# 食品添加剂桑椹红产品标准的制定

陈文庭, 邢朝宏, 周泽琳*

(上海市质量监督检验技术研究院, 上海 200233)

**摘 要: 目的** 确定食品添加剂桑椹红产品标准拟设置的技术指标, 并建立各指标的实验方法。**方法** 参考现有的桑椹红国内外资料、标准以及现行的相关天然色素国家标准, 确定技术指标和试验方法, 并对 14 批次桑椹红产品进行实样验证。**结果** 桑椹红产品标准拟设置的技术指标有色泽、状态、气味、干燥减量(≤8.0%, 仅限粉末产品)、色价(符合声称)、二氧化硫(≤50 mg/kg, 以一个色价计进行换算)、pH (2.0 ~ 5.0, 10 g/L 水溶液)、灼烧残渣(≤5.0%)、铅(Pb)含量(≤2.0 mg/kg)、砷(As)含量(≤1.0 mg/kg)。14 批次产品均符合要求。**结论** 拟设置的食品添加剂桑椹红产品标准包括感官、理化指标, 技术指标和建立的试验方法具有可行性, 能有效判定桑椹红产品的质量规格是否合规。

**关键词:** 桑椹红; 标准; 食品添加剂

## Establishment of product standard for food additives mulberry red

CHEN Wen-Ting, XING Chao-Hong, ZHOU Ze-Lin*

(*Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research*, *Shanghai* 200233, *China*)

**ABSTRACT: Objective** To determine the technical indicators of food additive mulberry red product standards and establish experimental methods for each indicator. **Methods** According to the existing domestic and foreign materials and standards of mulberry red and the current national standards of related natural pigments, technical indicators and test methods were determined, and the actual sample of 14 batches of mulberry red products were verified. **Results** The technical indicators to be determined for the mulberry red product standard were color, state, smell, loss on drying (≤8.0%, only powder products determined), color value (in line with the claim), sulfur dioxide (≤50 mg/kg, converted as a color value), pH (2.0–5.0, 10 g/L aqueous solution), ignition residue (≤5.0%), and lead (Pb) content (≤2.0 mg/kg), arsenic (As) content (≤1.0 mg/kg). The 14 batches of products could meet the requirements. **Conclusion** The proposed food additive mulberry red product standards including sensory, physical and chemical indicators, technical indicators and the established test methods are feasible, and can effectively determine whether the quality specifications of mulberry red products are in compliance.

**KEY WORDS:** mulberry red; standard; food additive

## 0 引 言

桑椹红是从桑椹中提取的天然色素, 属于花青素类色素, 易溶于水、甲醇、乙醇等极性溶剂, 主要成分是矢车菊-3-葡萄糖苷($[C_{21}H_{21}O_{12}]^+ X^-$)和矢车菊色素 3-芸香糖苷($[C_{27}H_{31}O_{15}]^+ X^-$), 是桑椹果实的主要活性成分之一[1–3],

**基金项目:** 上海市科委标准化技术专项(18DZ2201000)

**Fund:** Supported by the Standardization Technology Project of Shanghai Science and Technology Commission (18DZ2201000)

***通信作者:** 周泽琳, 硕士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为食品安全与检测。E-mail: zhouzl@sqi.org.cn

***Corresponding author:** ZHOU Ze-Lin, Master, Professor, Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 200233, China. E-mail: zhouzl@sqi.org.cn

具有色价高、稳定性好的优点，同时含有多种对人体有益的成分，如花色苷化合物、胡萝卜素和糖类等[4–7]，是我国正式批准使用的 48 种天然色素之一[8–10]。目前国内国际基本没有食品添加剂桑椹红的质量标准，只有韩国 Korea Food Additives Code 在 2016 年制定了浆果类色素(包含桑椹红色素)的质量标准[11–14]。

GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》规定，桑椹红作为着色剂可以在果糕类、糖果、果蔬汁(浆)类饮料、风味饮料、果酒、果冻上按生产需要适量使用，但是由于我国没有《食品安全国家标准 食品添加剂 桑椹红》相关标准，我国大部分食品添加剂生产单位不能生产，严重制约了我国食品添加剂行业发展，也影响了相关行业的发展[15–17]。

目前桑椹红的国内生产企业较少，生产的产品绝大部分用于出口[18–20]。本研究制定桑椹红质量规格标准，能够明确桑椹红的原料来源、技术要求和检测方法，有利于规范生产和管理，正确引导企业落实食品生产经营者主体责任，保证食品安全，并为我国政府部门提供技术支撑，为科学执法和监管提供科学的依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

桑椹红由企业定制提供和市场购买。

盐酸、氢氧化钠、柠檬酸、磷酸氢二钠(分析纯)、硝酸(优级纯)(国药集团化学试剂有限公司)；乙腈、三氟乙酸(色谱纯，美国Sigma公司)；矢车菊色素3-葡萄糖苷对照品、矢车菊色素 3-芸香糖苷对照品(色谱纯，美国 Sigma 公司)。

AL204 电子天平(万分之一感量)、S20K pH 计(瑞士梅特勒－托利多仪器公司)；U-3900H 紫外分光光度计(日本 HITACHI 公司)；LT24 高温炉(德国 Nabertherm 公司)；5300DV 电感耦合等离子体发射光谱仪(美国 PerkinElmer 公司)；1260 高效液相色谱仪(美国安捷伦科技公司)。

### 1.2 实验方法

1.2.1 鉴别实验

(1)颜色反应

称取 0.1 g 试样，精确至 0.01 g，加入 50 mL 水溶解，剧烈摇动，必要时过滤。使用氢氧化钠溶液(2 mol/L)和盐酸溶液(2 mol/L)调节溶液 pH，在酸性条件下，溶液应呈鲜艳的玫瑰色；在中性时，溶液呈紫色；在碱性条件下，溶液呈紫黑色。

(2)吸光度实验

精确称取磷酸氢二钠($Na_2HPO_4$•$12H_2O$) 71.64 g，用水溶解并定容至 1000 mL，制得 0.2 mol/L 磷酸氢二钠溶液。精确称取柠檬酸($C_6H_8O_7$•$H_2O$) 21.01 g，用水溶解并定容至 1000 mL，制得 0.1 mol/L 柠檬水溶液。量取 0.2 mol/L 磷酸氢二钠溶液 41 mL 与 0.1 mol/L 柠檬酸溶液 159 mL 混合，制得柠檬酸-磷酸氢二钠缓冲溶液(pH=3.0)。

称取 0.1 g 试样，精确至 0.001 g，用柠檬酸-磷酸氢二钠缓冲溶液(pH=3.0)溶解并稀释定容至 100 mL，将试样溶液注入 1 cm 比色皿，以柠檬酸-磷酸氢二钠缓冲溶液为空白测定吸光度，此试样溶液在 510~530 nm 范围内应有最大吸收峰。剩余试样溶液用于色价的测定。

1.2.2 干燥减量的测定

称取 2 g 试样(精确至 0.001 g)置于已经恒重的称量皿中，再放入(105±2) ℃的干燥箱中干燥至恒重(前后 2 次重量差值不大于 2 mg)。

以质量分数 $X_1$ (%)表示桑椹红的干燥减量，按式(1)进行计算:

$$X_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$m_1$——称量皿和试样干燥前的质量, g;

$m_2$——称量皿和试样干燥后的质量, g;

$m_0$——试样的质量, g。

1.2.3 色价的测定

称取 0.1 g 试样(精确至 0.001 g)，用柠檬酸-磷酸氢二钠缓冲溶液溶解并稀释定容至 100 mL，制得试样溶液，将试样溶液注入 1 cm 比色皿中，以柠檬酸-磷酸氢二钠缓冲溶液为空白，用分光光度计于 510～530 nm 范围内的最大吸收波长处测定吸光度(吸光度值应控制在 0.2~0.7 之间，否则应调整试样溶液浓度，再重新测定吸光度)。

色价以被测试样溶液浓度为 10%、用 1 cm 比色皿、在 510~530 nm 范围内的最大吸收波长处测定吸光度 $E_{1\,\mathrm{cm}}^{10\%}$ (510~530) nm 计，按式(2)计算:

$$E_{1\,\mathrm{cm}}^{10\%}(510\sim530)\ \mathrm{nm} = \frac{A}{C} \times \frac{10}{100} \quad (2)$$

式中:

$A$——被测试样溶液的吸光度;

$c$——被测试样溶液的浓度, g/mL;

10/100——浓度换算系数。

实验结果以平行测定结果的算术平均值为准，保留 3 位有效数字。在重复性条件下获得的 2 次独立测定结果的绝对差值与算术平均值的比值不大于 2.5%。

1.2.4 二氧化硫的测定

采用 GB 5009.34—2016《食品安全国家标准 食品中二氧化硫的测定》测得试样中的二氧化硫总含量，然后按式(3)中的计算公式换算成以一个色价计的二氧化硫含量。

二氧化硫含量是以一个色价产品中的二氧化硫质量分数 $y$ 计，单位为 mg/kg，按式(3)计算:

$$y = \frac{x \times 1000}{E_{1\,\mathrm{cm}}^{10\%}(510\sim530)\ \mathrm{nm}} \quad (3)$$

式中:

$x$——按照 GB 5009.34 蒸馏法测得的试样中二氧化硫

总含量, g/kg;

1000——单位换算系数;

$E_{1\,cm}^{10\%}(510\sim530)$ nm——被测试样的色价。

实验结果以平行测定结果的算术平均值为准, 保留两位有效数字。在重复性条件下获得的 2 次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

1.2.5　pH 的测定

称取 1 g 试样(精确至 0.01 g), 完全溶解于蒸馏水中, 并定容至 100 mL, 用酸度计测定其 pH。

实验结果以平行测定结果的算术平均值为准, 保留至小数点后一位。在重复性条件下获得的 2 次独立测定结果的绝对差值不得超过 0.1 pH。

1.2.6　灼烧残渣的测定

称取 3 g 试样(精确至 0.001 g), 置于已在(800±25) ℃恒重的坩埚中, 先在电炉上缓慢炭化(约 300 ℃), 再移入(800±25) ℃高温炉中灼烧至恒重。

灼烧残渣的质量分数 $X_2$ (%), 按式(4)计算:

$$X_2=\frac{w_1-w_2}{w_3-w_2}\times100\% \tag{4}$$

式中:

$w_1$——坩埚和灼烧残渣的质量, g;

$w_2$——坩埚的质量, g;

$w_3$——坩埚和试样的质量, g。

实验结果以平行测定结果的算术平均值为准, 保留至小数点后两位。在重复性条件下获得的 2 次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

1.2.7　铅、砷的测定

铅工作曲线的绘制: 移取 1.00 mL 铅标准溶液(浓度为 1000 mg/L)于 1000 mL 容量瓶中, 用浓度为 5%的硝酸定容至刻度, 作为中间液。再分别用移液管移取 0、0.50、1.00、2.00、3.00 和 4.00 mL 中间液, 置于 6 个 100 mL 容量瓶中, 分别加入 5 mL 硝酸, 用一级水稀释至刻度, 摇匀。

砷工作曲线的绘制: 移取 1.00 mL 砷标准溶液(浓度为 1000 mg/L)于 1000 mL 容量瓶中, 用浓度为 5%的硝酸定容至刻度, 作为中间液。再分别用移液管移取 0、1.00、2.00、3.00、4.00 和 5.00 mL 中间液, 置于 6 个 100 mL 容量瓶中, 分别加入 5 mL 硝酸、5 mL 盐酸和 5 mL 硫脲-抗坏血酸(5:5, *V*:*V*), 用一级水稀释至刻度, 摇匀。

试样溶液的制备: 分别按 GB 5009.75—2014《食品安全国家标准 食品添加剂中铅的测定》或 GB 5009.12—2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》, GB 5009.76—2014《食品安全国家标准 食品添加剂中砷的测定》或 GB 5009.11—2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》处理铅和砷待测液。

铅和砷分别用石墨炉原子吸收法和原子荧光法进行定量检测, 从待测元素每个标准溶液的光谱强度中减去标准空白溶液的光谱强度, 以每个标准溶液中待测元素的质量浓度为横坐标, 对应的光谱强度为纵坐标分别绘制各待测元素的标准曲线。

外标测定各待测元素的光谱强度, 通过仪器自带软件自动计算出各元素的浓度。

待测元素的含量 $X$ (mg/kg), 按式(5)计算:

$$X=\frac{(\rho_1-\rho_0)\times V\times f}{m} \tag{5}$$

式中:

$\rho_1$——从标准曲线上查得实验溶液中待测元素的质量浓度, μg/mL;

$\rho_0$——从标准曲线上查得空白试验溶液中待测元素的质量浓度, μg/mL;

$V$——试样消化液定容体积, mL;

$f$——试样稀释倍数;

$m$——试样的质量, g。

微波消解程序按照 GB 5009.75 和 GB 5009.76 如表 1 所示。

**表 1　微波消解程序**

**Table 1　Program of microwave digestion**

| 步骤 | 设定温度/℃ | 升温时间/min | 恒温时间/min |
|---|---|---|---|
| 1 | 120 | 5 | 5 |
| 2 | 160 | 5 | 10 |
| 3 | 180 | 5 | 10 |

## 2　结果与分析

### 2.1　桑椹红技术指标及检测方法

通过查阅《食品添加剂手册(第四版)》、韩国食品添加剂公典 Korea Food Additives Code (2016)、相关现行天然色素国家标准等资料确定了食品添加剂桑椹红产品标准拟设置的技术指标(表 2)和拟采用的检测方法(表 3)。

表 3 是对国内外桑椹红相关文献与标准中提及的检测方法的归纳总结, 在此基础上建立了 1.2 中的检测方法。

本标准中桑椹红干燥减量(仅对粉末产品)设置为≤8.0%。GB 28313—2012《食品安全国家标准 食品添加剂葡萄皮红》中干燥失重指标设置为≤8.0%。干燥减量上限值设置为 8.0%可以保证桑椹红产品在有效期内不发生变质, 同时能够有效地抑制微生物等因素对桑椹红产品质量的影响, 而且更低的上限值没有太大的实际意义, 反而会造成更高的经济成本。

本标准中色价设置为符合声称。色价作为桑椹红的表征性指标, 生产单位一般为满足不同的使用需求而生产不同色价系列的产品, 且没有固定的指标值, 故色价的指标设置应更具有普遍适用性。

为了有效地防止某些生产落后的单位使用燃烧煤炭的方式进行桑椹红产品的干燥，同时为了防止生产单位使用二氧化硫进行桑椹果实及其残渣的杀菌处理，本标准设置桑椹红产品中的二氧化硫的上限值为 50 mg/kg (以一个色价计)。

GB 1886.244—2016《食品安全国家标准 食品添加剂紫甘薯色素》中 pH (10 g/L 水溶液)指标设置为: 2.0 ~ 5.0。桑椹红色素在偏酸性条件下(pH<5)性质稳定，在碱性条件下不稳定。桑椹红提取工艺中用到含柠檬酸等酸类和食用乙醇的水溶液，应为弱酸性，另外桑椹红色素和紫甘薯色素主要成分结构式相近，根据验证实验结果，桑椹红色素的 pH (10 g/L 水溶液)指标设置可以参照 GB 1886.244—2016 中的规定，设置为 2.0~5.0。

Korea Food Additives Code (2016)中铅(Pb)指标设置为: ≤10.0 mg/kg。GB 28313—2012 中铅(Pb)指标设置为: ≤2 mg/kg。天然色素存在铅(Pb)富集的情况，对人体存在危害性较大，应该从严制定其上限值，设置为 2.0 mg/kg。

食品添加剂手册(第四版)中砷(以 As 计)指标设置为≤1.0 mg/kg。Korea Food Additives Code (2016)中砷(以 As 计)指标设置为≤4.0 mg/kg。考虑到砷(以 As 计)的毒性较大，对人体的危害较大，应该从严制定其上限值，设置为1.0 mg/kg。

### 2.2 实际样品测定

选取桑椹红样品 14 批次，按照表 3 中各指标方法进行检测，并将检测数据进行汇总归纳，见表 4。

从表 4 可以看出上述 14 批次桑椹红产品均通过了鉴别实验，其色价均符合声称，二氧化硫均未检出，灼烧残渣最大值为 1.85%，粉末状试样的干燥减量均小于设置的技术指标 8.0%，pH 结果在 3.1 ~ 4.1 之间，铅(Pb)最高为 0.14 mg/kg，砷(As)最高为 0.062 mg/kg。可见上述 14 个试样均能符合拟设置的技术指标。

## 3 结 论

GB 2760—2014 中规定了色素类食品添加剂的使用范围和使用量，桑椹红作为食品添加剂之一，却没有相关标准。本研究对食品添加剂桑椹红的国内外应用情况，相关法规涉及的技术指标和检测方法进行了归纳和总结，确定了食品添加剂桑椹红产品标准拟设置的技术指标，并建立了相应实验方法，同时依据相应实验方法进行了 14 批次样品的实样验证，所有批次产品均符合拟设置的技术指标，说明桑椹红产品标准拟设置的技术指标和建立的实验方法具有可行性，为食品添加剂桑椹红产品国家标准的制定奠定了基础。

**表 2 食品添加剂桑椹红产品标准拟设置的技术指标**

**Table 2 Technical indicators of product standard of mulberry red as a food additive**

| | 《食品添加剂手册(第四版)》 | Korea Food Additives Code (2016) | GB 1886.244—2016 | GB 28313—2012 | 本标准拟设置指标 |
|---|---|---|---|---|---|
| 感官要求(色泽、状态、气味) | 紫红色稠状液体或紫黑色粉末 | 暗红色液体、粉末或粘稠状液体，有轻微特征性气味 | 红色至紫黑色，液体、粉末或颗粒状，无肉眼可见杂质 | 无味或稍有气味，红至紫红色，粉末、颗粒或液体 | 轻微特征性气味，紫红色或紫黑色，粉末或粘稠状液体 |
| 干燥减量/% | ≤40 | / | / | / | ≤8.0 (仅粉末产品) |
| 色价$E_{1\,\mathrm{cm}}^{10\%}$(510~530) nm ≥ | 4.0<br>$E_{1\,\mathrm{cm}}^{1\%}$513 nm | 不低于声称值 | 5.0<br>$E_{1\,\mathrm{cm}}^{1\%}(530\pm10)$ nm | 符合声称 | 符合声称 |
| 二氧化硫/(mg/kg) | / | ≤50 (以一个色价计进行换算) | / | ≤500 (以一个色价计进行换算) | ≤50 (以一个色价计进行换算) |
| pH(10 g/L 水溶液) | ≤3.0 | / | 2.0 ~ 5.0 | / | 2.0 ~ 5.0 |
| 灼烧残渣/% | ≤5.0 | / | / | / | ≤5.0 |
| 铅(Pb)/(mg/kg) | / | ≤10.0 | ≤3.0 | ≤2 | ≤2.0 |
| 砷(As)/(mg/kg) | ≤1.0 | ≤4.0 | ≤2.0 | ≤3 | ≤1.0 |

**表 3 食品添加剂桑椹红产品标准拟建立的检测方法**

**Table 3 Detection method of product standard of mulberry red as a food additive to be established**

| | 《食品添加剂手册(第四版)》 | Korea Food Additives Code (2016) | GB 1886.244—2016 | GB 28313—2012 | 本标准拟设置指标 |
|---|---|---|---|---|---|
| 感官要求(色泽、状态、气味) | / | / | 于清洁、干燥的白瓷盘中: 在自然光线下,观察其色泽和状态 | 于清洁、干燥的白瓷盘中: 在自然光线下，观察其色泽、性状; 在无异味环境中，嗅其气味 | 于清洁、干燥的烧杯中，在自然光线下，观察其色泽、状态，在无异味环境中，嗅其气味 |

**表 3(续)**

| | 《食品添加剂手册(第四版)》 | Korea Food Additives Code (2016) | GB 1886.244—2016 | GB 28313—2012 | 本标准拟设置指标 |
|---|---|---|---|---|---|
| 干燥减量 | / | / | / | 直接干燥法 | 直接干燥法 |
| 色价 $E_{1\,\mathrm{cm}}^{10\%}(510\sim530)$ nm | 分光光度法 | 分光光度法 | 分光光度法 | 分光光度法 | 分光光度法 |
| 二氧化硫/(mg/kg) | / | / | / | 滴定法 | 滴定法 |
| pH(10 g/L 水溶液) | / | / | 电位法 | / | 电位法 |
| 灼烧残渣 | / | / | / | / | 重量法 |
| 铅(Pb) | / | 原子吸收分光光度法或电感耦合等离子体发射光谱法 | GB 5009.12—2017 | GB 5009.12—2017 | GB 5009.75—2014 或 GB 5009.12—2017 |
| 砷(As) | / | 电感耦合等离子体原子发射光谱法 | GB 5009.11—2014 | 限量比色法 | GB 5009.76—2014 或 GB 5009.11—2014 |

**表 4　实样检测结果**

**Table 4　Results of sample determination**

| 样品编号 | 感官 | 色价 | 干燥减量/% | 二氧化硫/(mg/kg) | 灼烧残渣/% | pH (10 g/L 水溶液) | 铅(Pb)/(mg/kg) | 砷(As)/(mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| YP1 | 特征性气味紫红色粉末 | 153 | 3.43 | 未检出 | 0.29 | 3.4 | 0.065 | 0.045 |
| YP2 | 特征性气味紫红色粉末 | 203 | 3.37 | 未检出 | 0.28 | 3.3 | 0.055 | 0.053 |
| YP3 | 特征性气味紫红色粉末 | 252 | 3.43 | 未检出 | 0.38 | 3.2 | 0.062 | 0.062 |
| YP4 | 特征性气味紫红色粉末 | 296 | 3.35 | 未检出 | 0.43 | 3.2 | 0.059 | 0.059 |
| YP5 | 特征性气味紫红色粉末 | 339 | 3.41 | 未检出 | 0.40 | 3.1 | 0.081 | 0.056 |
| YP6 | 特征性气味紫红色粉末 | 442 | 3.36 | 未检出 | 0.31 | 3.3 | 0.10 | 0.025 |
| YP7 | 特征性气味紫红色粉末 | 444 | 3.42 | 未检出 | 0.35 | 3.3 | 0.086 | 0.048 |
| YP8 | 特征性气味紫红色粘稠液体 | 18.3 | / | 未检出 | 1.85 | 4.1 | <0.005 | <0.01 |
| YP9 | 特征性气味紫红色粘稠液体 | 35.9 | / | 未检出 | 1.63 | 4.0 | <0.005 | <0.01 |
| YP10 | 特征性气味紫红色粘稠液体 | 43.1 | / | 未检出 | 1.55 | 4.0 | 0.14 | 0.015 |
| YP11 | 特征性气味紫红色粘稠液体 | 73.4 | / | 未检出 | 1.12 | 4.0 | 0.015 | <0.01 |
| YP12 | 特征性气味紫红色粘稠液体 | 98.9 | / | 未检出 | 0.96 | 3.8 | 0.027 | 0.013 |
| YP13 | 特征性气味紫红色粘稠液体 | 294 | / | 未检出 | 0.21 | 3.2 | 0.092 | <0.01 |
| YP14 | 特征性气味紫红色粘稠液体 | 256 | / | 未检出 | 0.21 | 3.2 | 0.045 | <0.01 |

注: YP1 ~ YP5 以及 YP8 ~ YP12 共 10 个试样为商品化桑椹红, 其余 4 个试样为纯品桑椹红。

## 参考文献


[1] 凌关庭. 天然食品添加剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
LING GT. Handbook of natural food addtives [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000.

[2] 李瑞琦. 桑椹红色素提取纯化及应用中稳定性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2016.
LI RQ. Extraction, purification and stability in applications of mulberry red pigment [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2016.

[3] 吴祖芳, 翁佩芳. 桑椹的营养组分与功能特性分析[J]. 中国食品学报, 2005, (3): 102–107.
WU ZF, WENG PF. Analysis of nutritional components and functional properties of mulberry [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2005, (3): 102–107.

[4] AKBULUT M, MUSA-OZCAN M. Comparison of mineral contents of mulberry (*Morus* spp.) fruits and their pekmez (boiled mulberry juice) samples [J]. Int J Food Sci Nutr, 2009, 60(3): 231–239.

[5] BORANBAYEVA T, KARADENIZ F, YILMAZ E. Effect of storage on anthocyanin degradation in black mulberry juice and concentrates [J]. Food Bioprocess Technol, 2014, 7(7): 1894–1902.

[6] 邹堂斌, 凌文华. 桑椹花色苷含量测定及种类分析[J]. 食品研究开发, 2013, (24): 197–200
ZOU TB, LING WH. Analysis of mulberry anthocyanin content and variety [J]. Food Res Dev, 2013, (24): 197–200.

[7] 张荷兰, 陆鸿奎. 桑椹红色素的开发与应用现状分析[J]. 农产品加工, 2020, (19): 96–98, 101.
ZHANG HL, LU HK. Development and application of mulberry red pigment [J]. Agric Prod Process, 2020, (19): 96–98, 101.

[8] 陆鸿奎, 张荷兰, 李新林. 桑椹红色素微丸的制备工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2020, (8): 48–52.
LU HK, ZHANG HL, LI XL. Study on preparation technology of mulberry red pigment pellets [J]. China Food Addit, 2020, (8): 48–52.

[9] 李琳娜, 周高品. 桑椹红色素稳定性的初步研究[J]. 陕西农业科学, 2018, (10): 60–63.
LI LN, ZHOU GP. Preliminary study on the stability of mulberry red pigment [J]. Shaanxi Agric Sci, 2018, (10): 60–63.

[10] 周雪皎. 微流控双水相酶催化桑椹红色素定向转化研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2020.
ZHOU XJ. Directed transformation of mulberry red pigment catalyzed by microfluidic aqueous two phase enzyme [D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2020.

[11] 聂文静, 江岩. 桑椹花青素研究进展[J]. 食品工业, 2013, (11): 207–210.
NIE WJ, JIANG Y. Research progress of mulberry anthocyanins [J]. Food Ind, 2013, (11): 207–210.

[12] 宋喜云, 任大文. 天然全效桑椹红肠加工工艺的研究[J]. 中国食品工业, 2020, (Z1): 56–57.
SONG XY, REN DW. Study on the processing technology of mulberry sausage [J]. China Food Ind, 2020, (Z1): 56–57.

[13] 刘欣, 段亚军, 王美艳. 海藻酸钠-壳聚糖-桑椹红微囊的制备[J]. 化学研究与应用, 2015, (4): 537–540.
LIU X, DUAN YJ, WANG MY. Preparation of alginate chitosan mulberry red microcapsules [J]. Chem Res Appl, 2015, (4): 537–540.

[14] 李琳娜, 周高品. 桑椹红色素稳定性的研究[J]. 包装与食品机械, 2018, (3): 11–15.
LI LN, ZHOU GP. Study on the stability of mulberry red pigment [J]. Packag Food Mach, 2018, (3): 11–15.

[15] 周晓玲, 李全, 梁贵秋, 等. 桑椹红色素的应用价值研究进展[J]. 广西蚕业, 2013, (1): 59–63.
ZHOU XL, LI Q, LIANG GQ, *et al*. Research progress on application value of mulberry red pigment [J]. Guangxi Sericult, 2013, (1): 59–63.

[16] 刘伟, 黄立新. 桑椹红色素的低温真空干燥制粉研究[J]. 中国食品添加剂, 2011, (2): 99–104.
LIU W, HUNAG LX. Study on low temperature vacuum drying of mulberry red pigment [J]. China Food Addit, 2011, (2): 99–104.

[17] 刘学铭, 廖森泰, 邹宇晓, 等. 高色价桑椹红色素的研制及其质量控制研究[J]. 现代食品科技, 2009, (1): 42–44.
LIU XM, LIAO ST, ZOU YX, *et al*. Preparation and quality control of mulberry red pigment with high color value [J]. Mod Food Technol, 2009, (1): 42–44.

[18] 吴庆智, 毛晓英. 桑椹天然色素研究进展[J]. 安徽农学通报, 2010, (5): 158, 192.
WU QZ, MAO XY. Research progress of mulberry natural pigment [J]. Anhui Agro Bull, 2010, (5): 158, 192.

[19] 朱毛毛, 吴向阳, 仰榴青, 等. 桑椹红色素的提取工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2009, (4): 104–106.
ZHU MM, WU XY, YANG LQ *et al*. Study on extraction technology of mulberry red pigment [J]. Food Res Dev, 2009, (4): 104–106.

[20] 吴婧婧, 梁贵秋, 陆春霞, 等. 果桑及桑椹开发利用研究进展[J]. 现代农业科技, 2011, (17): 319–320.
WU JJ, LIANG GQ, LU CX, *et al*. Research progress on mulberry and its development and utilization [J]. Mod Agric Sci Technol, 2011, (17): 319–320.


(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

## 作者简介

陈文庭, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全与检测。
E-mail: chenwt@sqi.org.cn

周泽琳, 硕士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为食品安全与检测。
E-mail: zhouzl@sqi.org.cn