

一种新型连续层叠式榨汁机设计与试验机验证

Design of a new-type continuous stack-up juice press and proof on experimental machine

马松柏^{1,2} 张绍英¹ 王晶²

MA Song-bai^{1,2} ZHANG Shao-ying¹ WANG Jing²

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 北京工商大学材料与机械工程学院, 北京 100048)

(1. *Engineering College, China Agricultural University, Beijing 100083, China*; 2. *School of Materials and Mechanical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China*)

摘要:在分析果蔬汁加工要求及现有一些典型工业榨汁机优缺点的基础上,提出一种新型连续层叠式榨汁机技术方案。对榨汁机机械结构及工作原理进行了说明,建立了以基本压滤单元为核心的试验验证机,并进行了国光苹果汁的压榨作业试验。试验结果表明,驱动电机在 600 r/min 转速下,在整个压滤通道内可获得平均 1.20 MPa 左右的推料压榨力,出汁率达 81.16%,榨出的果汁较好地保留了原料中的大部分营养成分,果汁品质良好,对推动农产品加工行业发展具有重要意义。

关键词:连续层叠式榨汁机;压滤单元;试验机;验证

Abstract: Based on the analysis on demands of fruit-vegetable juice processing, and advantages and disadvantages of some typical industrial press machines, the technical solution of a new-type continuous stack-up juice press was presented. The mechanical structure and working principle of the juice press were illustrated in details. Besides that, based on the basic filter-press unit, an experimental machine was created to proof this technological solution. And then experiments with pressing Ralls apples juice were done in the experimental machine. The experimental results show that when the driving motor rotates around 600 r/min, the juice yield rate is 81.16%, and the average value of the pressure force in the entire filter-press passage is about 1200 kilopascal. Meanwhile, the quality of pressed juice is good for preserving most nutrients of raw materials. This is significant to promote the development of agricultural commodities processing industry.

Keywords: continuous stack-up press; filter-press unit; experimental machine; proving

果蔬汁加工产业发展成为农产品加工领域的支柱产业之一。随着消费者对果蔬汁产品“安全、天然、新鲜、美味”的要求越来越高,对果蔬汁生产设备尤其是榨汁机的技术水平也提出了更高的要求。目前果蔬汁加工行业广泛采用具有较强通用性和较高生产能力的榨汁机以液力筒式榨汁机和带式榨汁机为主,其中液力筒式榨汁机具有压榨过程密闭性较好,卫生条件好,生产率高、自动化程度高、出汁率高(苹果出汁率一般达 82%~85%),适应性广等优点,此类榨汁机的代表是瑞士布赫公司的 HPX5005i 及中国的 6TZ 系列液力通用榨汁机,但同时也存在作业方式不连续,压榨后期果汁氧化褐变现象严重,程控系统和液压驱动系统复杂,造价及生产成本昂贵等不足^[1-3];带式榨汁机具有连续作业,工作效率高,通用性好、造价适中等特点,由于存在开放作业、果汁褐变程度及果肉含量高、外源微生物污染严重、网带易侧漏,洗水用量大等缺陷,带式榨汁机正在逐渐被淘汰^[4-6]。开发生产率高,出汁率高、原汁品质好的新型果蔬榨汁机具有极大的应用价值与现实意义。在分析果蔬汁加工要求及现有一些典型工业榨汁机优缺点的基础上,提出一种新型连续层叠式果蔬榨汁机技术方案,详细分析其结构组成与工作原理,搭建试验样机并对国光苹果进行压榨试验以检验此方案。

1 新型层叠式榨汁机方案原理

1.1 榨汁机整体结构

新型连续层叠式榨汁机的整体结构如图 1 所示,由底座、上盖、固定导柱、压滤单元、上密封轴承、下密封轴承、驱动电机、联轴器、驱动轴组成。其中压滤单元组由若干大而薄的基本压滤单元层叠构成,各压滤单元同心布置,驱动轴从压滤单元组中央穿入,并与各压滤单元中的拨轮固联。

1.2 基本压滤单元

压滤单元为榨汁机核心组件,主要由拨轮和集汁盘组件组成(见图 2),拨轮安装在相邻两集汁盘组件之间。拨轮的

近年来,市场对果蔬汁及果蔬汁饮料的需求与日俱增,

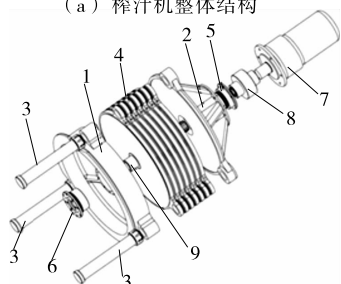
作者简介:马松柏(1980—),男,北京工商大学讲师,中国农业大学在读博士生。E-mail:masongbai@126.com

收稿日期:2016-03-01

外形如图3所示,主要由8条放射状的具有后倾角结构的拨叶组成,拨轮厚20mm,轮毂半径100mm,外缘半径为600mm,4个与驱动轴对应的轴向键槽和4个周向均布的进料口,相邻两拨叶间的空隙与压滤单元中其他组件构成的空间称为压滤通道。选择具有后倾角结构的拨叶的目的是利于拨轮旋转时拨叶作用于原料形成较高的压榨力,并在整个压滤通道内形成均匀的压力分布。



(a) 榨汁机整体结构

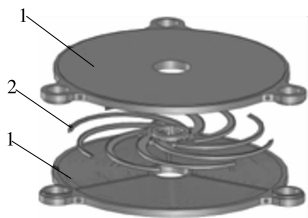


1. 底座 2. 上盖 3. 锁紧导柱 4. 压滤单元组 5. 上密封轴承
6. 下密封轴承 7. 驱动电机 8. 联轴器 9. 驱动轴

(b) 榨汁机爆炸分解图

图1 新型连续层叠式榨汁机结构图

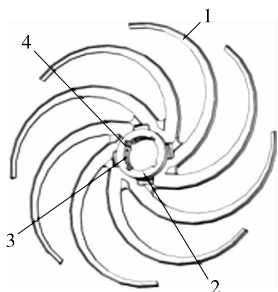
Figure 1 Structure diagram of new-type continuous stack-up juice press



1. 集汁盘组件 2. 拨轮

图2 压滤单元结构图

Figure 2 The structure diagram of filter-press unit



1. 拨轮拨叶 2. 轮毂 3. 进料口 4. 键槽

图3 拨轮外形图

Figure 3 The shape of push-wheel

拨轮拨叶曲线方程如下:

$$\begin{cases} \tau = -\frac{3(r-120)^2}{5 \cdot 120} + 60 & r \in [120, 280]; \\ \tau = \frac{3(r-600)^2}{10 \cdot 240} + 15 & r \in [280, 600]. \end{cases} \quad (1)$$

$$\tan \tau = \frac{dr}{r \times d\theta} \quad r \in [120, 600], \theta \in [0^\circ, 150^\circ], \quad (2)$$

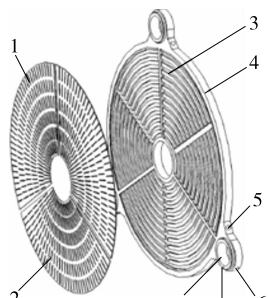
式中:

τ —— 拨轮拨叶曲线的后倾角(极坐标), rad;

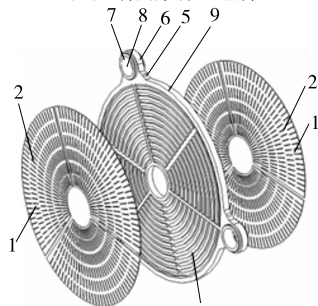
r —— 拨轮拨叶曲线各点半径, mm;

θ —— 圆心角, ($^\circ$).

集汁盘组件的作用是收集果汁,分为两种,端面集汁盘组件和中央集汁盘组件(见图4),均由集汁盘体(支撑滤网)及其上覆盖的滤网组成。为便于收集果汁,滤网的滤孔制成长条形并与集汁盘体的导汁槽垂直铺设。



(a) 端面集汁盘组件



(b) 中央集汁盘组件

1. 滤网 2. 滤孔 3. 导汁槽网 4. 端面集汁盘体 5. 排汁口
6. 定位耳 7. 定位阶 8. 定位孔 9. 中央集汁盘体

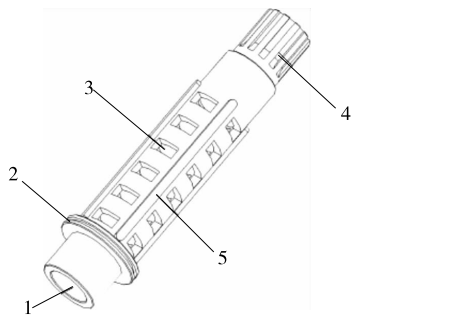
图4 集汁盘组件结构图

Figure 4 The constituting structures diagram of juice collecting plate subassemblies

端面集汁盘组件安装在压滤单元组的两端,对应的端面集汁盘体只内侧盘面上有互通式导汁槽网,中央集汁盘组件安装在端面集汁盘组件之间,对应的中央盘体的两侧盘面均有互通式导汁槽网。所有的集汁盘体外周端面上均开有排汁口,排汁口与导汁槽网连通。每个集汁盘均有定位耳,用以将压滤单元组各组件定位、压紧,保证内部压榨空间的绝氧密闭。此外,为了调节果渣的排出阻力,保证压滤单元中能有足够的压榨力,集汁盘外圈均有环形唇槽,用于安放橡胶制成的耐磨弹性中空环形唇圈。

1.3 驱动轴

驱动轴有带动拨轮转动和注料两大作用,外形如图 5 所示,为一根特制的中空管,包括进料口(果浆即从此端由喂料螺杆泵注入),沿轴向、周向均布的出口口(与拨轮上的进料口相通),4 条长键(用于连接拨轮在驱动轴上的键槽),花键轴头(连接驱动电机)及定位轴肩(用于与压滤单元组轴向定位)。驱动轴从压滤单元组的中央穿过,通过长键将各压滤单元中的拨轮相连,并通过键连接带动拨轮在各压滤单元中转动。



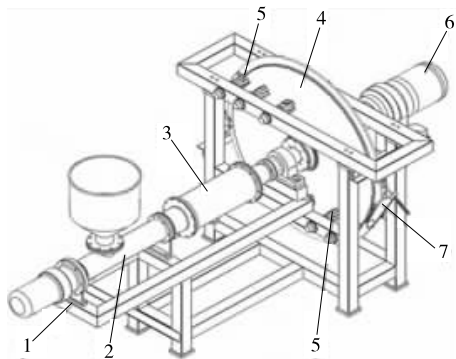
1. 进料口 2. 定位轴肩 3. 出口口 4. 花键轴头 5. 长键
图 5 驱动轴外形

Figure 5 The outside view of actuating shaft

2 试验台结构

为了验证上述方案,设计并搭建了一个试验台(见图 6),主要由机架、喂料螺杆泵、预过滤系统、压紧轮组、简化压滤单元、驱动电机、阻尼调整装置和通道压力检测系统等构成。

其中,在保证试验效果的前提下,拨轮简化为同属一个压滤单元内的两个压滤通道的结构布局。如图 7 所示,拨轮由紧固在法兰型转芯上的两片翅型平板叶片构成(后称“翅形叶片”,厚 20 mm),翅形叶片的内侧两短边(I 处)具有与方案中拨轮拨叶相同的曲线形状,间隙即为压滤通道,外侧长边(II 处)圆弧半径尺寸与方案中拨轮外缘的尺寸相同(600 mm),转芯的中心孔半径 80 mm,轮毂半径 100 mm,法兰型转芯上开有将果浆导入压滤通道的进料口。此外,在通



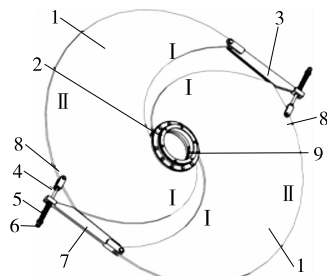
1. 机架 2. 喂料螺杆泵 3. 预过滤系统 4. 压紧轮组 5. 简化压滤单元 6. 驱动电机 7. 阻尼调整装置 8. 通道压力检测系统

图 6 试验台结构

Figure 6 The constituting structures diagram of experimental machine

道出口处设置了两套阻尼装置,阻尼装置由阻尼拉杆、阻尼弹簧、螺母和阻尼块构成,通过调整弹簧的压缩量调节出渣阻力,保持整个通道内具有理想的压力分布并,在果蔬渣出口区域形成压力保护。

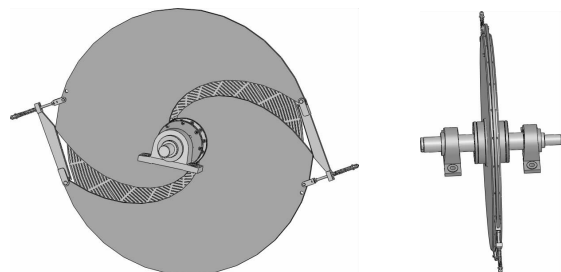
由此构成的简化压滤单元见图 8。



1. 叶片 2. 转芯 3. 阻尼装置 4. 阻尼拉杆 5. 阻尼弹簧 6. 螺母 7. 阻尼块 8. 固定孔 9. 进料口

图 7 试验台简化拨轮

Figure 7 The structure of the simplified push-wheel



(a) 简化压滤单元一侧 (b) 简化压滤单元整体
图 8 简化压滤单元结构

Figure 8 Structure of simplified filter-press unit

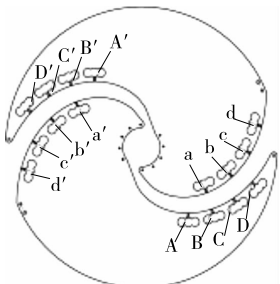
为了获取压滤过程中通道内不同区域的压强值,在每个翅形叶片的内侧短边处(I 处)开设了 8 个测压口,每个测压口接一根测压管,测压管另一端接飞思卡尔(Freescale)MPX5700DP 型压力变送器并引到压滤单元外部,测压管与压力传感器正压接口相连,负压接口直接接通大气。压榨时,通道中被压榨出的汁液受压进入测压管内,向外压送,压力变送器即可检测到压力,并输出电压值。各压力变送器输出的电压值经安装在 PC 上的 16 路模拟信号数据采集卡(MPS-010602 型数据采集卡),传送到 PC 从而记录、转化、显示通道内压力的实时变化,见图 9。

3 实验验证与结果

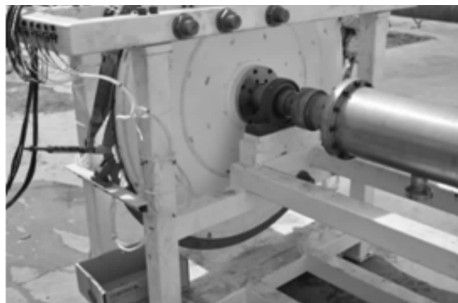
本试验选取市售成熟的,无物理损伤、腐烂、虫蛀、大小一致的国光苹果为试验材料,4 °C 下保存,加工前经氯水清洗(200 mg/L),单果被切成 4 段后投入吨击破碎机进行破碎,单次实验用量 50 kg。将破碎后的果糊倒入试验台喂料螺杆泵旋喂料斗,经喂料螺旋送入中空驱动轴进入压滤通道进行榨汁,记录通道内各点压力值并计算平均值供后续分析,具体过程见图 10。

图 11 为驱动电机转速与通道平均压力及出汁率的关系

曲线图。由图 11 可知,驱动电机在 400 r/min 的转速下,整个压滤通道内可获得平均 1.03 MPa 的推料压榨力,出汁率



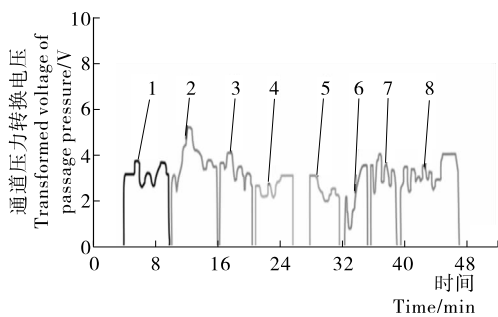
(a) 测压口布局图



(b) 压力采集系统安装图

图 9 压滤通道测压口布局与压力采集系统安装图

Figure 9 Diagram of pressure taps layout and arrangement of passages pressure acquisition system



(a) 采集与记录通道压力



(b) 出汁与集汁



(c) 排渣

图 10 试验台工作过程

Figure 10 The working process of experimental machine

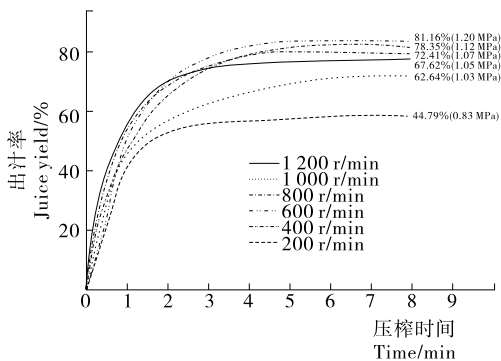


图 11 驱动轴转速与通道平均压力和出汁率关系曲线图

Figure 11 The relation curve of actuating shaft speed, average pressure of passage, and juice yield

62.64%;最佳的转速为 600~800 r/min,整个压滤通道内可获得 1.1 MPa 以上的推料压榨力,在 600 r/min 转速下,整个压滤通道内可获得平均 1.20 MPa 的推料压榨力,出汁率达 81.16%,超过 800 r/min 以上通道建压能力及出汁率有所下降^[7-10]。

表 1 为苹果原料及其榨汁后苹果汁中主要营养成分的变化,仪器与方法参考文献^[11]。较原果相比,果汁中的总抗坏血酸、还原型抗坏血酸、氧化型抗坏血酸、可溶性糖均保持了较高的含量,保留率分别达到了 71.29%,63.96%,82.27%,96.35%,苹果酸和糖酸比几乎没有变化。

4 结论

本研究提出了新型连续层叠式榨汁机技术方案且搭建了试验机加以检验,并在试验机上完成了国光苹果的压榨验证实验。对其进一步分析可得到如下结论:① 连续层叠式榨汁机采用了与带式榨汁机类似的连续作业模式,同时其压滤单元内部大量通畅的原料流动和果汁收集通道及较大的分离面积,使其具有较高的生产率;② 连续层叠式榨汁机通过拨轮拨叶转矩推力及泵送压相结合的方式在榨汁机内部建立较高的压榨力,原料能够被更加充分压榨,从而获得较高的出汁率,而其与液力筒式榨汁机相类似的封闭作业模式及连续不断的排渣操作,使榨出的果蔬汁内部不会出现类似于带式榨汁机内部较多果肉含量及污染物的情况,果汁品质较高;③ 连续层叠式榨汁机几乎无环境污染且能耗较低。在今后的研究工作中,需要通过更多的试验修改部分零部件的设计参数与机械结构,进一步完善总体设计,以期在果蔬汁加工行业乃至农产品加工行业的发展中发挥重要的促进作用。

表 1 国光苹果榨前榨后主要营养成分比较

Table 1 Comparison of primary nutrient content of rali apples before and after pressed

样品	总抗坏血酸/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	还原型抗坏血酸/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	氧化型抗坏血酸/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	可溶性糖/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	苹果酸/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	糖酸比
原果	6.41	5.05	1.41	12.61	0.56	22.85
果汁	4.57	3.23	1.16	12.15	0.54	22.84

(下转第 224 页)

- 析与政策建议[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(5): 561-564.
- [15] 吕殿青, 王宏, 侯旭蕾, 等. 洞庭湖区环境污染的安全性研究[J]. 环境科学导刊, 2012, 31(3): 53-56.
- [16] 张晓博. 重金属对水生生物的毒害作用[J]. 广东农业科学, 2010(7): 149-150.
- [17] 秦春艳. 广东沿海海洋生物体内有毒物质的生物积累与污染评价[D]. 广州: 华南师范大学, 2007: 3-5.
- [18] 祝云龙, 姜加虎, 黄群, 等. 大通湖及东洞庭湖区生物体重金属的水平及其生态评价[J]. 湖泊科学, 2007, 19(6): 691-696.
- [19] Qiu Yao-wen. Bioaccumulation of heavy metals both in wild and mariculture food chains in Daya Bay, South China[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2015(163): 7-14.
- [20] 曾龄顾. 洞庭湖区淡水鱼化学污染物调查与分析[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [21] 刘芳芳. 淡水鱼类中重金属污染及其与环境相关性分析[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013.
- [22] 杨梦昕, 付湘晋, 李忠海, 等. 湘江流域重金属污染情况及其对食物链的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 103-106.
- [23] 彭湘莲, 刘宗敏, 刘云. 湘江长沙段水中铅、镉、铬含量对淡水鱼的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 68-71.
- [24] 贺亮. 铜在鲫鱼中的积累机制及其影响因素的研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2007: 4-6.
- [25] 胡余明. 洞庭湖鱼组织中持久性有机污染物的分析评估研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.
- [26] 冯敏. 洞庭湖区氯酚类污染物的分布特征、生态效应及健康风险评估研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2014: .
- [27] Gao Lirong, Zhang Qin, Zhang Bing, et al. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in water and six fish species from Dongting Lake, China[J]. Chemosphere, 2014 (114): 150-157.
- [28] 刘巧娜. 洞庭湖灭螺剂及副产物的污染现状及风险分析研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2014: 17-64.
- [29] 尚晓迪, 何志强. 重金属在鱼体内积累作用的研究进展[J]. 河北渔业, 2009(5): 44-45.
- [30] 李华. 重金属在淡水鱼体内的蓄积、排出机理及其金属硫蛋白的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [31] 代天飞, 王昌全, 李冰. 油菜各部位对土壤中活性态重金属的累积特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2006(25): 471-475.
- [32] 张鑫. 安徽铜陵矿区重金属元素释放迁移地球化学特征及其环境效应研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005: 7-8.
- [33] 闻洋. 有机污染物生物富集与鱼体内临界浓度关系的研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2015: 9-21.
- [34] Liu Jia-yu, Liang Jie, Yuan Xing-zhong, et al. An integrated model for assessing heavy metal exposure risk to migratory birds in wetland ecosystem: A case study in Dongting Lake wetland, China[J]. Chemosphere, 2015(135): 14-19.
- [35] Liang Jie, Liu Jia-yu, Yuan Xing-zhong, et al. Spatial and temporal variation of heavy metal risk and source in sediments of Dongting Lake wetland, mid-south China[J]. Environmental Science and Health, 2015, 1(50): 100-108.
- [36] 何介南, 康文星, 袁正科, 等. 洞庭湖湿地污染物的来源分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25(17): 239-244.
- [37] 余建青, 刘妍, 欧伏平, 等. 洞庭湖区造纸污水对水环境的影响及经济损失估算[J]. 内陆水产, 2007(7): 36-37.
- [38] 孙占东, 黄群, 姜加虎. 洞庭湖主要生态环境问题变化分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(9): 1 108-1 113.
- [39] 钟振宇, 陈灿. 洞庭湖水质及富营养状态评价[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(7): 169-173.
- [40] 扬瑜. 湖南省洞庭湖区造纸行业污染处理对策研究[D]. 长沙: 中南大学, 2011: 3-4.
- [41] 饶建平, 易敏, 符哲, 等. 洞庭湖水质变化趋势的研究[J]. 岳阳职业技术学院学报, 2011, 26(3): 53-57.
- [42] 黄代中, 万群, 李立强, 等. 洞庭湖近 20 年水质与富营养化状态变化[J]. 环境科学研究, 2013, 6(1): 27-33.
- [43] 黄维, 王为东. 三峡工程运行后对洞庭湖湿地的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(20): 1-8.
- [44] 李成. 洞庭湖主要经济鱼类资源调查及其变化规律研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2006: 16-17.
- [45] 唐春江, 舒畅, 唐常青, 等. 浅谈益阳地区农产品重金属污染的现状、来源及对策[J]. 作物研究, 2014, 28(8): 905-908.
- [46] 张兵, 郑明辉, 刘芄岩, 等. 五氯酚在洞庭湖环境介质中的分布[J]. 中国环境科学, 2001, 21(2): 165-167.

(上接第 80 页)

参考文献

- [1] 张绍英, 魏文军, 田国平, 等. 一种用于筒式榨汁机的脱气排汁及无氧呼吸系统: 中国, 200710064170.6[P]. 2007-09-26.
- [2] 郭恩生, 阚炳学, 赵红, 等. 带式浸提榨汁机: 中国, 96219146.9 [P]. 1997-11-12.
- [3] 张绍英. 背压注料压榨方法: 中国, 200410080346.3[P]. 2005-03-02.
- [4] 陈小龙. 薄层连续压滤分离方法及试验装置的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2013: 51-88.
- [5] 余敏. 出版集团研究[M]. 北京: 中国书籍出版社, 2001: 179-193.
- [6] Domien De Paepe, Katleen Coudijzer, Bart Noten, et al. A comparative study between spiral-filter press and belt press implemented in a cloudy apple juice production process [J]. Food Chemistry, 2015, 173: 986-988.
- [7] Amaki K, Saito E, Taniguchi K, et al. Role of chlorogenic acid quinone and interaction of chlorogenic acid quinone and catechins in the enzymatic browning of apple [J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2011, 75: 829-832.
- [8] De Paepe D, Noten B, De Loose M, et al. An improved mass spectrometric method for identification and quantification of phenolic compounds in apple fruits[J]. Food Chemistry, 2013, 136: 368-375.
- [9] Molloy P, Mihalev K, Buleva M, et al. Cloud stability of apple juices in relation to their particle charge properties studied by electro-optics [J]. Food Research International, 2006, 39: 519-524.
- [10] Nabila Labsi, Youb Khaled Benkahla, Abdelkader Boutra, et al. Heat and flow properties of a temperature dependent viscoplastic fluid including viscous dissipation[J]. Journal of Food Process Engineering, 2013, 36(4): 450-461.
- [11] 姚刚, 李凤城, 张绍英, 等. 低温胁迫提升苹果鲜榨汁品质研究[J]. 农业机械学报, 2015(2): 61-63.