

### 3 种常用剁椒加工品种的质构品质及果胶特性

陈 飞<sup>1</sup>, 陈宇昱<sup>1</sup>, 何 双<sup>2</sup>, 蒋立文<sup>1</sup>, 覃业优<sup>3</sup>, 王蓉蓉<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>湖南农业大学食品科学技术学院 长沙 410128

<sup>2</sup>湖南省农科院农产品加工研究所 长沙 410125

<sup>3</sup>湖南坛坛香食品科技有限公司 长沙 410128)

**摘要** 以目前 3 种最常用的剁椒加工品种“艳红”“天宇”和“金塔”为原料,对其质构品质和果胶特性进行研究。结果表明:同“艳红”和“天宇”相比,“金塔”在果长、果重、含水率以及表面微观结构等方面均存在差异,其果实大,含水率高,细胞组织结构排列稀疏。此外,“金塔”硬度、黏力和黏性均为最高,与“艳红”和“天宇”间存在显著差异( $P < 0.05$ )。对于果胶特性,“金塔”的水溶性果胶(WSP)和碱溶性果胶(SSP)含量最高,且 WSP 分子质量也较高,而螯合性果胶(CSP)含量、CSP 和 SSP 分子质量则较低。“金塔”WSP 鼠李糖、CSP 和 SSP 阿拉伯糖含量显著高于“艳红”和“天宇”( $P < 0.05$ ),CSP 鼠李糖含量低于“艳红”和“天宇”,SSP 鼠李糖和 WSP 阿拉伯糖含量低于“天宇”而高于“艳红”。相关性分析表明,辣椒硬度与 WSP 含量、SSP 含量和 WSP 分子质量间均呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。总之,相比于“艳红”和“天宇”,“金塔”具有较高的 WSP 含量,而其 CSP 含量、CSP 和 SSP 分子质量较低,细胞结构不稳定,在加工及贮藏过程中易发生水分散失和果胶降解,引起果实软化。相比于“金塔”,“艳红”和“天宇”可能更有利于维持剁椒产品的质构品质。

**关键词** 剁椒; 品种; 质构品质; 果胶特性

**文章编号** 1009-7848(2022)11-0103-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.11.012

辣椒(*Capsicum annuum* L.)为茄科辣椒属的一年或有限多年生草本植物。FAO 数据显示,2020 年全球辣椒种植面积约 199.9 万  $\text{hm}^2$ ,年产量 3 928 万 t,其产值和效益逐年增加<sup>[1]</sup>。辣椒中富含维生素、酚类化合物、可溶性多糖和抗氧化物质等,具有抗炎、抗氧化、保护心血管等功效<sup>[2-4]</sup>。然而,因新鲜辣椒含水量高不易保存,故常将其加工成剁辣椒、辣椒酱或干辣椒等产品。其中,剁辣椒是以新鲜辣椒为原料,洗净、适当阴干、去除把和蒂,剁碎后加入食盐、酒等拌匀,置于陶瓷坛中腌渍或发酵制成的特色调味品<sup>[5]</sup>。剁辣椒凭借其脆辣的口感和独特的风味,成为我国南方地区食品烹饪不可缺少的调味品,深受消费者的喜爱<sup>[6]</sup>。

质构是影响剁辣椒品质和消费者接受度的关键因素之一,主要与细胞壁多糖有关,包括果胶、

纤维素和半纤维素等,其中果胶的影响最为显著。果胶是一类由  $\alpha$ -1,4-糖苷键连接而成的半乳糖醛酸与鼠李糖、半乳糖和阿拉伯糖等中性单糖相联结的聚合物,常存在于细胞壁的初生层和中胶层中,起黏合剂和增强细胞强度的作用,对果蔬软化至关重要<sup>[7]</sup>。目前,已有研究集中在分析辣椒成熟、加工和贮藏过程中果实软化和果胶特性间的关系。Conforti 等<sup>[8]</sup>表明辣椒果实软化归因于不溶性果胶含量减少和可溶性果胶含量增加;Bernardo 等<sup>[9]</sup>发现辣椒成熟期果实细胞壁的酶降解和果胶含量下降是引起质构变化的主要原因;Ramos-Aguilar 等<sup>[10]</sup>发现辣椒在成熟和加工过程中果胶中性单糖损失近 45%,其中木糖、半乳糖和阿拉伯糖含量分别下降 88%,29%和 4%;Xu 等<sup>[11]</sup>表明青椒贮藏后果胶主链和支链会发生一定程度的解聚,水溶性果胶(Water solute pectin, WSP)含量显著增加,螯合性果胶(Chelate-solute pectin, CSP)和碱溶性果胶(Sodium carbonate solute pectin, SSP)含量明显减少,且大部分果胶组分的单糖物质的量比均下降。由此可见,辣椒果胶特性变化与质构品质紧密相连,然而,具体机制尚不明晰。

原料品质和加工特性是影响产品品质的重要

**收稿日期:** 2021-11-24

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(31601525);湖南省重点研发计划项目(2020NK2027);湖南省自然科学基金项目(2019JJ50256);长沙市杰出创新青年培养计划(KQ1905025)

**第一作者:** 陈飞,男,硕士生

**通信作者:** 王蓉蓉 E-mail: sdauwrr@163.com

因素,而不同果蔬品种间的果胶特性存在较大差异。曹凤等<sup>[12]</sup>以我国14种苹果为原料,发现苹果的果胶结构和中性单糖含量受品种及来源影响。霍宏亮等<sup>[13]</sup>研究成熟期27个梨品种果胶含量与果实品质特性的相关性,发现不同品种间果胶含量差异性都达到极显著水平( $P < 0.01$ )。王滨等<sup>[14]</sup>比较两种不同溶质桃果实成熟期间果胶含量与硬度的变化,发现两种桃果中WSP和SSP含量变化明显不同,其硬度下降速度也不同。Njoroge等<sup>[15]</sup>发现豆类中3种类型果胶(WSP、SSP、CSP)结构和溶解性的差异是导致其烹饪难易程度不同的原因。目前关于不同品种辣椒果胶特性的比较研究仍较少。程杰山等<sup>[16]</sup>以5种不同硬度的辣椒为原料,研究发现果实硬度变化与原果胶含量呈正相关( $r = 0.4229$ ),与可溶性果胶(WSP、SSP)含量增加呈显著负相关( $r = -0.4765$ ),且原果胶和可溶性果胶对果实硬度的影响随品种的变化有较大差异。对常见剁椒加工品种进行质构及果胶特性的比较研究,对于调控剁辣椒产品品质具有重要意义。

本研究以我国3种常用的剁椒加工品种“艳

红”“天宇”和“金塔”为原料,分析其质构品质及果胶特性,包括质构、表面微观结构、细胞壁物质(Cell wall material, CWM)含量、3种果胶组分(WSP、SSP、CSP)含量、中性单糖组成和分子质量分布,明确不同品种间的品质差异,为提升剁椒产品品质提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

1.1.1 材料 “艳红”和“天宇”产地为山东曹县( $N34^{\circ}83'$ ,  $E115^{\circ}53'$ ),“金塔”产地为山东成武县( $N34^{\circ}95'$ ,  $E115^{\circ}89'$ ),均由湖南坛坛香食品有限公司种植基地提供。挑选成熟度一致,大小均匀,无机械伤和病虫害的新鲜辣椒作为试验材料。“艳红”“天宇”和“金塔”果长分别为( $5.98 \pm 0.40$ ), ( $6.47 \pm 0.48$ ) cm和( $12.76 \pm 0.95$ ) cm;单果重分别为( $1.81 \pm 0.47$ ), ( $3.03 \pm 0.41$ ) g和( $16.14 \pm 3.39$ ) g;含水率分别为( $72.89 \pm 0.37$ ), ( $77.64 \pm 0.13$ )%和( $81.59 \pm 0.82$ )%。3品种辣椒外观品质如图1所示。

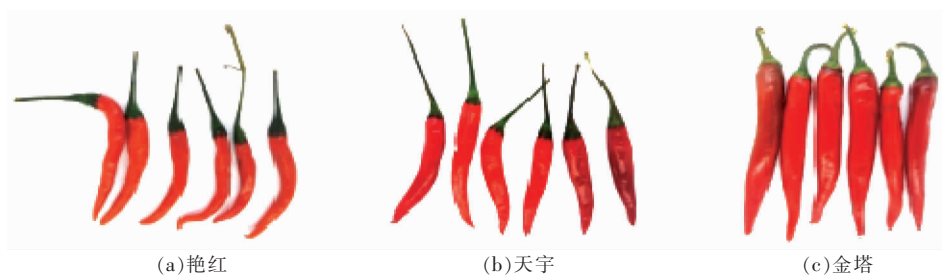


图1 3品种辣椒外观品质

Fig.1 Apparent quality of three pepper varieties

1.1.2 试剂 无水乙醇、二甲基亚砷、氯仿、甲醇、丙酮、乙二胺四乙酸、碳酸钠、硫酸-四硼酸钠、浓硫酸、3-苯基苯酚、氢氧化钠、三氟乙酸、醋酸钠,分析纯级,国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

CT-3型质构分析仪,美国Brook field公司;LGJ-25C型冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂;UV-1800型紫外-可见分光光度计,日本Shimadzu公司;K1001型高效液相色谱,德国Knauer仪器有限公司;5975-7890A型气相色谱-质谱联用仪,美国Agilent公司;EVO LS10型扫描电子显

微镜(SEM),德国Zeiss公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 质构测定 参考李永红等<sup>[17]</sup>的方法,采用质构仪对3种新鲜辣椒的硬度、黏性、黏力和咀嚼性进行测定。具体参数为:TA39型号探头、测试速度1 mm/s、压力5 g,测定部位在果实中心,每组重复测10次。

1.3.2 表面微观结构观察 参考张群等<sup>[18]</sup>的方法,采用SEM观察辣椒的表面微观结构。取适量经冻干的直径为5.80 mm的半圆状辣椒片样品用导电胶固定于样品柱上,喷金处理120 s,再将样

品放入 SEM 样品室,加速电压 15 kV,信号电子类型为 SE1,放大 500 倍对样品果肉形态进行观察。

1.3.3 CWM 的制备 参考 Zhang 等<sup>[19]</sup>的方法。取 10 g 冻干的辣椒粉末样品于含有 100 mL 90%乙醇的烧杯中,置于沸水浴煮沸 20 min,以破坏细胞壁钝化酶。冷却后 400 目滤布过滤,收集滤渣,重复上述步骤 3 次。滤渣残留物置于 100 mL 90%二甲基亚砜水溶液中于 4 °C 过夜去除淀粉。过滤后的滤渣加入 100 mL 氯仿/甲醇溶液(体积比 2:1)溶解 10 min,最后用丙酮洗涤直至样品变白,残留物即为 CWM,35 °C 烘干至恒重。结果用 g/g 干重(Dry weight, DW)表示。

1.3.4 不同果胶组分的提取 参考 Mao 等<sup>[20]</sup>的方法。取 1.00 g CWM 加入 100 mL 超纯水,25 °C 磁力搅拌 4 h,于 400 目纱布过滤,重复上述步骤 3 次,收集滤液,采用分子截流质量为 3 000 u 的透析膜透析至 pH 值无变化,收集果胶溶液,冻干即为 WSP;残渣再用 120 mL 0.05 mol/L 的乙二胺四乙酸溶液(含 0.1 mol/L 的 CH<sub>3</sub>COONa, pH=6.5)在 25 °C 振荡溶解 4 h,按上述条件提取过滤两次,合并滤液,透析至 pH 值无变化,冻干即为 CSP;随后将滤渣用 120 mL 0.05 mol/L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液(含 0.02 mol/L NaBH<sub>4</sub>)在 25 °C 振荡溶解 4 h,重复上述条件提取过滤两次,透析至 pH 值无变化,冻干即为 SSP,将上述各果胶组分分别放入真空袋中,于 -80 °C 存放备用。

1.3.5 果胶含量的测定 参考 Ding 等<sup>[21]</sup>的方法,采用分光光度计进行测定。称取约 5 mg 不同果胶组分于烧杯中,冰浴条件下加入 8 mL 硫酸,磁力搅拌,逐滴加入 2 mL 蒸馏水,混合 5 min,再逐滴加入 2 mL 蒸馏水,搅拌混合 1 h,最后将样品定容至 25 mL,得到水解液。取 1 mL 上述水解后的样品或不同浓度的半乳糖醛酸标准溶液置于试管中,冰水浴条件下加入 6 mL 0.0125 mol/L 硫酸-四硼酸钠溶液,旋涡混合器混匀,100 °C 油浴 5 min,冰水浴冷却,再加入 100 μL 3-苯基苯酚溶液(0.15 g 3-苯基苯酚溶于 100 mL 0.5%氢氧化钠),旋涡混合器混匀。以 60 μL 0.5%氢氧化钠溶液为空白,于波长 520 nm 处测定吸光度,利用标准曲线计算半乳糖醛酸含量。结果用 mg D-半乳糖醛酸/g DW 表示。

1.3.6 果胶中性单糖组成测定 参考 Wang 等<sup>[22]</sup>的方法,利用气相色谱-质谱联用仪进行分析。称取果胶样品 5 mg 于 20 mL 防爆螺口瓶中,加入 12 mL 4 mol/L 三氟乙酸,在 105 °C 烘箱中水解 6 h,水解后取 5 mL 水解液于梨形瓶中减压蒸干(50 °C),用甲醇洗涤 3 次,减压蒸干后加入 5 mL 吡啶溶解,密封于 -80 °C 保存待衍生。取不同的果胶水解液(400 μL)分别与肌醇溶液(150 μL, 0.5 mg/mL)、N,O-双(三甲基硅烷基)三氟乙酰胺和三甲基氯硅烷(BSTFA+TMCS, 150 μL, 99:1)衍生试剂混合,置于 70 °C 的烘箱中衍生 40 min,取出过 0.22 μm 有机滤膜,立刻进行 GC-MS 分析。色谱条件:DB-5 石英毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm);升温程序:柱初温 140 °C,以 4 °C/min 升至 240 °C,进样口温度 250 °C,载气流速 1 mL/min,分流比 50:1。质谱条件:离子源温度 230 °C,电离方式为 EI,电子能量为 70 eV,数据采集方式为选择离子检测模式(Selective ion monitoring, SIM),选择特征离子分别为:73.00, 115.10, 147.10, 191.10, 204.10, 217.10, 265.10, 291.10, 292.10, 305.10, 306.10, 318.20 和 437.30,结果用 mol% 表示。

1.3.7 果胶分子质量分布测定 参考 Guo 等<sup>[23]</sup>的方法,采用高效凝胶过滤色谱法测定。称取样品 50 mg 于 10 mL 容量瓶中,用流动相溶解、定容,过 0.45 μm 滤膜后进样分析。色谱柱为 Ultrahydrogel™ linear 300 mm×7.8 mm×2 柱,流动相为 0.1 mol/L NaNO<sub>3</sub>,流速为 0.8 mL/min,柱温为 40 °C,进样体积为 200 μL。根据不同果胶组分的保留时间与标准葡聚糖分子的标准曲线,计算各果胶组分的分子质量。

## 1.4 数据处理

每组试验重复 3 次,结果采用平均值±标准差表示。采用 Origin 2021 软件进行绘图及相关性分析;采用 SPSS 23 软件进行数据显著性分析,显著性差异水平为 0.05,当  $P < 0.05$  时表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 3种辣椒质构特性

由表 1 可知,“艳红”和“天宇”在质构特性方面差异不显著( $P > 0.05$ ),而两者与“金塔”间存在显著差异( $P < 0.05$ )。相比于“艳红”和“天宇”,“金

塔”的硬度最大,为 10.56 N,其次为“艳红”和“天宇”,仅为 7.94 N 和 7.90 N,这可能与“金塔”含水率较高有关。Wang 等<sup>[24]</sup>发现水分维持着果实组织的细胞膨压,使果肉具备一定的硬度和机械强度。其它质构特性仍以金塔最高。造成不同品种质构

特性差异的原因主要与原料有关,“艳红”和“天宇”同属朝天椒品种,果实重量轻、水分少、皮薄肉厚,而“金塔”属于线椒品种,果实细长饱满、皮厚平整,含水量高且富有脆性,因此质构特性相对较好。

表 1 3 种辣椒质构特性

Table 1 Texture characteristics of three pepper varieties

品种	硬度/N	黏力/N	咀嚼性/mJ	黏性/mj
艳红	7.94 ± 0.40 <sup>b</sup>	0.37 ± 0.02 <sup>b</sup>	7.10 ± 1.99 <sup>b</sup>	0.67 ± 0.22 <sup>b</sup>
天宇	7.90 ± 0.39 <sup>b</sup>	0.31 ± 0.02 <sup>b</sup>	3.90 ± 3.04 <sup>b</sup>	1.03 ± 0.44 <sup>b</sup>
金塔	10.56 ± 0.53 <sup>a</sup>	1.32 ± 0.07 <sup>a</sup>	27.81 ± 21.42 <sup>a</sup>	14.16 ± 1.71 <sup>a</sup>

注:同列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.2 3 种辣椒表面微观结构观察

图 2 反映了 3 种辣椒的表面微观结构。由图可以看出,“艳红”和“天宇”果肉组织具有清晰的厚棱角细胞壁,并且排列紧密、分布均匀,这表明其细胞壁之间空隙小,因此细胞间黏合力和组织间支撑力较大,在加工和贮藏过程中能更好地保

持质构特性<sup>[25]</sup>;而“金塔”的薄壁组织排列稀疏,胞间孔隙较大,呈无规则形状排列,这易引起细胞间分离,从而降低细胞间黏附以及果肉的回复性<sup>[26]</sup>。此外,孔径较大的结构在发酵加工过程中会加剧细胞壁及中胶层中的果胶溶出与降解,导致产品质构品质下降。

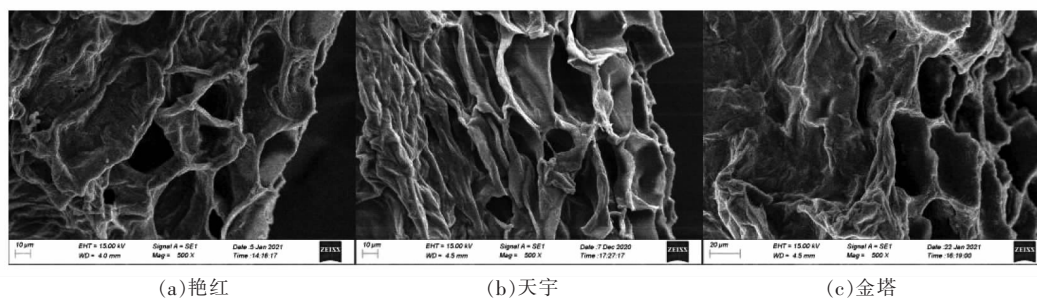


图 2 3 种辣椒表面微观结构

Fig.2 Surface microstructure of three pepper varieties

## 2.3 3 种辣椒 CWM 含量

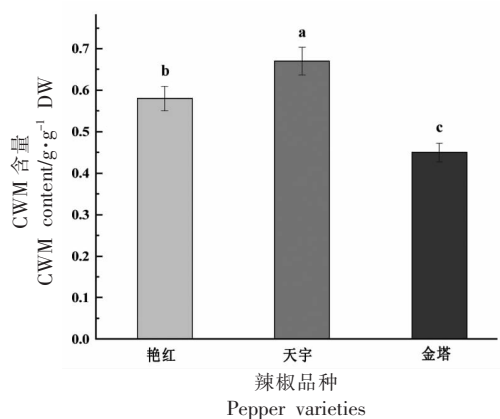
3 种辣椒 CWM 含量如图 3 所示。从图中可看出,“天宇”的 CWM 含量最高,约为 0.67 g/g DW,其次为“艳红”和“金塔”,含量分别为 0.58 g/g DW 和 0.45 g/g DW。这与上述质构特性有所不同,一方面可能是因为质构仪采用瞬间测试并根据探头短时间感应采集数据,因此品质特性较好的原料如金塔在瞬间测试条件下的质构特性也相对较好;另一方面可能与细胞壁化学成分的差异有关。Klockeman 等<sup>[27]</sup>表明细胞壁化学成分的差异会导致原料质构特性明显不同。为了进一步探明 3 种辣椒质构特性差异,对其不同果胶组分含量进行

了分析。

## 2.4 3 种辣椒果胶组分含量

3 种辣椒不同果胶组分含量如图 4 所示。从图中可看出,3 种辣椒 WSP 含量占总果胶含量的 20.10%~25.46%,其中以“金塔”占比最高,约为 25.46%。对于 CSP 而言,“天宇”的含量最高,约为 24.61 mg *D*-半乳糖醛酸/g DW,其次为“艳红”(16.40 mg *D*-半乳糖醛酸/g DW),“金塔”最低为 3.12 mg *D*-半乳糖醛酸/g DW。高欢欢等<sup>[28]</sup>研究不同果肉质地的枇杷时发现果实质地与 WSP/CSP 密切相关,比值越大果实质地越软。“金塔”WSP/CSP 约为“艳红”与“天宇”的 15 倍,这表明相比于“艳

红”和“天宇”，“金塔”在采后加工及贮藏过程中可能更易软化,从而降低其质构品质。3 种辣椒果胶组分均以 SSP 含量最高,尤其是“金塔”,其含量高达 50.73 mg *D*-半乳糖醛酸/g DW,“艳红”和“天宇”间差异不显著( $P > 0.05$ )。Zhang 等<sup>[19]</sup>发现黄桃 SSP 主要存在于初生壁中,起到细胞间的黏连作



注:图中不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

图 3 3 种辣椒 CWM 含量

Fig.3 The content of CWM of three pepper varieties

## 2.5 3 种辣椒果胶中性单糖组成及含量

果胶分子结构主链中相隔一定距离存在由不同单糖构成的侧链,这些侧链特性与果实质地紧密相关。3 种辣椒果胶中性单糖组成及含量如表 2 所示,除“艳红”WSP 和 SSP 未检出岩藻糖外,3 种辣椒果胶组分中均含有阿拉伯糖、甘露糖、岩藻糖、果糖、木糖、鼠李糖、半乳糖和葡萄糖等 8 种单糖。其中,鼠李糖、阿拉伯糖、甘露糖和葡萄糖是所提取果胶中的主要单糖,在“艳红”“天宇”和“金塔”中分别占各品种辣椒单糖总量的 71.68%, 83.57%和 89.50%,并且这 4 种主要单糖在不同辣椒果胶组分中的含量几乎都存在显著差异( $P < 0.05$ )。Popov 等<sup>[29]</sup>也发现鼠李糖、阿拉伯糖和半乳糖是甜椒果胶中的主要单糖。本研究中甘露糖、木糖和葡萄糖含量相对较高,可能是由于辣椒品种存在特性差异或细胞壁提取过程中纤维素、半纤维素以及淀粉水解所致<sup>[30]</sup>。3 种辣椒中 WSP 和 CSP 组分中鼠李糖含量均较高,SSP 组分中“天宇”和“金塔”阿拉伯糖含量较高,而“艳红”则甘露糖含量最高。Ramos-Aguilar 等<sup>[10]</sup>也发现新鲜青椒的 SSP 中阿拉伯糖含量较高。其中,“金塔”WSP 鼠李糖、

其含量与硬度呈正相关性( $P < 0.05$ )。Wang 等<sup>[26]</sup>对不同成熟期的猕猴桃研究表明,SSP 通过共价键与细胞壁多糖结合来维持细胞壁的网络结构,并且 SSP 含量与硬度呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。较高的 SSP 含量为“金塔”的质构品质做出了积极贡献,这也与其硬度最高的结果一致。

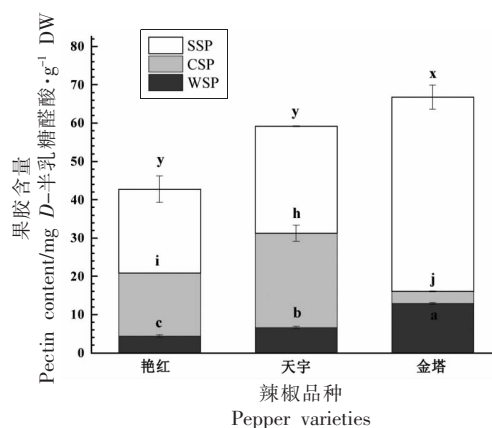


图 4 3 种辣椒果胶组分含量

Fig.4 The content of pectin fractions of three pepper varieties

CSP 和 SSP 阿拉伯糖含量显著高于“艳红”和“天宇”( $P < 0.05$ ),CSP 鼠李糖含量低于“艳红”和“天宇”,SSP 鼠李糖和 WSP 阿拉伯糖含量低于“天宇”但高于“艳红”。可见,不同品种辣椒其果胶组分单糖组成存在明显差异。曹风等<sup>[12]</sup>也发现不同品种苹果果胶中性单糖间鼠李糖、阿拉伯糖和半乳糖含量差异较大。王蓉蓉等<sup>[31]</sup>发现不同品种枣果 WSP 和 SSP 中鼠李糖和阿拉伯糖含量差异较大,CSP 中阿拉伯糖和岩藻糖含量差异较大。

## 2.6 3 种辣椒果胶分子量分布

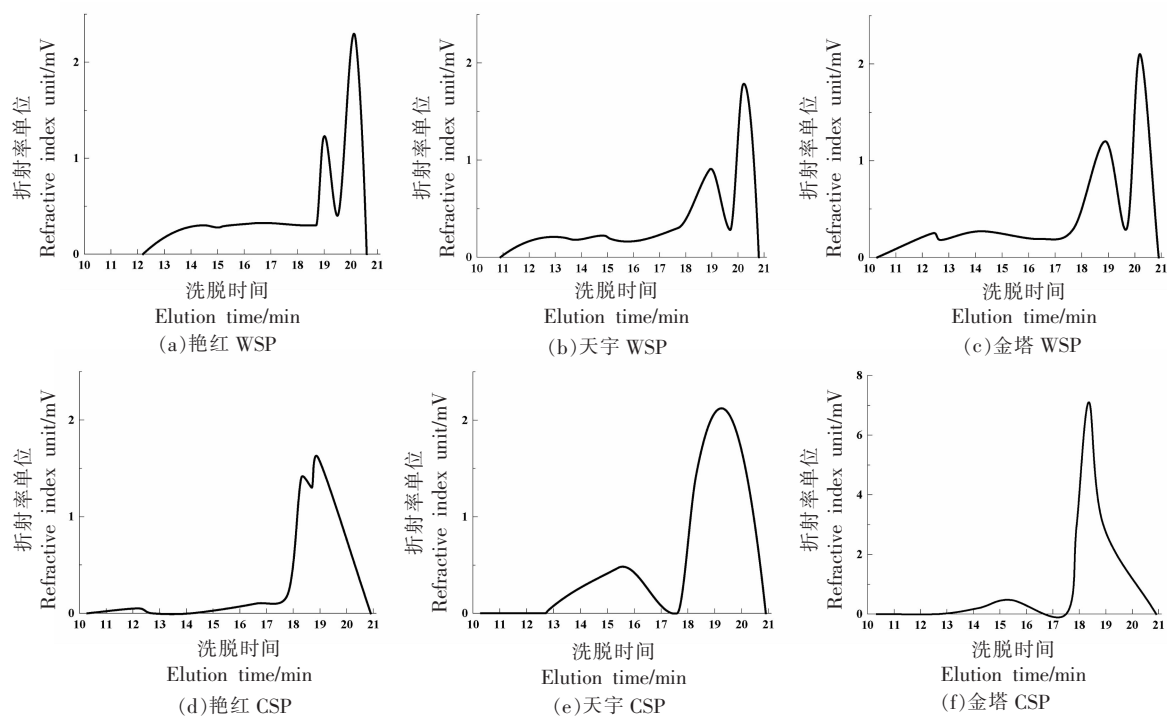
分子量是评价果胶理化性质和分子结构的重要指标之一。3 种辣椒果胶分子量分布如图 5 和表 3 所示。从图中可以看出,3 种辣椒同种果胶组分的分子量分布曲线均存在分布宽、多分散的特点,但相互间又存在差异。对于 WSP 而言,3 种辣椒均呈现出两个主要浓度峰值。“艳红”的主要浓度峰值洗脱时间为 14.51~20.24 min,低分子端分子质量的分布范围明显较多、较宽,分子质量集中在 3.01 ku 和 0.21 ku 附近;“天宇”的主要浓度峰值洗脱时间为 13.35~20.25 min,同样集中在低分子端,分子质量在 2.25 ku 和 0.20 ku 附近;

表2 3种辣椒果胶中性单糖组成(mol%)

Table 2 The monosaccharides compositions in pectin fractions of three peppers varieties (mol%)

品种	果胶类型	Ara	Man	Fuc	Fru	Xyl	Rha	Gal	Glc
艳红	WSP	4.33 ± 0.08 <sup>c</sup>	28.74 ± 1.10 <sup>a</sup>	—	7.27 ± 0.28 <sup>b</sup>	17.89 ± 0.20 <sup>a</sup>	26.63 ± 0.42 <sup>c</sup>	1.11 ± 0.06 <sup>a</sup>	14.03 ± 1.74 <sup>c</sup>
	CSP	7.59 ± 0.88 <sup>j</sup>	20.19 ± 0.19 <sup>b</sup>	2.61 ± 0.20 <sup>b</sup>	15.71 ± 0.06 <sup>b</sup>	16.43 ± 0.16 <sup>b</sup>	29.46 ± 0.29 <sup>i</sup>	0.9 ± 0.03 <sup>b</sup>	7.11 ± 0.34 <sup>j</sup>
	SSP	19.65 ± 1.19 <sup>e</sup>	33.76 ± 1.44 <sup>s</sup>	—	12.63 ± 0.26 <sup>s</sup>	5.61 ± 0.43 <sup>s</sup>	2.39 ± 0.33 <sup>e</sup>	4.81 ± 0.69 <sup>s</sup>	21.15 ± 4.03 <sup>s</sup>
天宇	WSP	11.63 ± 0.11 <sup>a</sup>	18.60 ± 0.10 <sup>b</sup>	1.94 ± 0.01 <sup>b</sup>	7.94 ± 0.01 <sup>a</sup>	8.09 ± 0.01 <sup>b</sup>	33.89 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.49 ± 0.00 <sup>b</sup>	17.42 ± 0.07 <sup>b</sup>
	CSP	15.47 ± 0.03 <sup>i</sup>	8.71 ± 0.04 <sup>i</sup>	1.23 ± 0.01 <sup>i</sup>	9.51 ± 0.04 <sup>i</sup>	9.08 ± 0.01 <sup>i</sup>	40.80 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.47 ± 0.00 <sup>i</sup>	14.72 ± 0.06 <sup>i</sup>
	SSP	40.91 ± 0.87 <sup>y</sup>	16.72 ± 0.78 <sup>y</sup>	0.62 ± 0.08 <sup>y</sup>	4.17 ± 0.10 <sup>y</sup>	4.95 ± 0.39 <sup>y</sup>	14.09 ± 0.34 <sup>s</sup>	0.80 ± 0.10 <sup>y</sup>	17.74 ± 1.19 <sup>y</sup>
金塔	WSP	9.24 ± 0.10 <sup>b</sup>	16.21 ± 0.08 <sup>c</sup>	2.66 ± 0.01 <sup>a</sup>	5.47 ± 0.04 <sup>c</sup>	5.00 ± 0.02 <sup>c</sup>	40.56 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.5 ± 0.00 <sup>b</sup>	20.36 ± 0.08 <sup>a</sup>
	CSP	30.22 ± 0.28 <sup>b</sup>	6.48 ± 0.02 <sup>j</sup>	1.24 ± 0.09 <sup>j</sup>	3.77 ± 0.11 <sup>j</sup>	5.41 ± 0.03 <sup>j</sup>	27.37 ± 0.26 <sup>i</sup>	1.17 ± 0.03 <sup>b</sup>	24.33 ± 0.15 <sup>b</sup>
	SSP	45.01 ± 0.18 <sup>s</sup>	19.52 ± 0.02 <sup>y</sup>	0.91 ± 0.02 <sup>s</sup>	1.93 ± 0.03 <sup>e</sup>	2.53 ± 0.04 <sup>e</sup>	7.56 ± 0.09 <sup>y</sup>	0.89 ± 0.03 <sup>y</sup>	21.65 ± 0.05 <sup>s</sup>

注：“—”表示未检出；Ara为阿拉伯糖，Man为甘露糖，Fuc为岩藻糖，Fru为果糖，Xyl为木糖，Rha为鼠李糖，Gal为半乳糖，Glc为葡萄糖；相同果胶组分同一单糖不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。



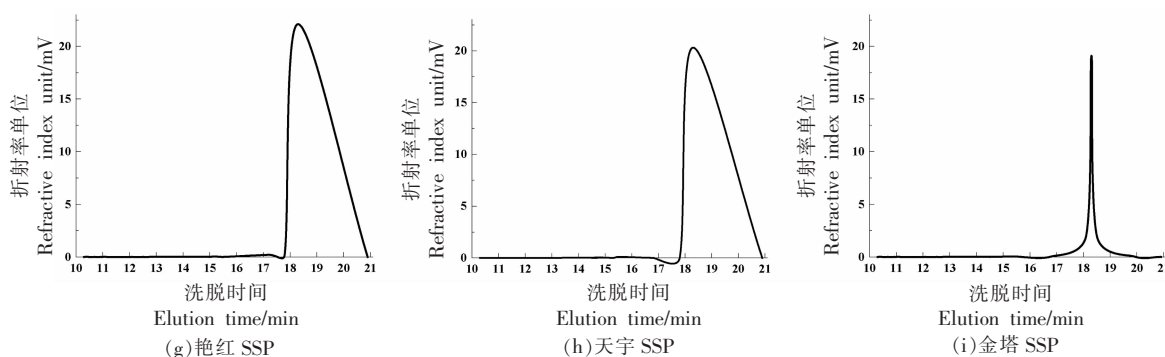


图 5 3 种辣椒果胶分子质量分布

Fig.5 The molecular weight distributions in pectin fractions of three peppers varieties

表 3 3 种辣椒果胶分子质量分布

Table 3 The molecular weight distribution in pectin fractions of three pepper varieties

品种	WSP		CSP		SSP	
	RT/min	$M_w$ /ku	RT/min	$M_w$ /ku	RT/min	$M_w$ /ku
艳红	14.51	663.18	12.22	4 060.48	14.90	401.69
	16.31	45.97	16.17	58.40	15.53	71.34
	18.96	3.01	17.14	11.22	17.20	10.23
	20.24	0.21	18.37	2.33	18.38	1.81
	-	-	18.95	0.87	-	-
天宇	13.35	2 424.15	11.63	7 012.00	14.75	382.69
	14.90	283.98	12.87	2 425.12	15.45	80.16
	16.45	47.57	15.45	171.46	17.22	10.43
	16.73	13.83	18.36	1.84	18.39	1.71
	18.91	2.25	-	-	-	-
	20.25	0.20	-	-	-	-
金塔	12.47	5 999.17	14.23	523.25	15.48	153.55
	14.25	259.76	17.45	9.02	18.36	2.21
	16.45	47.46	18.36	1.90	-	-
	17.03	11.02	-	-	-	-
	18.89	1.70	-	-	-	-
	20.24	0.21	-	-	-	-

注:表中 RT 为洗脱时间, $M_w$  为分子质量。

“金塔”色谱峰分布范围最宽,在 12.47 min 出现第一个色谱峰,对应的分子质量为 5 999.17 ku,在所有辣椒 WSP 组分中出峰时间最早,表明其 WSP 大分子组分含量较多。总之,“金塔”的 WSP 分子质量为 914.25 ku,要高于“艳红”(187.07 ku)和“天宇”(253.36 ku)。对于 CSP 而言,3 种辣椒中高分子质量峰强度明显弱于低分子质量峰,这说明 CSP 分子质量集中在低分子端。其中,“艳红”的主峰洗脱时间为 18.95 min,此处明显出现一个小分子组分,其分子质量为 0.87 ku,是所有辣椒 CSP 中最小的;“天宇”和“金塔”的主峰洗脱时间均为

18.36 min,同样以小分子组分含量较多,分子质量分别集中在 1.84 ku 和 1.90 ku 附近。“艳红”“天宇”和“金塔”CSP 分子质量分别为 219.61,208.27 ku 和 48.64 ku,且“金塔”CSP 分子质量分布范围较窄,表明其支链结构更简单。对于 SSP 而言,3 种辣椒 SSP 组分均只出现一个主峰,“艳红”和“天宇”的分子质量分布范围和主峰的洗脱时间范围相近,均明显宽于“金塔”。丁胜华<sup>[32]</sup>表明枣果 SSP 组分分子质量分布越宽,其支链结构越复杂,果胶支链与细胞壁中微晶纤维结合形成的网状结构更加稳定。“艳红”“天宇”和“金塔”的主峰洗脱时间

分别为 18.38, 18.39 min 和 18.36 min, 对应的分子质量分别为 1.81, 1.71 ku 和 2.21 ku, 表明 3 种辣椒 SSP 组分集中在低分子端。赵文婷等<sup>[33]</sup>发现果胶组分分子质量越大其黏度越高, 果胶的品质越好。“艳红”“天宇”和“金塔”SSP 分子质量分别为 4.44, 4.45 ku 和 3.11 ku。因此, 基于“金塔”SSP 的含量最高、分子质量最小和分布范围最窄, 推测其相比于“艳红”和“天宇”可能在加工过程中的质构品质更加不稳定, 这也与 2.2 节和 2.4 节的结果相一致。

### 2.7 3 种辣椒质构品质及果胶特性相关性分析

3 种辣椒质构品质和果胶特性相关性分析如图 6 所示。从图中可看出, 果实硬度与黏力、咀嚼性、黏性、WSP 含量、SSP 含量、WSP 分子质量呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 与 CWM 含量、CSP 含量、CSP 分子质量和 SSP 分子质量呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )。齐秀东等<sup>[34]</sup>表明果实硬度与果胶间的相

关性依品种和生长时期不同而存在差异。其中, 果实硬度与 WSP 含量呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 这也验证了前面金塔果实硬度和 WSP 含量最高的结果。彭勇等<sup>[35]</sup>研究桃时也发现, 其果实硬度与 WSP 含量呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ )。此外, 果实硬度还与 SSP 含量呈及极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 这是因为 SSP 主要存在于初生壁中, 起到细胞间的黏连作用。对于果胶特性而言, WSP 含量与 SSP 含量、WSP 分子质量呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 与 CSP 含量、CSP 分子质量和 SSP 分子质量呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ ); CSP 含量与 CSP 分子质量和 SSP 分子质量呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 与 SSP 含量和 WSP 分子质量分别呈显著 ( $P < 0.05$ ) 和极显著 ( $P < 0.01$ ) 负相关; SSP 含量与 WSP 分子质量呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 与 CSP 分子质量和 SSP 分子质量呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )。

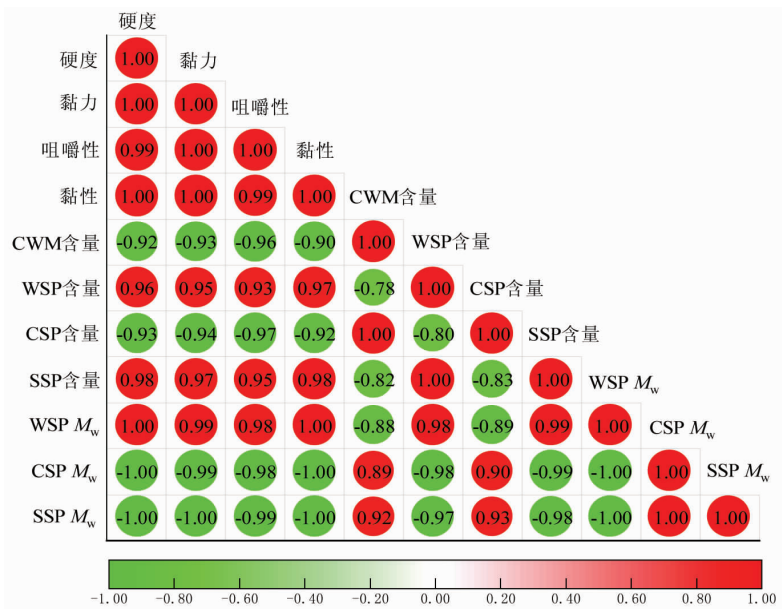


图 6 3 种辣椒质构品质及果胶特性相关性分析

Fig.6 Correlation analysis of texture qualities and pectin properties of three peppers varieties

## 3 结论

同“艳红”和“天宇”相比, “金塔”在果长、果重、含水率以及表面微观结构等方面均存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 其果实大, 含水率高, 细胞组织结构排列稀疏。此外, “金塔”硬度、黏力与黏性均为最高, 与“艳红”和“天宇”间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。在果胶特性方面, 3 种辣椒也存在差异。同

“艳红”和“天宇”相比, “金塔”具有较高的 WSP 和 SSP 含量、WSP 分子质量, 而 CSP 含量、CSP 和 SSP 分子质量则较低。鼠李糖是 3 种辣椒不同果胶组分的主要单糖, 且“金塔”WSP 鼠李糖含量显著高于“艳红”和“天宇” ( $P < 0.05$ ), CSP 鼠李糖低于“艳红”和“天宇”, SSP 鼠李糖含量低于“天宇”但高于“艳红”。相关性分析表明, 辣椒硬度与果胶



特性间均呈现不同程度的相关性,尤其与 WSP 含量、SSP 含量和 WSP 分子质量呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。总之,“金塔”WSP 含量高,CSP 含量低,且 CSP 和 SSP 分子量质较小,这会导致其细胞结构不稳定,在采后加工及贮藏过程中易发生水分散失和果胶降解,导致果实软化。因此,相比于“金塔”,“艳红”和“天宇”可能更有利于维持剁辣椒产品的质构品质。

### 参 考 文 献

- [1] Food and Agriculture Organization. Crops and livestock products[EB/OL]. [2021-04-24]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- [2] ADEBISI J A, OYEWU E B, JIBODU I S, et al. Vitamins A, C and lycopene contents of some varieties of tomato and pepper in the southwest region of nigeria[J]. *Advances in Life Science and Technology*, 2014, 23: 63-67.
- [3] VARGHESE S, KUBATKA P, RODRIGO L, et al. Chili pepper as a body weight-loss food[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2017, 68(4): 1-10.
- [4] XU H S, DING S H, ZHOU H, et al. Quality attributes and related enzyme activities in peppers during storage: Effect of hydrothermal and calcium chloride treatment[J]. *International Journal of Food Properties*, 2019, 22(1): 1475-1491.
- [5] 蒋立文, 李宗军, 谭周进, 等. 剁辣椒的生产现状及技术进展[J]. *中国酿造*, 2006(2): 6-9.  
JIANG L W, LI Z J, TAN Z J, et al. Processing and technological development of chopped hot pepper[J]. *China Brewing*, 2006(2): 6-9.
- [6] 罗凤莲, 夏延斌, 文新昱. 不同发酵条件对剁辣椒中有机酸种类及含量的影响[J]. *食品科技*, 2015, 40(11): 48-52.  
LUO F L, XIA Y B, WEN X Y. Influence of different fermentation conditions on organic acid kind and content of chopped chili[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(11): 48-52.
- [7] 周倩, 何小维, 罗志刚. 果胶的制备及其应用[J]. *食品工业科技*, 2007, 28(9): 240-243.  
ZHOU Q, HE X W, LUO Z G. Preparation and application of pectin[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2007, 28(9): 240-243.
- [8] CONFORTI F D, ZINCK J B. Hydrocolloid - lipid coating affect on weight loss, pectin content, and textural quality of green bell peppers[J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(4): 1360-1363.
- [9] BERNARDO A, MARTINEZ S, ALVAREZ M, et al. The composition of two Spanish pepper varieties (*Fresno de la Vega* and *Benavente - Los Valles*) in different ripening stages[J]. *Journal of Food Quality*, 2008, 31(6): 701-716.
- [10] RAMOS-AGUILAR O P, DE JESÚS ORNELAS-PAZ J, RUIZ-CRUZ S, et al. Effect of ripening and heat processing on the physicochemical and rheological properties of pepper pectins[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 115(8): 112-121.
- [11] XU H S, WANG Y R, DING S H, et al. Effect of hydrothermal-calcium chloride treatment on pectin characteristics and related quality in green peppers during storage[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 58(10): 3712-3724.
- [12] 曹凤, 刘璇, 毕金峰, 等. 不同品种苹果果胶含量及结构差异分析[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(13): 2328-2340.  
CAO F, LIU X, BI J F, et al. Difference analysis of pectin content and structure from various apple cultivars[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(13): 2328-2340.
- [13] 霍宏亮, 曹玉芬, 田路明, 等. 不同梨品种果胶含量与品质特性相关性研究[J]. *保鲜与加工*, 2016(6): 111-115.  
HUO H L, CAO Y F, TIAN L M, et al. Study on the correlation between pectin content and fruit quality of different varieties of pears[J]. *Storage and Process*, 2016(6): 111-115.
- [14] 王滨, 李培环, 董晓颖, 等. 不同溶质桃果实成熟前后及采后激素处理下硬度和果胶含量的变化[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2013, 30(3): 174-178.  
WANG B, LI P H, DONG X Y, et al. Changes of pectin and firmness in peach fruit during maturation and after postharvest hormone treatments[J]. *Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science)*, 2013, 30(3): 174-178.
- [15] NJOROGI D M, KINYANJUI P K, MAKOKHA A O, et al. Extraction and characterization of pectic

- polysaccharides from easy-and hard-to-cook common beans (*Phaseolus vulgaris*) [J]. Food Research International, 2014, 64(6): 314-322.
- [16] 程杰山, 沈火林, 杨学妍, 等. 不同硬度辣椒品系果实组织结构观察与细胞壁物质含量测定[J]. 西北农业学报, 2008, 7(1): 150-156.
- CHENG J S, SHEN H L, YANG X Y, et al. Tissue structure observation and cell wall substrates content determination in different fruit firmness of pepper (*Capsicum Annuum* L.) lines[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2008, 7(1): 150-156.
- [17] 李永红, 张立莎, 常瑞丰, 等. 质地多方面分析三个桃品种果实采后质地的变化[J]. 北方园艺, 2016(4): 133-137.
- LI Y H, ZHANG L S, CHANG R F, et al. Change of texture properties of three peach varieties during postharvest storage by texture profile analysis [J]. Northern Horticulture, 2016(4): 133-137.
- [18] 张群, 刘伟, 李绮丽. 化学渗透预处理对蓝莓热风干燥特性及品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2019(4): 89-96.
- ZHANG Q, LIU W, LI Q L. Effects of chemical osmotic pretreatment on drying characteristics and quality of blueberry under hot air drying[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2019(4): 89-96.
- [19] ZHANG F S, DONG P, FENG L, et al. Textural changes of yellow peach in pouches processed by high hydrostatic pressure and thermal processing during storage[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(8): 3170-3180.
- [20] MAO J Q, ZHANG L F, CHEN F S, et al. Effect of vacuum impregnation combined with calcium lactate on the firmness and polysaccharide morphology of Kyoho grapes (*Vitis vinifera* × *V. labrusca*) [J]. Food and Bioprocess Technology, 2017, 10(4): 699-709.
- [21] DING S H, WANG R R, SHAN Y, et al. Changes in pectin characteristics during the ripening of jujube fruit[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(12): 4151-4159.
- [22] WANG J J, WANG R R, XIAO Q, et al. SPME/GC-MS characterization of volatile compounds of Chinese traditional-chopped pepper during fermentation[J]. International Journal of Food Properties, 2019, 22(1): 1863-1872.
- [23] GUO X F, ZHAO W T, PANG X L, et al. Emulsion stabilizing properties of pectins extracted by high hydrostatic pressure, high-speed shearing homogenization and traditional thermal methods: A comparative study[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 35(5): 217-225.
- [24] WANG J, MUJUMDAR A S, DENG L Z, et al. High-humidity hot air impingement blanching alters texture, cell-wall polysaccharides, water status and distribution of seedless grape[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 194(4): 9-17.
- [25] 于笑颜, 吕健, 毕金峰, 等. 基于果胶特性改变的罐藏黄桃质构软化机制[J]. 食品科学, 2020, 41(19): 45-52.
- YU X Y, LÜ J, BI J F, et al. Mechanism for texture softening of canned yellow peaches based on modification of pectin characteristics [J]. Food Science, 2020, 41(19): 45-52.
- [26] WANG H, WANG J, MUJUMDAR A S, et al. Effects of postharvest ripening on physicochemical properties, microstructure, cell wall polysaccharides contents (pectin, hemicellulose, cellulose) and nanostructure of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 118: 106808.
- [27] KLOCKEMAN D M, PRESSEY R, JEN J J. Characterization of cell wall polysaccharides of jicama (*Pachyrhizus erosus*) and Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis*) [J]. Journal of Food Biochemistry, 1991, 15(5): 317-329.
- [28] 高欢欢, 牛先前, 杨桂平, 等. 不同果肉质地的枇杷果实发育过程中果胶代谢及相关基因表达分析[J]. 福建农业学报, 2020, 35(7): 717-724.
- GAO H H, NIU X Q, YANG G P, et al. Pectin metabolism and related gene expressions during loquat fruit development[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2020, 35(7): 717-724.
- [29] POPOV S V, OVODOVA R G, GOLOVCHENKO V V, et al. Chemical composition and anti-inflammatory activity of a pectic polysaccharide isolated from sweet pepper using a simulated gastric medium[J]. Food Chemistry, 2011, 124(1): 309-315.
- [30] ZHANG L F, ZHAO S N, LAI S J, et al. Combined effects of ultrasound and calcium on the chelate-soluble pectin and quality of strawberries during storage[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 200(8): 427-435.

- [31] 王蓉蓉, 李高阳, 丁胜华, 等. 不同品种枣果中果胶含量、中性单糖组成及分子量分布[J]. 中国食品学报, 2018, 18(6): 297-306.  
WANG R R, LI G Y, DING S H, et al. Effect of various varieties jujube on the content, neutral monosaccharide composition and molecular weight distribution of pectin[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(6): 297-306.
- [32] 丁胜华. 生长成熟与干制对枣果品质特性及其果胶多糖的形成规律研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.  
DING S H. Effects of growth stages and dehydration on the metabolic rules of physico-chemical properties and pectic polysaccharides in jujube fruits[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.
- [33] 赵文婷, 郭兴峰, 高林, 等. 超高压辅助酶法制备低酯果胶[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8): 257-263.  
ZHAO W T, GUO X F, GAO L, et al. Preparation of low-methoxyl pectin by high hydrostatic pressure-assisted with enzyme methods[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(8): 257-263.
- [34] 齐秀东, 魏建梅, 高海生, 等. 梨果实发育软化与果胶多糖降解特性的关系[J]. 中国农业科学, 2015, 48(15): 3027-3037.  
QI X D, WEI J M, GAO H S, et al. Pectin polysaccharide degradation in relation to the texture softening in pear fruit[J]. Scientia Agricultura sinica, 2015, 48(15): 3027-3037.
- [35] 彭勇, 陈义伦, 王庆国, 等. 桃品种间质地、水分及细胞壁组分的比较[J]. 西北农业学报, 2019, 28(11): 1836-1844.  
PENG Y, CHEN Y L, WANG Q G, et al. Comparative study on texture, water status and cell wall components of peach cultivars[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2019, 28(11): 1836-1844.

### Texture Qualities and Pectin Characteristics of Three Pepper Varieties for Fermentation Minced Pepper Processing

Chen Fei<sup>1</sup>, Chen Yuyu<sup>1</sup>, He Shuang<sup>2</sup>, Jiang Liwen<sup>1</sup>, Qin Yeyou<sup>3</sup>, Wang Rongrong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128

<sup>2</sup>Institute of Agricultural Products Processing, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125

<sup>3</sup>Hunan Tantanxiang Biotechnology Co. Ltd., Changsha 410128

**Abstract** The texture qualities and pectin characteristics of three pepper varieties for fermentation minced pepper (FMP) processing were studied, including ‘Yanhong’, ‘Tianyu’ and ‘Jinta’. The results showed compared with ‘Yanhong’ and ‘Tianyu’, the differences in fruit length, fruit weight, moisture content and surface microstructure of ‘Jinta’ were found. Among of them, ‘Jinta’ showed larger size, higher moisture content, and sparse tissue structure. In addition, the hardness, stickiness and stickiness of ‘Jinta’ were the highest in three pepper varieties, which were significantly different from those of ‘Yanhong’ and ‘Tianyu’ ( $P < 0.05$ ). For pectin characteristics, ‘Jinta’ presented higher water soluble pectin (WSP) and sodium carbonate solute pectin (SSP) content and molecular weight of WSP than others, and lower CSP content and molecular weight of CSP and SSP. The content of WSP rhamnose, CSP and SSP arabinose in ‘Jinta’ was significantly higher than that in ‘Yanhong’ and ‘Tianyu’ ( $P < 0.05$ ), the content of CSP rhamnose was lower than that of ‘Yanhong’ and ‘Tianyu’, the content of SSP rhamnose and WSP arabinose was lower than ‘Tianyu’ but higher than ‘Yanhong’. The correlation analysis showed that there were extremely positive correlations between hardness and WSP content, SSP content and WSP molecular weight ( $P < 0.01$ ). Overall, compared with ‘Yanhong’ and ‘Tianyu’, ‘Jinta’ showed high WSP content, low CSP content and molecular weight of CSP and SSP, which led to the instability of cell structure and further induced water loss and pectin degradation during processing and preservation. Therefore, ‘Yanhong’ and ‘Tianyu’ were more suitable for maintaining the texture qualities of FMP compared with ‘Jinta’.

**Keywords** fermentation minced pepper; variety; texture qualities; pectin characteristics