

基于高压微通道粉碎技术的全藕汁制备及其稳定性研究

李娟^{1,3},葛斌权^{1,3},许雪儿^{1,3},尹仁文^{1,3},鲁振杰^{1,3},胡卫成²,陈阳^{1,3},冯芾²,余培斌³,陈正行^{1,3*}

1(江南大学 食品学院,江苏 无锡,214122)

2(江苏省环洪泽湖生态农业生物技术重点实验室(淮阴师范学院),江苏 淮安,223300)

3(粮食发酵工艺与技术国家工程实验室(江南大学),江苏 无锡,214122)

摘 要 通过利用高压微通道粉碎技术对莲藕进行超微粉碎,采用无硫护色剂对莲藕进行护色,并选用复配稳定剂以提高全藕汁产品的悬浮稳定性,进而制备得到口感好的全藕汁产品。实验结果表明,当无硫护色剂选择 0.6% 柠檬酸、0.6% 抗坏血酸和 0.06% 半胱氨酸复配时,护色时间为 10 min,所得的全藕汁亮度值最高 L^* 值为 91.6。当高压微通道粉碎压力为 60 MPa,粉碎次数 2 次时,所制备的全藕汁平均粒径可达 10 μm 左右。当黄原胶的添加量为 0.12%、CMC-Na 为 0.12% 和果胶为 0.04% 时,全藕汁的稳定系数为 0.874 且悬浮稳定性最好。

关键词 全藕汁;高压微通道粉碎技术;无硫护色;稳定性

莲藕富含碳水化合物、蛋白质、维生素、矿物质和膳食纤维等,具有润肠通便和止渴去热等功效,为药食同源食品。但因其含水量较高难于贮藏,易发生褐变腐烂。因此,寻求一种莲藕深加工技术及开发相关产品迫在眉睫。目前,市场上主要以莲藕汁和鲜食莲藕片为主,莲藕汁多为用压榨法制备的清汁饮料,压榨过程中产生 30% ~ 40% 的藕渣大多作废弃处理,藕渣中 80% 的膳食纤维被浪费^[1]。

莲藕中富含多酚等抗氧化物质,因此在加工过程中极易发生褐变,影响莲藕汁产品品质^[2]。目前,国内莲藕生产加工中多用含 SO_2 的护色剂(如亚硫酸盐)护色^[3]。虽然含硫护色剂护色效果较好,但产品中会有 SO_2 的残留,甚至超标,这不仅严重影响莲藕及其藕制品的风味和口感,而且存在食品安全隐患^[3]。因此,开发无硫护色剂配方以保证食品安全尤为重要。

与传统的压榨、磨浆、均质和胶体碾磨等湿法加工技术相比,微射流技术的先进性主要表现在:(1)其超细的粉碎效果,超越了传统湿法粉碎粒度一个数量等级;(2)高密度能量聚焦方式,使产生的能耗大幅下降;(3)粉碎、均质、乳化一步完成,简化了传统工艺过程;(4)闭路的工艺过程,阻隔了环境污染的

可能;5)连续流的设备构成,提高了工艺过程的安全性。该技术的推广应用,可以大幅提升食品工业的工艺水平、简化工艺流程、提高生产效率、降低生产能耗^[4]。

本研究采用高压微通道粉碎技术,对整颗莲藕进行微粉碎,进而制备全藕汁产品。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

新鲜莲藕、食品级柠檬酸、白砂糖和纯净水均购于本地超市。黄原胶、果胶、阿拉伯胶等,CP Kelco 公司;海藻酸钠、羧甲基纤维素钠、抗坏血酸和半胱氨酸,上海国药集团。

1.2 仪器设备

RM-TD 301 型去皮机,广东佛山市顺德区韩泰电器有限公司;DJ-300 型切分机,河北邢台市鼎佳机械制造有限公司;JP-450 型多功能粉碎机,浙江永康市久品电器有限公司;高压微通道粉碎设备,上海住本环境科技有限公司;PT-20C-R 管板式组合式超高温杀菌机,日本 Powerpoint International 公司;WFZ UV-2000 型紫外可见光分光光度计,上海尤尼柯仪器有限公司。BT-9300ST 激光粒度分析仪,丹东百特仪器有限公司;UltraScan Pro-1166 高精度分光测色仪,美国 Hunterlab 公司;Avanti J-26XP 型高效离心机,美国贝克曼库尔特有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 全藕汁制备

第一作者:副研究员(陈正行教授为通讯作者,E-mail:zx-chen2007@126.com)。

基金项目:国家自然科学基金青年项目(31501407);江苏省环洪泽湖生态农业生物技术重点实验室开放课题(HZHL AB1701);江南大学自主科研计划青年基金项目(JUSRP11705)

收稿日期:2018-09-25,改回日期:2018-11-12

1.3.1.1 预处理

将新鲜莲藕洗净并进行去坏处理。然后用切分机将莲藕切成 5 mm×5 mm×5 mm 左右的藕丁。

1.3.1.2 护色

称取藕丁 1 kg 直接倒入提前配好并煮沸的 2 kg 无硫护色液中一起煮沸 10 min 进行漂烫灭酶。其中,无硫护色液选取柠檬酸、抗坏血酸和半胱氨酸,并进行护色单因素实验和正交试验,以亮度值 L^* 值来评价护色液的护色效果。

1.3.1.3 打浆和调味

将护色好的藕丁连同在护色液中加入 8% 的白砂糖进行糖酸比调配,并用打浆机以 1 200 r/min 粉碎 2 min^[5]。

1.3.1.4 高压微通道粉碎

藕浆经高压微通道粉碎设备进行微细粉碎。分别选取粉碎压力为 30、40、50、60 MPa,粉碎次数分别为 1、2、3 次,研究高压微通道粉碎压力和粉碎次数对全藕汁粒径的影响。

1.3.2 全藕汁粒径测定

将全藕汁样品逐滴加入激光粒度分布仪样品池中,直至仪器显示遮光度范围在 15%~25%,由系统给出粒子的平均粒径分布。激光功率为 75 MW,每个样品重复 3 次^[6]。

1.3.3 全藕汁色泽测定

全藕汁色差测量使用高精度分光测色仪进行测定。仪器经黑白板校准后,将全藕汁导入封口袋中测定样品亮度值 L^* 。每个样品平行测定 8 次后取平均值^[7]。

1.3.4 全藕汁稳定性实验

使用多种稳定剂(黄原胶、卡拉胶、果胶、阿拉伯胶、海藻酸钠和羧甲基纤维素钠)对全藕汁进行稳定化处理,以稳定系数和离心沉淀率为指标评价稳定效果,通过方差分析,确定最优稳定剂添加配比。

1.3.4.1 稳定系数的测定

将 30 mL 全藕汁样品置于离心管中,5 000 r/min 离心 15 min。离心后静置 10 min,吸取上清液,在 420 nm 波长处测定吸光度值,离心后的吸光度值(A_1)与离心前的吸光度值(A_0)的比值即稳定系数。稳定系数越大,表明全藕汁的稳定性越好。稳定系数计算如公式(1)所示^[8]:

$$\text{稳定系数} = \frac{A_1}{A_0}$$

(1)

1.3.4.2 离心沉淀率的测定

将 30 mL 藕汁样品置于离心管中,5 000 r/min 离

心 15 min。离心后静置 10 min,除去上清液,测量残余物质质量,并按公式(2)计算离心沉淀率^[9]。悬浮沉淀物越多,即沉淀率越高,表明产品越不稳定。

$$\text{沉淀率}/\% = \frac{\text{沉淀质量}}{\text{原样品质量}} \times 100$$

(2)

1.3.5 数据统计与分析

采用 Origin 9.0 软件对数据进行图形处理;采用 SPSS 20.0 和 Excel 软件对数据进行显著性分析, $P < 0.01$ 为极显著差异, $P < 0.05$ 为显著差异。

2 结果与讨论

2.1 全藕汁无硫护色实验

2.1.1 全藕汁无硫护色单因素实验

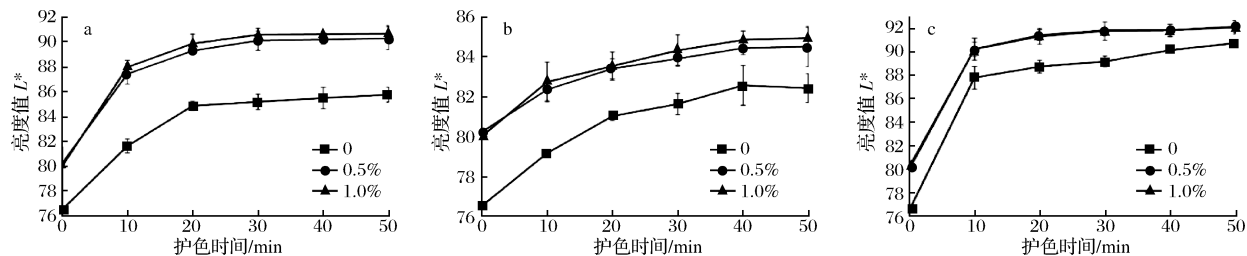
柠檬酸可降低体系 pH 值,降低氧气溶解度,且其中的羰基与多酚氧化酶中的铜离子可产生比较强的螯合作用,因此可抑制多酚氧化酶的活性,进而起到护色的效果^[10];抗坏血酸具有强还原性,可抑制酚类物质氧化成醌类物质,起到抑制褐变的作用^[11]。半胱氨酸可与多酚氧化酶活性中心的铜离子结合,从而抑制酶的活力,达到抑制褐变的效果^[12]。由图 1-a 可知,随着柠檬酸添加量的增加(0、0.5%、1.0%),全藕汁的亮度值升高;当柠檬酸添加量增加至 1.0% 时,全藕汁亮度值 L^* 升高不显著($P > 0.05$)。因此,单纯采用柠檬酸护色,其添加量为 0.5% 时,有较好的护色效果。且随着护色时间的延长,全藕汁的亮度值 L^* 逐渐增大;护色时间超过 20 min,全藕汁亮度值 L^* 虽仍逐渐升高,但升高不显著($P > 0.05$)。综上,当柠檬酸浓度为 0.5%,护色时间为 10 min,即可达到较好的护色效果。此外,当抗坏血酸浓度为 0.5%,护色时间为 10 min(图 1-b),当半胱氨酸浓度为 0.05%,护色时间为 10 min(图 1-c),即可达到较好的护色效果。

2.1.2 全藕汁无硫护色正交试验

基于单因素实验结果,全藕汁无硫护色液正交试验因素水平及其护色实验结果分别如表 1 和表 2 所示^[13]。

表 1 全藕汁无硫护色液正交试验因素水平表
Table 1 Orthogonal experimental factors of whole lotus root juice anti-browning without sulfur

水平	因素		
	柠檬酸(A)/%	抗坏血酸(B)/%	半胱氨酸(C)/%
1	0.4	0.4	0.04
2	0.5	0.5	0.05
3	0.6	0.6	0.06



a-柠檬酸;b-抗坏血酸;c-半胱氨酸

图 1 全藕汁无硫护色单因素实验

Fig. 1 Single factor experiment of whole lotus-root juice sulfur-free anti-browning

表 2 全藕汁无硫护色正交试验方案与结果

Table 2 Orthogonal experiment design and results of whole lotus root juice anti-browning without sulfur

试验号	A	B	C	空列	亮度值 L^*
1	3	1	2	1	90.9
2	2	2	2	2	90.1
3	1	2	3	3	90.9
4	3	3	3	1	91.6
5	2	1	3	2	90.1
6	1	3	2	3	90.4
7	3	2	1	1	89.8
8	1	1	1	2	89.2
9	2	3	1	3	89.3

对全藕汁无硫护色正交试验进行因素极差分析可得(表 3),影响全藕汁无硫护色效果的主次因素为 $C > A > B$,全藕汁无硫护色最优方案为 $A_3B_3C_3$ 。即当全藕汁无硫护色剂选择 0.6% 柠檬酸、0.6% 抗坏血酸和 0.06% 半胱氨酸复配时,护色时间为 10 min,所得的全藕汁亮度值最高, L^* 值为 91.6。

表 3 全藕汁无硫护色正交试验因素极差分析

Table 3 Rang analysis of orthogonal experimental of whole lotus root juice anti-browning without sulfur

指标	A	B	C	空列
K_1	270.5	270.2	268.4	272.4
K_2	269.5	270.8	271.4	269.3
K_3	272.4	271.3	272.3	270.6
亮度值 L^*				
k_1	90.2	90.1	89.5	90.8
k_2	89.8	90.3	90.5	89.8
k_3	90.8	90.4	90.8	90.2
极差 R	2.9	1.1	4.0	3.0
因素主次 $C > A > B$				
最优方案 $A_3B_3C_3$				

2.2 高压微通道粉碎压力和次数对全藕汁平均粒径的影响

利用高压微通道粉碎技术对莲藕进行粉碎,其处理压力和次数对全藕汁平均粒径的影响如表 4 所示。

表 4 高压微通道粉碎压力和次数对全藕汁平均粒径的影响

Table 4 Effects of pressure and cycles of high-pressure microchannel on mean particle size of whole lotus root juice

压力/ MPa	粒径/ μm		
	第 1 次	第 2 次	第 3 次
30	118.40 ± 0.95^a	97.46 ± 0.37^b	82.91 ± 0.24^c
40	76.15 ± 0.11^a	67.43 ± 1.41^b	58.29 ± 0.67^c
50	47.44 ± 1.41^a	36.98 ± 1.41^b	25.50 ± 1.41^c
60	17.84 ± 0.60^a	10.46 ± 1.33^b	9.53 ± 0.17^b

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

随着高压微通道粉碎压力和次数的提高,粉碎程度增加,物料汁平均粒径逐渐减小^[14]。当高压微通道粉碎压力为 60 MPa 时,且处理次数为 2 次时,全藕汁平均粒径为 10.46 μm ,处理次数为 3 次时,虽全藕汁的平均粒径降至 10 μm 以下(9.53 μm),但较处理 2 次的全藕汁平均粒径差异不显著($P > 0.05$)。因此,综合考虑高压微通道粉碎设备的能耗以及全藕汁产品品质要求,高压微通道粉碎压力在 60 MPa 下处理 2 次,全藕汁既可达到较细的粉碎粒径。

2.3 不同复合稳定剂对全藕汁稳定性的影响

考虑到全藕汁中含有大量的膳食纤维,如果不添加稳定剂,体系在长时间贮藏过程中会产生絮凝和沉淀。因此,针对全藕汁体系,选取 6 种最为常见的稳定剂进行筛选并进行复配实验,确定稳定剂配方。

2.3.1 全藕汁稳定性单因素实验

通过选取离心沉淀率和稳定性系数为考察全藕汁稳定性优劣的指标,分别选取 0.1% 黄原胶、卡拉胶、果胶、阿拉伯胶、羧甲基纤维素钠(CMC-Na)和海藻酸钠进行全藕汁稳定性单因素实验。实验结果如表 5 所示,添加有 0.1% 黄原胶和 CMC-Na 的全藕汁离心沉淀率小于未添加稳定剂的对照组,说明 0.1% 黄原胶和 CMC-Na 减少了全藕汁的沉淀,提高了全藕汁的悬浮稳定性。此外,添加 0.1% 黄原胶、果胶和

CMC-Na 全藕汁的稳定系数显著高于未添加稳定剂的对照组,表明 0.1% 的黄原胶、果胶和 CMC-Na 可以有效提高全藕汁的悬浮稳定性。有大量研究表明,黄原胶、果胶和 CMC-Na 通过体系黏度,并形成水化层阻碍粒子间的相互聚集等来提高果蔬汁以及饮料的悬浮稳定性^[15-19]。综上,选取黄原胶、果胶和 CMC-Na 三种稳定剂进行全藕汁稳定性正交试验。

表 5 不同稳定剂对全藕汁稳定性影响单因素实验

Table 5 Single factor experiment of effects of different stabilizer on whole lotus root juice		
稳定剂种类	离心沉淀率	稳定系数
对照	0.147 ± 0.007	0.093 ± 0.006
黄原胶	0.142 ± 0.004	0.532 ± 0.025
卡拉胶	0.186 ± 0.005	0.085 ± 0.003
果胶	0.153 ± 0.007	0.121 ± 0.005
阿拉伯胶	0.159 ± 0.020	0.094 ± 0.001
CMC-Na	0.118 ± 0.012	0.135 ± 0.004
海藻酸钠	0.202 ± 0.010	0.098 ± 0.003

2.3.2 全藕汁稳定性正交试验

根据单因素实验结果,选择黄原胶、CMC-Na、果胶进行复配^[17]。选择 3 因素 4 水平 L₁₆(3⁴) 正交表进行正交试验设计,因素水平表如表 6 所示。

表 6 全藕汁稳定性正交试验因素水平表

Table 6 Orthogonal experimental factors of whole lotus root juice stabilization			
水平	因素		
	黄原胶(A)/%	CMC-Na(B)/%	果胶(C)/%
1	0.06	0.06	0.04
2	0.08	0.08	0.06
3	0.10	0.10	0.08
4	0.12	0.12	0.10

从表 7 可知,影响全藕汁稳定系数的因素主次顺序为:黄原胶 > 果胶 > CMC-Na。最优的全藕汁复配稳定剂组合为黄原胶₄CMC-Na₄ 果胶₁,即当黄原胶的添加量为 0.12%、CMC-Na 为 0.12% 和 0.04% 果胶时,全藕汁的稳定系数为 0.874,悬浮稳定性最好。

表 7 极差分析表

Table 7 Range analysis

处理号	黄原胶	CMC-Na	果胶	空列 1	空列 2	稳定系数
1	1	1	1	1	1	0.523
2	1	2	2	2	2	0.587
3	1	3	3	3	3	0.575
4	1	4	4	4	4	0.482
5	2	1	2	3	4	0.652
6	2	2	1	4	3	0.706

续表 7

处理号	黄原胶	CMC-Na	果胶	空列 1	空列 2	稳定系数
7	2	3	4	1	2	0.672
8	2	4	3	2	1	0.704
9	3	1	3	4	2	0.753
10	3	2	4	3	1	0.757
11	3	3	1	2	4	0.761
12	3	4	2	1	3	0.796
13	4	1	4	2	3	0.821
14	4	2	3	1	4	0.726
15	4	3	2	4	1	0.811
16	4	4	1	3	2	0.874
稳定系数	K ₁	2.167	2.749	2.864	2.717	2.795
	K ₂	2.734	2.776	2.846	2.873	2.886
	K ₃	3.067	2.819	2.758	2.858	2.898
	K ₄	3.232	2.856	2.732	2.752	2.621
	k ₁	0.542	0.687	0.716	0.679	0.699
	k ₂	0.684	0.694	0.712	0.718	0.722
	k ₃	0.767	0.705	0.690	0.715	0.725
	k ₄	0.808	0.714	0.683	0.688	0.655
	R	0.266	0.027	0.033	0.039	0.069
因素主次		黄原胶 > 果胶 > CMC-Na				
最佳组合		黄原胶 ₄ CMC-Na ₄ 果胶 ₁				

3 结论

全藕汁可保留莲藕全部的风味和营养价值,经高压微通道粉碎技术对莲藕纤维进行超微粉碎,并采用无硫护色剂对莲藕进行护色,不仅提高了产品的口感,还解决了莲藕易褐变的问题,提高了产品的安全性。微通道超微粉碎技术,粉碎效率高、能耗低,特别适用于富含膳食纤维物料的粉碎,突破了传统粉碎方式的局限,有利用工业化生产使用。此外,采用亲水胶体稳定化技术,进一步提高了富含膳食纤维饮品的稳定性。

参 考 文 献

[1] 朱定和,夏文水. 莲藕食品的加工现状与发展[J]. 食品工业科技,2002,23(8): 99-100.

[2] 刘军波,张慙,任志灿. 莲藕汁防褐变预处理工艺的研究[J]. 食品与生物技术学报,2010,29(6): 829-835.

[3] 魏公铭. 无硫护色莲藕保鲜技术研发获成功[N]. 中国食品质量报,2004-03-27(7).

[4] 李娟,许雪儿,余培斌,等. 高压微通道射流技术对谷物超细微粉碎及其减菌作用[J]. 食品与发酵工业,2017,43(12): 44-48.

[5] 张丽华,顾振新,韩永斌,等. 莲藕复合果蔬汁配比优化方法探讨[J]. 食品与发酵工业,2006,32(3): 129-

- 131.
- [6] GENOVESE D B, LOZANO J E. Effect of cloud particle characteristics on the viscosity of cloudy apple juice [J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(4): 641–645.
- [7] ROCIO F V, STINCO C, HERNANZ D, et al. Colour training and colour differences thresholds in orange juice [J]. *Food Quality and Preference*, 2013, 30(2): 320–327.
- [8] 徐伟,王贵新. 均质对毛酸浆果汁稳定性的影响及其粒径形态表征[J]. *食品科学*, 2016, 37(4): 68–72.
- [9] 李小鑫,罗昱,王晓芸,等. 浑浊型刺梨果汁饮料配方及其稳定性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(7): 216–222.
- [10] 金定樑,夏文水. 柠檬酸亚锡二钠对鲜切莲藕护色作用的研究[J]. *食品与机械*, 2011, 27(4): 129–133.
- [11] 程双,胡文忠,马跃,等. 鲜切甘薯酶促褐变调控的研究[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(6): 158–160.
- [12] 吴光旭,张长峰. 复合护色液对鲜切莲藕护色效果研究[J]. *食品科技*, 2006, 27(5): 111–114.
- [13] 葛斌权,李娟,陈正行,等. 马铃薯生全粉无硫护色及其流变特性研究[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(7): 26–37.
- [14] 李娟,许雪儿,陈正行. 高压微通道超细微粉碎技术制备糯米粉及性质研究[J]. *中国粮油学报*, 2017, 25(10): 151–155.
- [15] GENOVESE D B, LOZANO J E. The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices [J]. *Food Hydrocolloids*, 2001, 15(1): 1–7.
- [16] KARIMI N, SANI AM, POURAHMAD R. Influence of carboxy methyl cellulose (CMC) and pectin on rheological, physical stability and sensory properties of milk and concentrated jujuba mixture [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2016, 10(2): 396–404.
- [17] PAQUET E, HUSSAIN R, BAZINET L, et al. Effect of processing treatments and storage conditions on stability of fruit juice based beverages enriched with dietary fibers alone and in mixture with xanthan gum [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 55(1): 131–138.
- [18] WICKER L, ACKERLEY J L, HUNTER J L. Modification of pectin by pectinmethylesterase and the role in stability of juice beverages [J]. *Food Hydrocolloids*, 2003, 17(6): 809–814.
- [19] TAHERIAN A R, FUSTIER P, BRITTEN M. Rheology and stability of beverage emulsions in the presence and absence of weighting agents: A review[J]. *Food Biophysics*, 2008, 3(3): 279–286.
- [20] 都宇. 稳定剂对乳酸菌饮料的稳定性研究[J]. *粮食与食品工业*, 2015(22): 53–62.

Preparation and stability of whole lotus root juice based on high-pressure microchannel grinding technology

LI Juan^{1,3}, GE Bingquan^{1,3}, XU Xueer^{1,3}, YING Renwen^{1,3},
LU Zhengjie^{1,3}, HU Weicheng², CHEN Yang^{1,3}, FENG Fu²,
YU Peibing³, CHEN Zhengxing^{1,3*}

1 (School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

2 (Jiangsu Key Laboratory for Eco-Agricultural Biotechnology around Hongze Lake (Huaiyin Normal University), Huai'an 223300, China)

3 (National Engineering Laboratory for Cereal Fermentation Technology (Jiangnan University), Wuxi 214122, China)

ABSTRACT The whole lotus root juice with good taste was prepared by high-pressure microchannel grinding technology. Sulfur-free anti-browning agents were adopted to protect its color, and a compounded stabilizer was used to improve the suspension stability of the juice. The results showed that when the sulfur-free anti-browning agents (0.6% citric acid, 0.6% ascorbic acid, and 0.06% cysteine, all of these concentrations were mass fraction) were used for 10 min, the brightness value of the whole lotus root juice was the highest ($L^* = 91.6$). When the pressure of high pressure microchannel was 60 MPa and treated the lotus root for twice, the average diameter of the whole lotus root juice reached about 10 μm . Besides, when the optimal stabilizer (0.12% xanthan gum, 0.12% sodium carboxymethylcellulose (CMC-Na), and 0.04% pectin, all of these concentrations were mass fraction) was used, the stability coefficient of the whole lotus root juice was 0.874, and its suspension stability was the best.

Key words whole lotus-root juice; high-pressure microchannel grinding technology; sulfur-free anti-browning; stabilization