[D]. 杭州:浙江大学,2014.
- [10] 李波,芦菲,余小领,等. 短波紫外线照射对鸡腿菇保鲜的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(6):306-309.
- [11] Manzocco L, da Pieve S, Maifreni M. Impact of UV - C light on safety and quality of fresh - cut muskmelon [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies,2011,12(1):13-17.
- [12] 张璇,胡花丽,王毓宁,等. 气调处理对杏鲍菇货架期品质影响的多变量分析[J]. 食品科学,2014,35(20):265-270.
- [13] 李健,张萌,李丽萍,等. 热处理对草莓品质与活性氧代谢影响的多变量解析[J]. 食品科学,2013,34(16):306-310.
- [14] Lara I, Graell J, López M L, et al. Multivariate analysis of modifications in biosynthesis of volatile compounds after CA storage of 'Fuji' apples [J]. Postharvest Biology and Technology,2006,39(1):19-28.
- [15] 胡花丽,李鹏霞,王毓宁,等. 薄膜包装限气贮藏在李果实上的保鲜效果[J]. 西北农业学报,2011,20(3):138-143.
- [16] 王建清,杨艳,金政伟,等. 小茴香/柠檬草提取精油对鲜切网纹瓜的保鲜效果[J]. 包装工程,2010,31(21):46-58.
- [17] Kafkas E, Kosar M, Paydas S, et al. Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages [J]. Food Chemistry,2007,100(3):1229-1236.
- [18] 王亚楠,胡花丽,古荣鑫,等. 不同薄膜包装对桑葚采后品质的影响[J]. 食品科学,2014,35(18):224-229.
- [19] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein - dye binding [J]. Analytical Biochemistry,1976,72(1):248-254.
- [20] 大连轻工业学院. 食品分析[M]. 北京:中国轻工业出版社,1994:128-131.
- [21] Ghasemnezhad M, Sherafati M, Payvast G A. Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times [J]. Journal of Functional Foods,2011,3(1):44-49.
- [22] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版,2000:191-196.
- [23] Abei H. Catalase *in vitro* [J]. Methods enzymol,1984,105:121-126.
- [24] Lamikanra O, Kueneman D, Ukuku D, et al. Effect of processing under ultraviolet light on the shelf life of fresh - cut *Cantaloupe muskmelon* [J]. Journal of Food Science,2005,70(9):534-539.
- [25] 杨震峰,王吉如,王珊珊,等. 短波紫外线处理对采后草莓果实腐烂和抗氧化能力的影响[J]. 核农学报,2012,26(5):775-780.
- [26] 张红,王怀松,贺超兴,等. 甜瓜糖酸性状的遗传研究[J]. 园艺学报,2009,36(7):989-996.
- [27] 姜天甲,陆仙英,蒋振晖,等. 短波紫外线处理对香菇采后品质的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(2):108-112.
- [28] Silveira A C, Aguayo E, Artés F. Shelf - life and quality attributes in fresh - cut *Galia muskmelon* combined with fruit juices [J]. LWT - Food Science and Technology,2013,50(1):343-348.

吴文铸,郭敏,孔德洋,等. 高效液相色谱法测定环境样品中稻瘟酰胺残留[J]. 江苏农业科学,2016,44(11):326-328.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.11.096

# 高效液相色谱法测定环境样品中稻瘟酰胺残留

吴文铸,郭敏,孔德洋,单正军

(环境保护部南京环境科学研究所国家环境保护农药环境评价与污染控制重点实验室,江苏南京 210042)

**摘要:**采用高效液相色谱法,建立了环境样品中稻瘟酰胺残留分析方法。用乙酸乙酯萃取环境水样品;土壤样品用丙酮提取,乙酸乙酯萃取;鱼体样品用乙腈直接萃取;用高效液相色谱法测定环境样品中稻瘟酰胺残留。结果表明,该方法在 0.5 ~ 10.0 mg/L 范围内线性良好,土壤、水、鱼体中稻瘟酰胺的最小检测浓度分别为 0.05、0.01、0.05 mg/kg。空白土壤、水和鱼体样品中的加标回收率为 76.5% ~ 101.7%,RSD 为 0.4% ~ 10.5%。该方法分析速度快、灵敏度高、重现性好,适用于稻瘟酰胺在环境样品中的快速检测。

**关键词:**稻瘟酰胺;高效液相色谱分析;残留检测;环境样品

**中图分类号:** X592;TQ450.2<sup>+</sup>63

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2016)11-0326-03

稻瘟酰胺(fenoxanil),是由 Shell 公司研制,经巴斯夫和日本农药公司共同开发的酰胺类杀菌剂<sup>[1-2]</sup>,化学名称为 N-(1-氰基-1,2-二甲基丙基)-2-(2,4-二氯苯氧基)丙酰胺,分子式 C<sub>15</sub>H<sub>18</sub>Cl<sub>2</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,相对分子质量为 329.22,结构式如下:

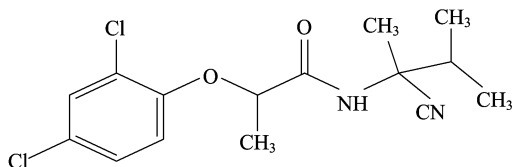


图1 稻瘟酰胺结构式

原药为白色粉末,熔点为 69.5 ~ 71.5 °C,在 pH 值 = 5、7、9 时,对酸、碱、热稳定,易溶于乙酸乙酯、乙腈和丙酮等有机溶剂。稻瘟酰胺具有良好的内吸性,持效期较长,具有治疗和抑制孢子形成等作用,可单独使用也可与保护性杀菌剂混用,是目前防治稻瘟病的最佳药剂之一<sup>[3-5]</sup>。

目前针对稻瘟酰胺的检测方法国内主要集中在气相色谱

法的测定<sup>[6-10]</sup>,运用液相色谱法<sup>[11-12]</sup>测定环境样品中稻瘟酰胺的分析方法鲜有报道。本研究通过优化样品前处理方法和液相色谱相关条件,测定土壤、水和鱼体等环境样品中稻瘟酰胺残留,为深入评价稻瘟酰胺的安全合理使用及环境监测提供相应的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与试剂

仪器:WATERS 2695/2998 液相色谱仪,PDA 检测器(WATERS,美国);Excella E24R 全温度振荡器(New Brunswick Scientific,美国);CR 22G II 离心机(HITACHI,日本);Rotavapor R-210 旋转蒸发仪(BUCHI,瑞士);MG-2200 氮吹仪(EYELA,日本)。

试剂与材料:乙酸乙酯、丙酮、乙腈、氯化钠、无水硫酸钠、磷酸等,均为分析纯(南京化学试剂有限公司);乙腈,色谱/光谱纯(MERCK,德国)。

稻瘟酰胺标准品纯度为 98.2%,江苏丰登农药有限公司提供。

### 1.2 溶液配制

准确称取 0.050 9 g 稻瘟酰胺标准品于 50 mL 容量瓶中,用乙腈稀释至刻度,得到 1 000 mg/L 的农药标准储备液备用。农药标准工作溶液由上述标准溶液用乙腈稀释制得。

### 1.3 空白样品采集与保存

空白土壤样品:选择未施用稻瘟酰胺的稻田土样,采集

收稿日期:2016-05-01

基金项目:国家科技重大专项(编号:2015ZX07203-007-001-02)。

作者简介:吴文铸(1983—),男,浙江乐清人,硕士,副研究员,主要从事农药环境安全评价工作。Tel:(025)85287202;E-mail:wwz@nies.org。

[29] Surówka E, Karolewski P, Niewiadomska E, et al. Antioxidative response of *Mesembryanthemum crystallinum* plants to exogenous SO<sub>2</sub> application[J]. Plant Science, 2007, 172(1): 76-84.

[30] 郑杨,曹敏,申琳,等. 短波紫外线照射对韭菜采后贮藏品质及活性氧代谢相关酶的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 307-311.

[31] 卓春宣,陈登云. 用主成分分析法选择金柑果实品质的评价因素[J]. 亚热带农业研究, 2011, 7(2): 132-135.

[32] Jiang T J, Jahangir M M, Jiang Z H, et al. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture

of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 56(3): 209-215.

[33] 周任佳,乔勇进,王海宏,等. 不同保鲜膜包装对鲜切哈密瓜品质的影响[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 2012(6): 131-138.

[34] Kim D O, Jeong S W, Lee C Y. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums[J]. Food Chemistry, 2003, 81(3): 321-326.

[35] Banerjee A, Dasgupta N, de B. In vitro study of antioxidant activity of *Syzygium cumini* fruit[J]. Food Chemistry, 2005, 90(4): 727-733.