

酶法液化火龙果果浆的工艺研究

张月颖¹, 李国胜¹, 白新鹏¹, 杨慧强²

(1. 海南大学食品学院, 海南海口 570228) (2. 海南北纬十八度果业有限公司, 海南东方 572600)

摘要: 本文研究了采用酶解法处理火龙果果浆的影响效果, 并以火龙果果浆处理后的黏度和出汁率为指标, 探讨最佳工艺条件。先进行单因素实验确定温度、时间、酶的添加量、pH 值的最适取值范围, 再通过试验确定单一酶和复合酶种类的最佳选择, 最终使用 L9 (3⁴) 正交试验确定火龙果果浆液化的最佳工艺条件, 并对最佳工艺条件进行验证。研究表明, 在温度为 50 °C、时间为 45 min、各种酶的添加百分含量为 0.07%、pH 值为 4.3 的条件下, 用果胶酶、纤维素酶和半纤维素酶组成的复合酶处理新鲜火龙果果浆为最佳的工艺条件, 处理后的火龙果果浆黏度大幅下降, 出汁率明显提高, 黏度较空白对照下降 170.5 mPa·s, 出汁率提高 14.8%, 且色泽口感保持良好, 且作为调配饮料原料酸度在可接受范围内。

关键词: 酶法; 火龙果; 黏度; 出汁率

文章编号: 1673-9078(2017)11-165-170

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.11.024

The Processing of Enzymatic Liquefaction of Pitaya Juice

ZHANG Yue-ying¹, LI Guo-sheng¹, BAI Xin-peng¹, YANG hui-qiang²

(1. Food College, Hainan University, Haikou 570228, China)

(2. 18 Degrees North Latitude Fruit Industry, Dongfang 572600, China)

Abstract: The effects of enzymatic hydrolysis on the fruit pulp were investigated in this study. The optimum conditions were investigated based on the viscosity and juice yield of the pitaya juice. On the base of single factor analysis, the suitable temperature, time, enzyme dosage and the best value range of pH value were determined, and then the best choice of single enzyme and compound enzymes were confirmed. Eventually, the optimum technical conditions for liquidizing pitaya juice were confirmed by L9 (3⁴) orthogonal analysis and the optimum technological conditions were verified. The combination of pectinase, cellulase and hemicellulase was used under the conditions of temperature 50°C, time 45 min, enzyme adding quantity 0.07% and pH value 4.3. Under these conditions, the pitaya purees viscosity was sharply decreased by 170.5 mpa·s and juice yield was obviously increased by 14.8%. Besides, the pitaya juice had good color and acceptable taste.

Key words: enzyme method; pitaya; viscosity; juice yield

火龙果(*Hylocereus undatus*)为仙人掌科三角柱属, 原产于中美洲热带沙漠地区, 1990年引入台湾, 并在广西、广东、福建、海南和贵州等地广泛种植^[1,2]。火龙果富含甜菜苷类色素, 具有抑制痴呆症、降低胆固醇和预防细胞变性等功效^[3], 同时富含矿物质、维生素、膳食纤维, 并且低糖、低脂肪, 含有可以解毒、增强血管能力的植物性白蛋白, 是一种适合加工的纯天然的具有营养保健性的功能食品原料^[4,5]。然而火龙果中含有较多胶质物质, 原浆黏度较大并出汁率低, 导致火龙果饮料口感差、调配不均匀和易分层等问题, 影响火龙果果汁饮料的调配和品质, 这是火龙果果浆加工所面临的主要问题之一, 快速有效液化火龙果果浆同时保持火龙果原有营养价值有利于火龙果

加工产业的发展。

火龙果不仅含有大量的果胶, 还含有约 2.33% 的膳食纤维, 远高于其他水果^[2], 这也许是火龙果果浆粘稠、出汁率低的主要原因。果胶酶是能分解果胶物质的一类酶的总称, 广泛应用于果汁生产中, 可降解半乳糖醛酸, 使其成为小分子物质, 从而降低果浆的黏度并提高出汁率、提高澄清度^[6], 已应用于西番莲、荔枝、草莓和黑莓等水果果汁的澄清技术^[7-10]。

果胶酶、纤维素酶与半纤维素酶, 具有协同作用, 根据丁长河等人的研究, 果胶酶和纤维素酶处理的马铃薯浆可以显著降低黏度^[11]。因为考虑到火龙果中含有大量果胶、纤维素与半纤维素, 试验主要通过果胶酶、纤维素酶和半纤维素酶酶解来降低火龙果果浆黏度, 在试验前参考周增群等人对火龙果清汁的研究^[12], 进行预实验。试验主要通过单因素试验和正交试验进行条件优化, 最终考虑实际因素确定最佳处理条件。

收稿日期: 2017-05-28

基金项目: 海南大学横向技术开发项目 (HD-KYH-2016007)

作者简介: 张月颖 (1995-), 女, 本科, 研究方向: 食品科学与工程

通讯作者: 李国胜 (1977-), 男, 讲师, 研究方向: 天然产物与食品加工

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

海南产红心火龙果, 品种为九龙红, 九月份采摘于海南北纬 18°果业有限公司火龙果基地; 果胶酶(酶活为 500 u/mg), 纤维素酶(酶活为 50 u/mg), 半纤维素酶(酶活为 20000 u/g), 上海源叶生物科技有限公司; 柠檬酸(食品级)。

1.2 仪器与设备

CU-420 电热恒温水槽, 上海齐欣科学仪器有限公司; SNB-1A 数显粘度计, 上海方瑞仪器有限公司; FE20/EL20 实验室 pH 计, 梅特勒-托利多仪器有限公司; Waring 800 s 组织捣碎机, 上海苑胜仪器设备有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 黏度的测定

因火龙果果浆的黏度与温度关系很大, 故测量黏度与出汁率时必须保证火龙果果浆温度均保持一样, 根据试验温度, 将此温度定为 50℃。使用 SNB-1A 数显粘度计在 50℃条件下测量火龙果果浆黏度, 使用 2 号转子, 转速为 60 r/min。

1.3.2 出汁率的测定

在 50℃条件下使用筛布过滤得到火龙果果汁, 进行出汁率测量, 公式为: $(m_1 - m_2 - m_3) / (m_1 - m_3)$ 。

m_1 : 火龙果果浆重量; m_2 : 火龙果果汁重量; m_3 : 柠檬酸溶液重量。

1.3.3 单因素试验

在 pH 为 3.5、时间 50 min、酶量 0.06% 的条件下, 取温度分别为 40℃、45℃、50℃、55℃和 60℃, 根据工艺流程处理火龙果果浆, 确定最适温度。

在温度 50℃、pH 为 3.5、酶量 0.06% 的条件下, 取时间长度分别为 30 min、45 min、60 min、75 min 和 90 min, 根据工艺流程处理火龙果果浆, 确定最适处理时间长度。

在温度 50℃、时间 60 min、pH 为 3.5 的条件下, 取酶量分别为 0.04%、0.05%、0.06%、0.07% 和 0.08%, 根据工艺流程处理火龙果果浆, 确定最适酶添加量。

在温度 50℃、时间 60 min、酶量 0.06% 的条件下, 取 pH 值分别为 3、3.5、4、4.5 和 5, 根据工艺流程处理火龙果果浆, 确定最适 pH 值。

1.3.4 正交试验

根据单因素试验结果, 各种酶的最适添加量范围

相差不大, 故确定复合酶中果胶酶、纤维素酶与半纤维素酶的比例为 1:1:1, 酶量表示为各个酶种类添加量, 正交试验因素的水平取值见表 1, 正交试验结果和极差分析见表 3, 正交试验方差分析结果见表 4 和表 5。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal design

因素	水平			
	A 温度/℃	B 时间/min	C 酶量/%	D pH 值
1	45	45	0.05	3.7
2	50	60	0.06	4.0
3	55	75	0.07	4.3

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 温度对火龙果果浆液化效果的影响

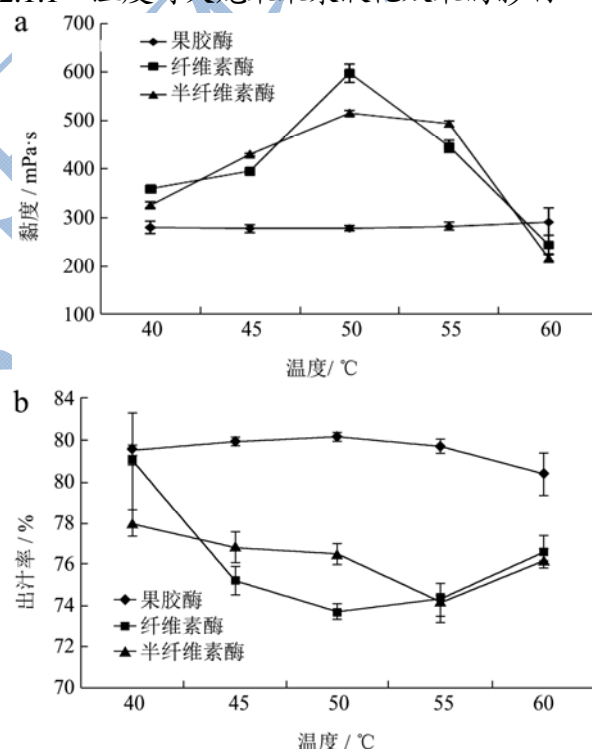


图 1 温度对火龙果果浆液化效果的影响

Fig.1 Effects of temperature on the liquidizing pitaya juice

注: a, 黏度; b, 出汁率。

由图 1 可得, 在 50℃条件下, 果胶酶处理的火龙果果浆黏度最小, 用纤维素酶和半纤维素酶分别处理过的火龙果果浆黏度最大, 分析原因为纤维素酶与半纤维素酶可破坏植物细胞壁, 释放果胶物质, 使黏度增加^[13]。

果胶酶在 50℃时提高火龙果果浆出汁率的效果最好, 在 40℃时, 纤维素酶和半纤维素酶的处理效果

最好。总体来说,在各个温度下,果胶酶的处理效果明显优于纤维素酶和半纤维素酶的处理效果。

2.1.2 时间对火龙果果浆液化效果的影响

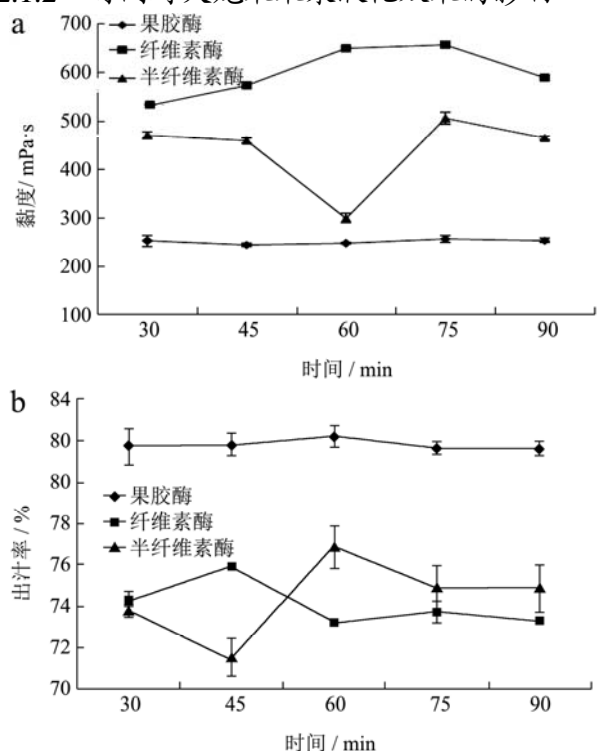


图2 时间对火龙果果浆液化效果的影响

Fig.2 Effects of time on the liquidizing pitaya juice

注: a, 黏度; b, 出汁率。

由图2可得,果胶酶处理后45 min,反应基本完成,黏度不再变化,处理60 min时,半纤维素酶黏度大幅度下降,75 min时,半纤维素酶和纤维素酶黏度最大。因所处理火龙果果浆为火龙果去皮后直接粉碎所得,故果浆内含有大量破碎火龙果果籽,推测在纤维素酶和半纤维素酶处理的前60 min内,二种酶主要分解果肉中的纤维素,处理60 min后,果肉中大部分的纤维素和半纤维素被分解完成,纤维素酶和半纤维素酶主要分解果籽中的纤维素和半纤维素,生成黏性物质,使果浆黏度增加^[14]。

在处理时间达到60 min时,果胶酶和半纤维素酶分别处理的火龙果果浆出汁率达到峰值,纤维素酶处理的火龙果果浆在45 min时出汁率最高,随着处理时间的延长,出汁率下降后保持稳定不变。

2.1.3 酶量对火龙果果浆液化效果的影响

由图3可得,果胶酶在添加量达到0.05%后继续添加黏度不再降低,纤维素酶和半纤维素酶分别在添加量为0.06%和0.07%时,处理的火龙果果浆黏度最大。随着酶量的增加,单位时间内被分解的底物越多,反应越快。

以出汁率为指标,果胶酶、纤维素酶和半纤维素

酶的最佳添加量分别为0.06%、0.06%和0.08%。在相同酶量的条件下,果胶酶的效果最好,其次是纤维素酶,效果最差的是半纤维素酶。

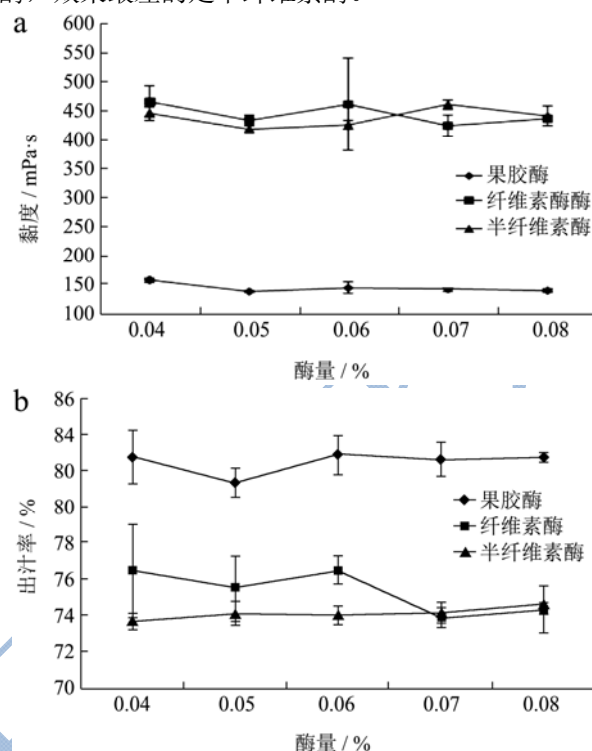


图3 酶量对火龙果果浆液化效果的影响

Fig.3 Effects of enzyme dosage on the liquidizing pitaya juice

注: a, 黏度; b, 出汁率。

2.1.4 pH值对火龙果果浆液化效果的影响

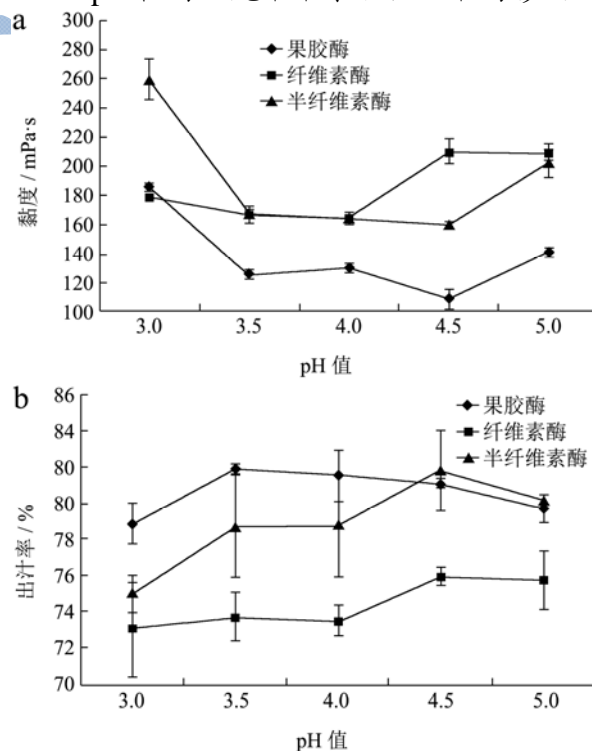


图4 pH值对火龙果果浆液化效果的影响

Fig.4 Effects of pH value on the liquidizing pitaya juice

注: a, 黏度; b, 出汁率。

由图 4 可知, 果胶酶降低果浆黏度的最佳 pH 值为 4.5, 反应条件越靠近酶的最适 pH, 酶的活性越大, 黏性物质降解的越多, 火龙果果浆黏度下降也越明显, 纤维素酶和半纤维素酶分别在 pH 值为 4.5 和 3.0 时处理的火龙果果浆黏度最大。

pH 值在 3.5 时, 果胶酶处理的果浆出汁率最高, pH 值在 4.5 时, 纤维素酶和半纤维素酶分别处理的火龙果果浆出汁率达到峰值。与纤维素酶和半纤维素酶相比, 果胶酶提高出汁率的效果更明显。

2.2 复合酶对火龙果果浆液化效果的影响比较

根据单因素实验结果, 果胶酶的处理效果远远优于纤维素酶和半纤维素酶, 若使用单一酶处理, 果胶酶为最佳选择。果胶酶、纤维素酶和半纤维素酶有协同效果, 故以果胶酶处理组为对照, 在其中添加各类酶组成复合酶来对比效果是否更优。

以果胶酶的最佳处理条件为试验条件, 在 50 °C、pH 值为 4.5 的条件下, 分别添加不同酶处理火龙果果浆 45 min, 结果见表 2。由表 2 可以看出, 和单一酶相比, 复合酶处理后的火龙果果浆黏度更低, 出汁率更高, 且果胶酶、纤维素酶与半纤维素酶的复合酶效

果最显著, 故选用果胶酶、纤维素酶与半纤维素酶的复合酶对火龙果果浆进行液化较为合适。

2.3 复合酶对火龙果果浆液化效果的正交试验

由表 3 可知, 影响火龙果果浆黏度变化各因素的主次顺序是 D>A>C>B, 各因素的最优组合是 A₂B₂C₃D₃。影响火龙果果浆出汁率变化各因素的主次顺序是 D=C>B>A, 各因素的最优组合是 A₁B₃C₃D₃。

由表 4 可知, 时间和酶量火龙果果浆液化效果的影响不显著, 温度对火龙果果浆液化效果的影响显著, pH 值对火龙果果浆黏度的影响极其显著, 故温度和 pH 值应选择最适条件, 即温度为 50 °C, pH 值为 4.3。分析原因 pH 值和温度对酶的活性影响较大, 时间与酶量范围较适宜, 所以影响不明显。

由表 5 可知, 时间和温度的影响不显著, 而酶量和 pH 值对火龙果果浆出汁率的影响显著, 应选择最适的条件, 即酶量为 0.07%, pH 值为 4.3。

结合火龙果果浆的黏度与出汁率, 处理条件应选择: 温度 50 °C, 时间 45 min, 酶量 0.07%, pH 值 4.3, 以此条件处理火龙果果浆, 得到的黏度为 170.5 mPa·s, 出汁率, 87.8%, 与未处理的火龙果果浆相比, 黏度降低 183.6 mPa·s, 出汁率提高 14.8%。

表 2 单一酶和复合酶比较

Table 2 Comparison of single-enzyme and complex-enzyme

酶种类	酶量/%	黏度/mPa·s	出汁率/%
单一酶	果胶酶 0.04	220.70±11.02	79.60±0.08
复合酶 1	果胶酶 0.04; 纤维素酶 0.02	192.00±2.99	79.80±0.29
复合酶 2	果胶酶 0.04; 半纤维素酶 0.02	189.30±0.78	81.50±0.96
复合酶 3	果胶酶 0.04; 纤维素酶 0.02; 半纤维素酶 0.02	181.50±3.68	84.20±0.43

表 3 正交试验结果

Table 3 Results analysis of the orthogonal test

试验号	因素				黏度/mPa·s	出汁率/%
	A 温度	B 时间	C 酶量	D pH 值		
1	1	1	1	1	240.30±10.08	84.60±1.4
2	1	2	2	2	195.30±19.77	84.60±0.7
3	1	3	3	3	173.70±24.58	87.90±0.2
4	2	1	2	3	171.30±17.31	86.70±0.7
5	2	2	3	1	201.00±21.40	84.80±0.4
6	2	3	1	2	171.30±5.56	84.20±1.6
7	3	1	3	2	194.30±13.22	85.70±0.9
8	3	2	1	3	180.70±27.44	84.60±0.6
9	3	3	2	1	253.70±15.80	85.30±0.9

转下页

接上页

黏度	K ₁	609.30	605.90	592.30	695.00
	K ₂	543.60	577.00	620.30	560.90
	K ₃	628.70	598.70	569.00	525.70
	k ₁	203.10	201.97	197.43	231.67
	k ₂	181.20	192.33	206.77	186.97
	k ₃	209.57	199.57	189.67	175.23
	R	28.37	9.64	17.10	56.44
优水平	A ₂	B ₂	C ₃	D ₃	
出汁率	K ₁	257.10	257.00	253.40	254.70
	K ₂	255.70	254.00	256.60	254.50
	K ₃	255.60	257.40	258.40	259.20
	k ₁	85.70	85.67	84.47	84.90
	k ₂	85.23	84.67	85.53	84.80
	k ₃	85.20	85.80	86.13	86.40
	R	0.50	1.13	1.66	1.60
优水平	A ₁	B ₃	C ₃	D ₃	

表4 正交试验方差分析(黏度)

Table 4 Variance analysis of the orthogonal test (viscosity)

因素	偏差平方和	自由度	均方	F 值	Fa	显著性
A	3969.24	2	1984.62	3.89	F0.05 (2,18) =3.55	*
B	453.68	2	226.84	0.45	F0.05 (2,18) =3.55	
C	1320.13	2	660.06	1.29	F0.05 (2,18) =3.55	
D	15958.33	2	7979.17	15.63	F0.01 (2,18) =6.01	**
误差 e	9198.13	18	511.00			

表5 正交试验方差分析(出汁率)

Table 5 Variance analysis of the orthogonal test (juice yield)

因素	偏差平方和	自由度	均方	F 值	Fa	显著性
A	1.34	2	0.67	0.48	F0.05 (2,18) =3.55	
B	6.49	2	3.25	2.34	F0.05 (2,18) =3.55	
C	12.27	2	6.14	4.42	F0.05 (2,18) =3.55	*
D	14.32	2	7.16	5.16	F0.05 (2,18) =3.55	*
误差 e	24.98	18	1.39			

3 结论与讨论

3.1 以火龙果果浆黏度和火龙果出汁率为主要指标,对单一酶和复合酶处理进行比较,结果表明,在 50 ℃、时间为 45 min、酶添加量为 0.07%、pH 值为 4.3 的条件下,加入比例为 1:1:1 的由果胶酶、纤维素酶与半纤维素酶组成的复合酶,所处理的火龙果果浆黏度下降最明显,且出汁率大幅提高。因处理后的火龙果果浆不为果汁饮料成品,还需加入其它调味剂进行调配,故 pH 为 4.3 在可接受范围内。

3.2 因试验时间较长,用量大,火龙果均为提前采摘后低温保存,火龙果原料之间不可避免的存在黏度

和出汁率上差异。各个单因素试验进行时用果均为同一时间取出,并粉碎后混合均匀,每组试验均有空白对照,且单因素试验主要根据趋势探讨最佳处理条件,故因火龙果原料带来的黏度和出汁率差异对试验结果基本无影响。

3.3 通过单因素实验结果可知,果胶酶处理火龙果果浆的结果最显著,添加了纤维素酶与半纤维素酶后的复合酶效果优于单一使用果胶酶。结合文献分析,果胶分子存在于初生细胞壁与细胞间隙,初生细胞壁中含有相互交联的纤维素与半纤维素,且果胶分子常与纤维素、半纤维素和蛋白质等不溶物相结合,纤维素酶与半纤维素酶的使用破坏了细胞组织结构,释放果

胶分子,使火龙果中的果胶分解更彻底,火龙果果浆的液化效果更佳^[6,13]。用纤维素酶和半纤维素酶处理后的火龙果果浆可能会出现黏度增加现象,推测这种现象不仅是由于初生细胞壁和细胞间隙的果胶被释放出来,还有可能是因为火龙果果浆所包含的果籽中的纤维素和半纤维素被分解,果浆中单糖含量增加引起的^[13,15]。

参考文献

- [1] 薛卫东,王阿桂.台湾火龙果引种栽培初报[J].中国南方果树,2003,32(2):34-35
XUE Wei-dong, WANG A-gui. Report on Introduction and cultivation of Taiwan pitaya [J]. South China Fruits, 2003, 32(2): 34-35
- [2] 蔡永强,向青云,陈家龙,等.火龙果的营养成分分析[J].经济林研究,2008,26(4): 53-56
CAI Yong-qiang, XIANG Qing-yun, CHEN Jia-long, et al. Analysis of nutritional components in pitaya fruit [J]. Nonwood Forest Research, 2008, 26(4): 53-56
- [3] 赵会敏.火龙果营养保健功能及开发利用[J].农业工程技术(农产品加工),2007,11:41-44
ZHAO Hui-min. Health-care function and exploitation of lanterns fruit [J]. Agricultural Engineering Technology (Agricultural Product Processing), 2007, 11: 41-44
- [4] 徐慧,王秋玲,韦刚,等.火龙果的保健功效及其研究进展[J].广西科学院学报,2010,26(3):383-385
XU Hui, WANG Qiu-ling, WEI Gang, et al. The health benefits and research progress of pitaya [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2010, 26(3): 383-385
- [5] 陈杰,庞江琳,李尚德,等.火龙果的微量元素含量分析[J].广东微量元素科学,2004,11(5):56-57
CHEN Jie, PANG Jiang-lin, LI Shang-de, et al. Analysis on trace elements in hyloereus [J]. Guangdong Weiliang Yuansu Kexue, 2004, 11(5): 56-57
- [6] 陈娟,阚健全,杜木英.果胶酶制剂及其在果浆出汁和果汁澄清方面的应用[J].中国食品添加剂,2006,3:119-124
CHEN Juan, KAN Jian-quan, DU Mu-ying, et al. Pectinase preoaration and its application in pulp's producing-juice and juice clarifying [J]. China Food Additives, 2006, 3: 119-124
- [7] 辛建刚,芮汉明.利用果胶酶澄清西番莲果汁的工艺研究[J].食品与机械,2006,22(1):43-46
XIN Jian-gang, RUI Han-ming. Investigation of the technology for clarification of passionflower fruit juice using pectinase [J]. Food and Machinery, 2006, 22(1): 43-46
- [8] 梁琳侦,胡卓炎,郭丹,等.酶解工艺参数对荔枝汁出汁率和澄清效果的影响[C]//广东省食品学会第六次会员大会暨学术研讨会论文集,2012
LIANG Lin-zhen, HU Zhuo-yan, GUO Dan, et al. The effect of pectinase treatment on the yield and clarification of lychee juice [C]// Proceedings of the sixth general meeting and Symposium of Guangdong Institute of Food Science and Technology, 2012
- [9] 刘姗姗,韩焯,周志江.澄清草莓汁制作工艺的研究[J].食品工业科技,2008,29(5):241-247
LIU Shan-na, HAN Ye, ZHOU Zhi-jiang. Study on producing techniques of clear strawberry juice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(5): 241-247
- [10] 张丽霞,周剑忠,刘红锦,等.双酶水解制备黑莓澄清汁的工艺优化[J].农业工程学报,2010,26(10):372-376
ZHANG Li-xia, ZHOU Jian-zhong, LIU Hong-jin, et al. Process optimization of preparation of clarified blackberry juice using two commercial enzymes [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(10): 372-376
- [11] 丁长河,鲁慧芳,张建华,等.果胶酶与纤维素酶对马铃薯浆黏度的影响[J].食品科技,2006,31(2):55-57
DING Chang-he, LU Hui-fang, ZHANG Jian-hua, et al. Effects of pectic enzymes and cellulases on the viscosity of potato pulp [J]. Food Science and Technology, 2006, 31(2): 55-57
- [12] 周增群,董迪迪,朱永峰,等.响应面优化酶法加工火龙果清汁工艺条件的研究[J].中国酿造,2013,32(6):52-56
ZHOU Zeng-qun, DONG Di-di, ZHU Yong-feng, et al. Optimization of enzymic processing conditions of clarified pitaya juice by response surface methodology [J]. China Brewing, 2013, 32(6): 52-56
- [13] 薛长湖,张永勤,李兆杰,等.果胶及果胶酶研究进展[J].食品与生物技术学报,2005,24(6):94-99
XUE Chang-hu, ZHANG Yong-qin, LI Zhao-jie, et al. Recent development of pectin and pectolytic enzyme [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2005, 24(6): 94-99
- [14] 王秋玲.火龙果籽的研究[D].南宁:广西大学,2012
WANG Qiu-ling. The research of pitaya seeds [D]. Nanning: Guangxi University, 2012
- [15] 秦蓝,许时婴,王璋,等.采用酶法液化技术制备高品质的南瓜汁[J].食品与发酵工艺,2003,29(12):48-53
QIN Lan, XU Shi-ying, WANG Zhang, et al. High quality juice by production from enzymatic liquefaction of pumpkin [J]. Food and Fermentation Industries, 2003, 29(12): 48-53