

漂烫对宽皮橘去皮性能及橘皮微观结构影响的研究

王丽娟¹, 刘东红^{1,2}

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江杭州 310058) (2. 浙江大学馥莉食品研究院, 浙江杭州 310058)

摘要: 以宽皮柑橘为原料, 漂烫不同的温度和时间, 以柑橘整果穿刺力和橘皮拉伸性能等力学性质, 橘皮蜡质、白皮层的微观结构等研究漂烫对柑橘去皮性能的影响; 以去皮柑橘感官评价(果香、口感及白皮覆盖率)和理化性质(固形物含量、还原糖含量、可滴定酸含量及Vc含量)为评价指标定量柑橘最佳漂烫方式。结果表明, 不同的漂烫条件导致橘皮力学性质不同, 适当的漂烫能降低柑橘整果的穿刺力, 增强橘皮抗拉强度, 这是通过改变柑橘外果皮蜡质层的组织形态和白皮层中纤维素-果胶的经纬结构实现的。85℃下漂烫70s柑橘整果穿刺力较小(8.68±0.04 N), 但橘皮抗拉强度增加(0.18±0.05 MPa), 且柑橘果香和口感增强, 去皮后白皮覆盖率显著降低, 从而增强了去皮效果。因此, 漂烫能通过影响橘皮力学性质和微观结构增强去皮性能。

关键词: 柑橘; 漂烫; 力学性质; 感官; 理化性质; 微观结构

文章编号: 1673-9078(2017)5-183-188

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.5.029

Effect of Blanching on Citrus Peeling Performance and Citrus Peel Microstructure

WANG Li-juan¹, LIU Dong-hong^{1,2}

(1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

(2. Fuli Institute of Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: *Citrus reticulata* was used as the raw material to investigate the effects of different blanching temperatures and times on peeling performance by measuring mechanical properties, including whole fruit puncture force and tensile strength, and the microstructures of wax layer and albedo layers. The sensory evaluation of peeled citrus fruits (aroma, taste, and the coverage of albedo layers) and the physicochemical properties including solids content, reducing sugar content, titratable acid content, and vitamin C (Vc) content were used to quantitatively determine the optimum blanching method. The results showed that different blanching conditions led to different mechanical properties of citrus peel. The appropriate blanching conditions reduced the whole fruit puncture force and enhanced the tensile strength by changing the morphology of the tissues in the citrus pericarp wax layer and the cellulose-pectin intertwined structure in the albedo layer. The citrus blanched at 85 °C for 70 s had a relatively low whole fruit puncture force (8.68±0.04 N), but an enhanced tensile strength (0.18±0.05 MPa). In addition, the aroma and taste improved and albedo layer coverage decreased significantly, thus enhancing peeling performance. Therefore, blanching can enhance citrus peeling performance by influencing mechanical properties and microscopic structure of the citrus peel.

Key words: citrus; blanching; mechanical properties; sensory evaluation; physicochemical properties; microstructure

柑橘是世界第一大水果, 而我国是世界上最大的柑橘出口国。柑橘不仅是鲜食佳品, 也是良好的加工原料, 而去皮是其加工的关键步骤。为提高柑橘去皮效率、去皮率和产品品质, 柑橘机械化去皮设备的研究层出不穷。机械去皮设备的研究主要围绕以下三种原理: 一是仿形原理^[1], 二是模拟手工去皮^[2]; 三是划皮后对辊去皮原理^[3]。

收稿日期: 2016-04-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371872)

作者简介: 王丽娟(1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬加工

通讯作者: 刘东红(1968-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工、食品机械等

水果的力学性质是水果品质鉴定和加工装备多尺度建模与设计的重要基础^[4]。Gyasi 等人^[5]研究新鲜和贮藏柑橘的果皮与果肉泊松比, 指出不同新鲜程度柑橘力学性质不同; Singh 等人^[6]研究成熟度和贮藏条件对柑橘力学性质的影响, 为柑橘采摘、加工、包装和贮藏提供理论依据。为提高柑橘机械化去皮设备的适用性, 陈红等人^[7]研究了宽皮柑橘对辊试验机的设计和试验, 并指出柑橘整果的硬度(穿刺力)与刺皮力有关; 橘皮的拉伸性能与果皮去净率有关。因此, 柑橘的力学特性是决定机械去皮效果的重要要素。

漂烫作为果蔬加工的重要预处理之一, 对果蔬力学性质具有重要影响。如张海燕等人^[8]研究了漂烫对

苹果力学性质的影响并优化了漂烫工艺。此外,漂烫也会改变食品组分^[9],导致水溶性营养物质的流失,还会影响食品其他质量属性,如由于改变细胞壁对水的通透性而改变食品质地、颜色,漂烫不当易导致果蔬质地下降,失去利用价值。作为柑橘去皮技术的重要预处理,漂烫影响着橘皮的力学性质从而影响去皮的完整性和白皮覆盖率。而柑橘的理化性质,包括维生素 C (Vc)、可滴定酸 (TA) 和固形物含量等是影响消费者接受程度的重要指标,但国内外对漂烫对柑橘力学性质和理化性质影响的研究尚属空白。

因此,本文从力学特性变化及微观结构变化入手,研究了漂烫对柑橘整果刺穿力、橘皮拉伸性能等力学性质的影响,以扫描电镜观察橘皮微观结构阐明其去皮机理,并结合去皮柑橘感官评价和理化性质定量最佳漂烫方式,为柑橘机械去皮设备的研发和应用提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验材料为宽皮橘,果皮呈橙黄色,购于杭州果品集团有限公司。选择大小、形状相似,无明显外观损伤的柑橘,柑橘最大横径为 7~9 cm。

实验试剂为蒽酮试剂、浓 H₂SO₄、NaOH、2,6-二氯酚、抗坏血酸、戊二醛、磷酸缓冲液、钼酸、乙醇、醋酸异戊酯,分为分析纯。

实验仪器:电热恒温水浴锅,DKS-12,温度范围 5~99 °C,购于嘉兴市中新医疗仪器有限公司;游标卡尺 (0.02 cm),购于宁波大虹工具采购商城;质构仪,TA.XT2i,购于北京微讯超技仪器技术有限公司;紫外分光光度计,UV-2550,购于日本 Shimadzu 公司;万能电子拉力试验机;阿贝折光仪,9Z1708,购于上海楚工实业有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 热烫处理

将宽皮橘分级、清洗后在热水 (80 °C、85 °C、90 °C 和 95 °C) 中热烫一定时间 (40 s、50 s、60 s 和 70 s),流水冷却至室温,备用。

1.2.2 力学性质测定

1.2.2.1 刺穿力

用质构仪测定刺穿力大小。刺穿实验所采用的探头为 P5,即直径为 5 mm 的圆形平板探头。测试模式选用:压缩过程中测试受力;运行程序选定:探头返回初始位。仪器参数设置如下:测前速度,测试速度,

测后速度:1 mm/s;数据采集速率:100 次/s;触发值:0.10 N。曲线记录方式为 Final,加载位移量 15 mm。每组试验样品量为 20 个,刺穿部位为柑橘最大果径处。

1.2.2.2 拉伸性能

橘皮的拉伸性能会影响去皮的效率和果皮的完整性。用万能电子拉力试验机测定橘皮拉伸性能。选择“抗拉力强度与变形率”,精确裁剪橘皮尺寸为长度 50 mm,宽度 17 mm,根据游标卡尺测得的每个橘皮试样实际厚度输入试验橘皮厚度,设置拉伸速度为 100 mm/min,记录试验数。每组试验样品量为 20 个。

抗拉强度计算公式如下:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

其中 σ 表示抗拉强度,MPa; F 表示拉伸力, N; S 为果皮横截面积, mm²。

1.2.3 扫描电子显微镜

用扫描电镜观察橘皮细胞壁的细胞形态:取一小块橘皮,裁剪为 5 mm×5 mm,并用 2.5%戊二醛 4 °C 固定过夜。固定后用 0.1 mol/L、pH 7.0 磷酸缓冲溶液漂洗样品 3 次,每次 15 min。用 1%钼酸溶液固定 1~2 h。固定后用 0.1 mol/L、pH 7.0 磷酸缓冲溶液漂洗样品 3 次,每次 15 min。清洗后用 30%、50%、70%、80%、90%和 95%的乙醇梯度脱水对样品进行脱水处理,每级 15 min。再用 100%的乙醇处理两次,每次 20 min。用乙醇与醋酸异戊酯的混合液 (V/V=1:1) 处理样品 30 min,再用纯醋酸异戊酯处理,放置过夜。临界点干燥。最后将把样品粘在导电胶上,离子溅射法喷金,时间为 90 s,镜检。

1.2.4 果肉感官评价

将柑橘漂烫后手工去皮,对去皮柑橘进行感官评价。感官评价小组由来自不同实验室的经过培训的学生组成,共 10 人。评价指标分别为柑橘果香、口感及白皮覆盖率,各 10 分,共 30 分。柑橘果肉的感官评定标准见表 1。

表 1 橘肉感官评定标准

Table 1 Standard for sensory evaluation of orange flesh

分值	果香	口感	白皮覆盖率
9~10	果香浓郁	酸甜适口	白皮层去除干净,较少残留
6~8	果香清淡	偏酸	白皮层去除较干净,有少部分残留
3~5	无果香	偏酸、无苦味	有较多白皮层残留
0~2	无果香有异味	无橘子滋味,有苦味	白皮层大量残留

1.2.5 理化性质测定

固形物含量: 阿贝折光仪法;
还原糖含量: 蒽酮比色法;
可滴定酸含量: NaOH 滴定法, 结果以柠檬酸计;
Vc 含量: 2,6-二氯酚酚滴定法。

1.2.6 数据统计分析

数据统计分析采用 SPSS Statistics 19.0 软件, AVONA 分析采用邓肯氏检验 (Duncan) 其在 0.05 水平上的显著性差异。

2 结果与分析

2.1 漂烫对力学性质的影响

2.1.1 漂烫对刺穿力的影响

柑橘手工去皮或机械去皮是通过划皮后用手或利用对辊装置将果皮从果肉上撕扯下来。划皮力的大小受柑橘整果刺穿力大小的影响。漂烫对柑橘刺穿力影响的影响如表 2 所示。

表 2 不同漂烫温度、时间对刺穿力的影响

Table 2 Effect of different temperatures and times on the puncture force

刺穿力/N	对照	80 °C	85 °C	90 °C	95 °C
40 s		13.36±0.15 ^{Cc}	11.66±0.17 ^{Ac}	13.68±0.14 ^{Dd}	12.38±0.23 ^{Bd}
50 s	13.57±0.35	11.67±0.21 ^{Bb}	10.40±0.32 ^{Bb}	12.48±0.10 ^{Cc}	10.49±0.21 ^{Ac}
60 s		10.88±0.75 ^{Bb}	9.07±0.53 ^{Aa}	10.84±0.78 ^{Ab}	9.38±0.09 ^{Ab}
70 s		8.87±0.34 ^{Ba}	8.68±0.04 ^{Ba}	8.75±0.09 ^{Ba}	8.30±0.14 ^{Aa}

注: A、B、C、D 和 a、b、c、d 分别代表温度、时间在 $p < 0.05$ 水平上对刺穿力具有显著性影响。

由表 2 可知, 试验测得对照组柑橘具有较高刺穿力 (13.57±0.35N), 表明柑橘硬度较硬。经不同工艺漂烫后, 柑橘刺穿力均有所下降。保持温度恒定, 柑橘刺穿力随漂烫时间延长而减小, 且漂烫时间对刺穿力具有显著性影响; 保持时间恒定, 刺穿力随温度上升呈现先减小后增大的趋势, 90 °C 时刺穿力达到峰值, 但差异性不显著, 漂烫温度对刺穿力也具有显著性影响。高温下 (95 °C) 漂烫 40 s, 柑橘刺穿力仍较高 (12.38±0.23); 而低温下 (80 °C) 漂烫 70 s, 柑橘

刺穿力 (8.87±0.34) 降低显著, 表明漂烫时间对刺穿力的影响较温度的影响大。Ng 等人^[10]的研究表明, 高温短时处理能使果皮表面迅速升温, 果皮破裂, 果胶物质溶解或降解, 这与漂烫能降低柑橘果皮刺穿力的结论是一致的。与对照组 (13.57±0.35 N) 相比, 热烫 70 s (8.30~8.87 N) 能显著降低柑橘整果刺穿力, 表明能有效降低划皮力, 降低去皮难度。

2.1.2 漂烫对拉伸性能的影响

表 3 热烫温度、时间对橘皮抗拉强度的影响

Table 3 Effect of blanching temperature and time on the tensile strength of the citrus peel

σ /MPa	对照	80 °C	85 °C	90 °C	95 °C
40 s		0.14±0.03 ^{B,a}	0.14±0.08 ^{B,a}	0.14±0.08 ^{B,b}	0.13±0.03 ^{A,c}
50 s	0.14±0.02	0.14±0.02 ^{B,a}	0.14±0.01 ^{B,a}	0.17±0.10 ^{C,c}	0.12±0.12 ^{A,b,c}
60 s		0.16±0.15 ^{B,b}	0.16±0.16 ^{B,b}	0.16±0.16 ^{B,b,c}	0.11±0.08 ^{A,b}
70 s		0.17±0.11 ^{C,c}	0.18±0.05 ^{C,a}	0.10±0.05 ^{B,a}	0.08±0.05 ^{A,a}

注: A、B、C、D 和 a、b、c、d 分别代表表示温度、时间在 $p < 0.05$ 水平上对抗拉强度具有显著性影响。

橘皮抗拉强度受漂烫温度和时间的影响: 在 80 °C 和 85 °C 下, 随着热烫时间增加, 橘皮抗拉强度增大, 表明橘皮韧性增加。Ahmed 等人^[11]研究指出, 漂烫后柑橘组织软化, 使得油胞的断裂应力增大, 与试验所得漂烫导致橘皮韧性增加的结论是一致的。而在 90 °C 下, 随热烫时间的延长, 橘皮抗拉强度先增加后减小, 表明橘皮韧性先增加后减小; 在 95 °C 下, 随热烫时间延长橘皮抗拉强度减小, 橘皮逐渐失去韧性。因此, 在温度较低时, 延长漂烫时间能增强橘皮韧性; 而在较高温度下, 漂烫时间过长会导致韧性丧失 (95 °C, 70 s, $\sigma = 0.08 \pm 0.05$ MPa)。橘皮抗拉强度

最大时橘皮抗拉性能最优。因此, 85 °C 下热烫 70 s 橘皮韧性达到峰值, 去皮过程中能将橘皮较完整地剥离下来, 提高去皮率, 而热烫过度会导致橘皮失去原有质地而失去价值。85 °C 热烫 70 s 时, 柑橘刺穿力较小, 表明该热烫工艺下, 橘皮硬度较小而抗拉强度较大, 是一个可取的热烫工艺。

2.2 橘皮扫描电镜图

本文通过观察柑橘表皮热烫前后的扫描电镜图, 研究其微观结构的改变。

柑橘果皮蜡质由无定型蜡质层及散布其上大小不

同的不规则小圆片状蜡质晶体组成。而植物蜡质层具有异构化^[12]的特点,温度和水分等环境因素均会影响其生物力学特性。将热烫前后柑橘果皮蜡质层和白皮层分别进行电镜观察,研究发现新鲜橘皮蜡质层平整,组织之间空隙大,而热烫后橘皮蜡质层成块状,组织之间空隙变小,这是因为在热条件下蜡质呈“熔融状”,冷却后重新定型,形成不规则状态。柑橘果皮白皮层是由果胶、纤维素等结构性多糖组成的。试验观察到新鲜橘皮白皮层纤维呈网状排列,纤维素微纤丝纵横交错,而热烫后原果胶转化为水溶性果胶,白皮层经纬结构被破坏,纤维之间黏连。韩涛等人^[13]表明,热烫能使水果和蔬菜细胞壁中高分子量果胶聚糖溶解性增大而流失,可能造成果蔬细胞壁中“纤维素微纤丝-半纤维素-果胶质”的经纬结构的破坏,因此橘皮热烫前后力学性质的改变可能与橘皮微观结构改变有关。

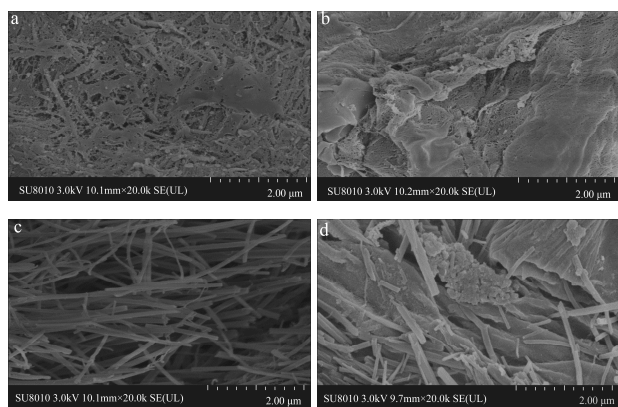


图1 漂烫前后橘皮扫描电镜图

Fig.1 Scanning electron micrographs of citrus peel before and after blanching

注: a, 新鲜柑橘皮蜡质层; b, 热烫后柑橘皮蜡质层; c, 新鲜柑橘皮白皮层; d, 热烫后柑橘皮白皮层。

2.3 热烫对橘肉感官评价的影响

GB/T 13210-2014 中提到,柑橘罐头滋味、气味等均是其重要的感官指标。实验针对 85 °C 下不同热烫时间和 70 s 时不同热烫温度处理所得的去皮柑橘进行感官评价,结果如图 2。

柑橘果实风味物质包括糖、酸及芳香物质等。由图 2A 可知,随漂烫温度上升,橘肉果香增加,口感变好。漂烫处理灭活了能产生不良风味的酶,防止质量劣变;且漂烫使得挥发性芳香物质挥发,改善了柑橘口感。温度对果香的影响显著,但对口感的影响不显著,这与 Pinheiro 等人^[14]的研究结果是一致的。去皮后白皮层覆盖率随温度上升显著降低,且在 85 °C 以上漂烫时具有显著性差异,但温度达到 90 °C 以上时,再升高温度白皮层覆盖率下降不明显,表明

85~90 °C 是较适宜的漂烫温度。由图 2B 可知,随漂烫时间延长,橘肉果香和口感变好,漂烫 50 s 以上时果香增加显著,但漂烫时间对口感的影响均不显著。去皮柑橘白皮层覆盖率在漂烫 40、50 s 后显著下降,继续延长时间白皮层覆盖率下降不明显。因此,85 °C 漂烫 70 s,柑橘果香和口感增加,且白皮层与果肉的黏连少,去皮效果好。

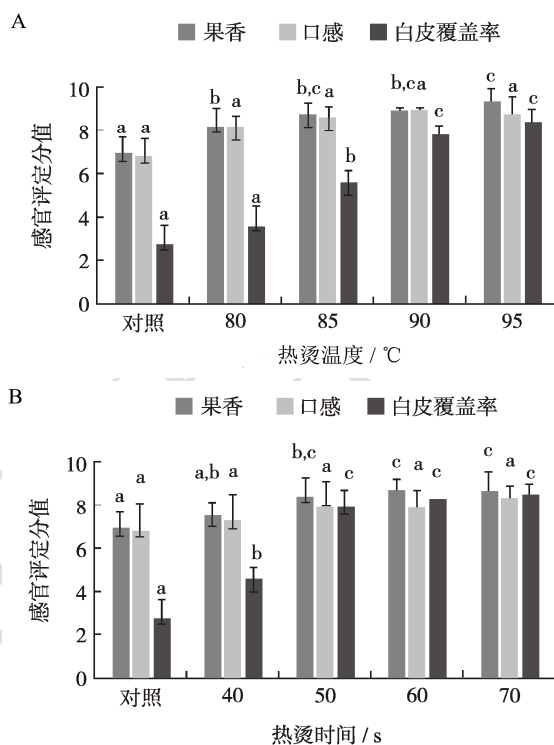


图2 热烫温度、时间对橘肉感官评定的影响

Fig.2 Effect of blanching temperature and time on the sensory evaluation of citrus flesh

注: A 为漂烫温度对感官评价的影响; B 为漂烫时间对感官评价的影响 a、b、c 和 d 分别代表温度、时间在 $p < 0.05$ 水平上对感官评价的显著性影响。

2.4 理化性质测定结果

不同温度、时间漂烫得到的柑橘中,可溶物固形物的含量在 9.25%~9.66%,且无显著性差异,符合 GB/T 13210-2014 中对可溶性固形物含量的规定。还原糖含量在 3.53%~4.64%,漂烫处理对还原糖含量的影响无明显的趋势。可滴定酸的含量在 0.73%~0.79%,漂烫对可滴定酸含量的影响差异性不显著,但温度过高或热烫时间(95 °C, 70 s)过程会导致可滴定酸含量的降低。柑橘果实的糖酸比是影响其风味的重要原因,可滴定酸含量的下降会导致风味寡淡,因此高温(95 °C)长时(70 s)漂烫是不可取的。维生素 C 的含量分别为 $29.38 \times 10^{-2} \text{ mg/g}$ ~ $31.08 \times 10^{-2} \text{ mg/g}$,热烫处理对 Vc 含量的影响不大。因此,热烫对果实营养成

分影响不大。

表 4 不同处理固形物含量测定结果

Table 4 Solid content in different treatments (%)

时间/s	对照	温度/°C			
		80	85	90	95
40	9.66±0.06	9.55±0.07	9.45±0.07	9.35±0.07	9.66±0.07
50		9.70±0.00	9.45±0.07	9.55±0.07	9.35±0.35
60		9.40±0.00	9.45±0.35	9.45±0.21	9.35±0.07
70		9.45±0.07	9.56±0.07	9.30±0.14	9.25±0.35

表 5 不同处理还原糖含量测定结果

Table 5 Reducing sugar content in different treatments (%)

时间/s	对照	温度/°C			
		80	85	90	95
40	4.35±1.00	4.34±0.10	4.07±0.22	4.42±0.14	4.26±0.06
50		4.64±0.14	4.28±0.10	4.42±0.15	4.36±0.09
60		4.21±0.21	4.21±0.26	4.15±0.19	4.16±0.17
70		4.33±0.07	4.30±0.10	3.53±0.42	4.08±0.15

表 6 不同处理可滴定酸含量测定结果

Table 6 Titration acid content in different treatments (%)

时间/s	对照	温度/°C			
		80	85	90	95
40	0.79±0.01	0.76±0.04	0.75±0.03	0.74±0.02	0.75±0.03
50		0.75±0.04	0.73±0.12	0.73±0.01	0.74±0.01
60		0.77±0.02	0.75±0.01	0.75±0.01	0.74±0.02
70		0.74±0.01	0.77±0.02	0.77±0.02	0.74±0.01

表 7 不同处理 Vc 含量比较

Table 7 Vc content in different treatments (×10⁻² mg/g)

时间/s	对照	温度/°C			
		80	85	90	95
40	30.25±0.91	29.93±0.73	29.72±0.97	30.43±0.92	30.30±0.64
50		29.65±0.65	31.08±0.68	29.38±1.06	29.84±0.91
60		29.38±1.14	30.14±0.53	29.98±0.75	30.37±0.69
70		29.45±0.50	30.04±0.60	29.20±1.03	29.91±0.73

3 结论

新鲜柑橘果皮较硬、脆性大，且果皮与果肉结合紧密，去皮过程中易断裂导致去净率不高，白皮层残留较多等问题。柑橘经前处理后漂烫能使柑橘整果刺穿力减小，橘皮韧性增加，85 °C，70 s 漂烫时刺穿力 (8.68±0.04 N) 较小，且韧性 (σ=0.18±0.05 MPa) 最好，表明漂烫能有效降低划皮力，对辊去皮时果皮抗拉强度大，易完整地剥离；柑橘感官评价表明，漂烫后橘皮与果肉黏连减小，有利于完整去除果皮，且白皮层覆盖率较低，柑橘果香增加、口感变好，且理化性质均较好；扫描电镜结果表明：漂烫能通过橘皮蜡

质相变，改变蜡质层组织状态和白皮层中“纤维素-果胶”的交联结构改变降低橘皮硬度，增加果皮韧性，增强去皮效果。

参考文献

- [1] Ascari C, Ascari L. Machine for the industrial peeling of citrus fruits: U.S. Patent 6,796,224 [P]. 2004-9-28
- [2] Polk R. Means for peeling citrus fruit: U.S. Patent 1,452,930 [P]. 1923-4-24
- [3] 孙震鹏,孙振华,孙振国,等.仿形喂入辊式桔子剥皮机[P].陕西:CN103829353A,2014-06-04
SUN Zhen-peng, SUN Zhen-hua, SUN Zhen-guo, et al.

- Copying feed roller orange peeling machine [P]. Shanxi: CN103829353A, 2014-06-04
- [4] Li Z, Yang H, Li P, et al. Fruit biomechanics based on anatomy: a review [J]. *International Agrophysics*, 2013, 27(1): 97-106
- [5] Gyasi S, Fridley R B, Chen P. Elastic and viscoelastic poisson's ratio determination for selected citrus fruits [J]. *Transactions of the ASAE [American Society of Agricultural Engineers] (USA)*, 1981, 24(3): 747-750
- [6] Gyasi S, Fridley R B, Chen P. Elastic and viscoelastic Poisson's ratio determination for selected citrus fruits [J]. *Transactions of the ASAE*, 1981, 24(3): 747-0750
- [7] 陈红,余豹,王振亚,等.宽皮柑橘剥皮机对辊式剥皮装置工艺参数优化[J].*农业工程学报*,2015,31(4):293-298
CHEN Hong, YU Bao, WANG Zhen-ya, et al. Process parameter optimization of dual-roller peeling device for satsuma mandarin peeling machine [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(4): 293-298
- [8] 张海燕,张永茂,康三江,等.漂烫对速冻苹果质地的影响[J].*中国酿造*,2015,34(5):101-105
ZHANG Hai-yan, ZHANG Yong-mao, KANG San-jiang, et al. Effects of blanching on texture of frozen apple [J]. *China Brewing*, 2015, 34(5): 101-105
- [9] Zid M B, Dhuique-Mayer C, Bellagha S, et al. Effects of blanching on flavanones and microstructure of *Citrus aurantium* peels [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2015, 8(11): 2246-2255
- [10] Ng A, Waldron K W. Effect of cooking and pre-cooking on cell-wall chemistry in relation to firmness of carrot tissues [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1997, 73(4): 503-512
- [11] Ahmed E M, Martin F G, Fluck R C. Damaging stresses to fresh and irradiated citrus fruits [J]. *Journal of Food Science*, 1973, 38(2): 230-233
- [12] Domínguez E, Cuartero J, Heredia A. An overview on plant cuticle biomechanics [J]. *Plant Science*, 2011, 181(2): 77-84
- [13] 韩涛,李丽萍,艾启俊.漂烫对蔬菜果实质地的影响及低温漂烫作用的机理[J].*食品工业科技*,2003,24(2):89-92
HAN Tao, LI Li-ping, AI Qi-jun. Effects of blanching on the texture of fruits and vegetables and the mechanism of low temperature blanching [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2003, 24(2): 89-92
- [14] Pinheiro A L, Jacomino A P, Arruda M C, et al. Duration of hydrothermal treatment and peeling of Murcott' tangor [J]. *Scientia Agricola*, 2011, 68(6): 638-642