

香蕉茎秆纤维提取刀片的改进设计

Improved design of banana stalk fiber extraction blade

李双 梁栋 张喜瑞 李粤

LI Shuang LIANG Dong ZHANG Xi-rui LI Yue

(海南大学机电工程学院, 海南海口 570228)

(School of Mechanics and Electrics Engineering, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

摘要:针对现有香蕉茎秆纤维提取机加工性能不理想的问题,通过借鉴手动刮胡刀设计原理,设计出双层渐近式刀片结构来优化其工作性能。对改进刀片与普通L型刀片进行了对比试验。结果表明:纤维提取率从14.50%提升到了16.03%左右,纤维含杂率从14.21%降到9.85%左右,而且在多片茎秆片叠加时加工效率更加稳定。

关键词:香蕉;纤维提取机;渐近刀

Abstract: In view of the current unsatisfactory processing performance of existing banana stalk fiber extraction machine, by drawing on the design principle of manual razor, design a two-layer asymptotic blade structure to optimize its performance. A comparison test was made between the improved blade and the ordinary L-shaped blade. The results showed that the fiber extraction rate increased from 14.50% to 16.03%, and the fiber content decreased from 14.21% to 9.85%. The processing efficiency was more stable when multiple pieces of stalks were stacked.

Keywords: banana; fiber extractor; asymptotic knife

中国是世界上第二大香蕉生产国,香蕉种植产业已成为中国亚热带农业区域经济发展的一项支柱性产业^[1]。有关研究^[2]表明,香蕉茎秆纤维具备天然的抗菌性能和优良的吸湿散热性,是优质的植物纤维。

香蕉茎秆纤维的提取方法有化学法、生物法和机械法;相比于前两者,机械法提取效率高、含杂率小、纤维光泽性及柔软性更好^[3]。但传统的香蕉茎秆纤维提取机普遍存在纤维提取率低、纤维含杂率高,已不能满足纤维提取产业的发展。运用先进的机械法及机器进行香蕉纤维

提取已成为行业发展的大方向,对田间香蕉茎秆机械化处理具有重要意义。

近几年对机械法提取香蕉纤维已开展了一些研究,张喜瑞等^[4]设计了一种移动式全喂入香蕉茎秆纤维提取机,通过纤维提取机刮杂装置内的刮杂刀辊高速转动,带动刀辊上的刀片对片状的香蕉茎秆不断进行击打与刮取,由于刮杂刀片设计采用普通L型平刀刀片、结构简单,此机构纤维刮杂效率不高且设计强度不够,香蕉纤维提取机的工作效率较低。曾成等^[5]发明了一种基于螳螂前足的香蕉纤维仿生提取刀片,模仿箭螳的齿刺结构设计出了锯齿形仿生刀片,有效提高了香蕉纤维提取率,由于没有设计香蕉茎秆表层茎肉的刮杂处理,此机构提取的纤维含杂率较高,且L型刀设计在工作强度上不稳定。优化刀片结构,提高香蕉纤维提取率,降低香蕉纤维含杂率对提升香蕉茎秆纤维提取机的整机工作性能显得尤为重要。

针对这些现状,基于刮胡刀的设计原理,本研究拟设计双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片,包括刮杂短刀、梳刮齿、刮杂长刀。刮杂短刀进行香蕉茎秆内层茎肉刮杂,梳刮齿进行香蕉茎秆纤维梳理刮取,刮杂长刀进行香蕉茎秆内外层茎肉刮杂,利用这些结构特点来降低纤维含杂率,提升纤维提取效率。对双层渐近式刀片进行了载荷受力分析,进行了双层渐近式刀片与普通L型平刀刀片参数化对比试验,以期为香蕉茎秆纤维提取机的进一步改进和设计提供方法和依据。

1 渐近式刀片的设计及加工

1.1 纤维提取机刮杂装置的工作原理

移动式全喂入香蕉茎秆纤维提取机整机结构如图1所示。

刮杂装置是香蕉茎秆纤维提取机的重要组成部分,主要由转动刀辊、动刀、上定刀、下定刀、输入辊、输出辊等关键部件组成^[6-7]。在工作过程中,香蕉茎秆片由传送带喂入,依次经过滚扎装置、输入辊进入到定刀的刮杂区;随刀辊转动的动刀接触到香蕉茎秆片的前端并对香

基金项目:国家自然科学基金(编号:51565010);国家公益性行业(农业)科研专项(编号:201503136);海南省自然科学基金项目(编号:20163038)

作者简介:李双,男,海南大学在读硕士研究生。

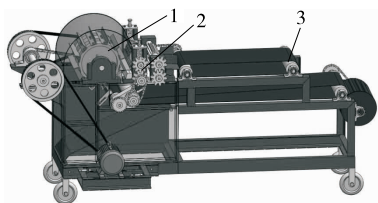
通信作者:梁栋(1971—),男,海南大学教授,硕士。

E-mail: xjn04@163.com

收稿日期:2018-10-02

蕉茎秆逐步进行打击刮杂,刮杂产生的杂质具有一定的质量,在动刀的带动下随着刀辊运动轨迹做离心运动,最后从刀辊底部落入到杂质收集槽内^[8];刀辊的不断旋转将纤维与杂质进行分离,整个工作过程完成。刮杂装置动刀运动简图如图 2 所示。

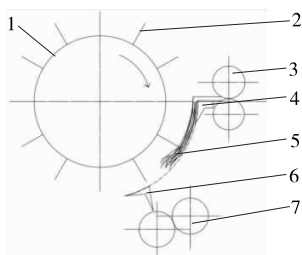
进行普通 L 型平刃刀片试验,一次性喂入多片香蕉茎秆片会出现纤维提取效率下降现象;分析主要原因为:多片香蕉茎秆片增加了动刀和定刀间的缝隙厚度,导致普通 L 型平刃刀片未能充分与茎秆纤维接触,从而降低纤维提取效率。香蕉茎秆纤维的特点是韧性小、容易断裂,普通 L 型平刃刀强烈的击打对茎秆内层茎肉产生高强度刮杂,在茎肉与纤维分离过程中对纤维产生较大牵扯力,纤维出现断裂、破碎现象,极大降低了有效纤维含量^[9]。但要保证香蕉茎秆纤维提取机工作效率,需一次性喂入香蕉茎秆片 3 片以上。如何有效利用刀具去除纤维表面杂质,减小刀具对纤维破坏程度,并最大限度提高纤维提取效率成为本设计刀片改进的主要研究方向。



1. 刮杂装置 2. 滚扎装置 3. 传送装置

图 1 移动式全喂入香蕉茎秆纤维提取机整机结构图

Figure 1 Mobile full-feeding banana stalk fiber extraction machine structure diagram



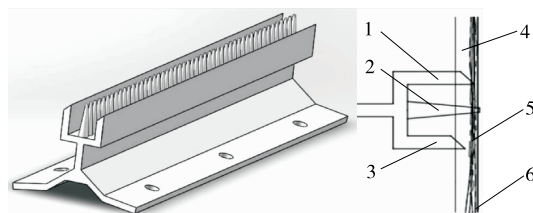
1. 转动刀辊 2. 动刀 3. 输入辊 4. 上定刀 5. 茎秆纤维
6. 下定刀 7. 输出辊

图 2 刮杂装置动刀运动简图

Figure 2 Shaving device moving knife movement diagram

1.2 渐近式刀片的设计理念

香蕉茎秆片的茎肉大部分分布在内层,中间为纤维层,外层只有少许茎肉^[10],结合香蕉茎秆片的结构特性,基于刮胡刀片设计原理,设计了双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片,包括刮杂短刀、梳刮齿、刮杂长刀。双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片结构如图 3 所示。



1. 刮杂长刀 2. 梳刮齿 3. 刮杂短刀 4. 内层茎肉 5. 茎秆纤维
6. 外层茎肉

图 3 双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片结构图

Figure 3 Double-layer asymptotic banana stalk fiber extraction blade structure diagram

刮杂短刀和刮杂长刀设计为单面斜刃式,并向分布于梳刮齿两侧,主要进行香蕉茎秆内外层茎肉刮杂。梳刮齿设计为顶端磨平圆锥形,线性排列于刮杂短刀和刮杂长刀中间部位,在刮杂短刀刮杂香蕉茎秆内层茎肉后,用于梳直茎秆纤维,可有效减小刮杂长刀对错位茎秆纤维的切向刮拉力,防止纤维因受力过大而断裂;还能将刮杂短刀未刮取的杂质以及残余杂质进行流线梳理,以便刮杂长刀深入清理。刮杂设备结构如图 4 所示。



图 4 刮杂设备结构图

Figure 4 Scraping equipment structure

1.3 渐近式刀片参数设计

双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片的刮杂刀呈长短不同的渐近式排列,两刮杂刀竖直方向存在 2 mm 的高度差。刮杂短刀主要负责内层茎肉的刮杂,刮杂长刀则深入茎秆纤维与外层茎肉的交织部位进行深度刮杂,梳刮齿主要负责刮松内层茎肉并进一步梳理纤维组织。

双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片的刮杂短刀高为 12 mm,刮杂长刀高为 14 mm,刀厚均为 3 mm;梳刮齿高为 15 mm,顶端是直径 1 mm 圆、底端是直径 4 mm 圆,相邻两梳刮齿顶端间隔为 2 mm;考虑到双层刀片的渐近结构是否能对纤维制备率和含杂率起到明显作用,于是在保留梳刮齿及其他尺寸不变的基础上,将改进的双层刀片分为 2 种不同长度结构(A 和 B)。竖直高度相等的双层非渐近刀 A 的刀高为 14 mm,竖直高度不相等的双层渐近刀 B 的短刀高为 12 mm,长刀高为 14 mm,刀厚均为 3 mm。双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片尺寸示意图如图 5 所示。

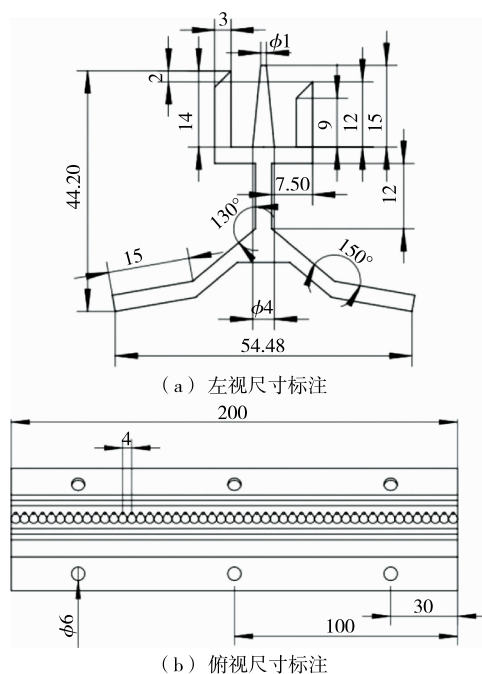


图 5 双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片结构尺寸图

Figure 5 Double-layer asymptotic banana stalk fiber extraction blade structural dimension drawing

1.4 渐近式刀片有限元分析

香蕉茎秆纤维提取机采用的原刀片为 L 型、合金钢 (SS), 据有关研究^[11]表明普通 L 型刀片在极限载荷条件下工作, 其直角根部受力最大, 易疲劳变形, 从而导致了刀片寿命短、更换速率快和纤维加工效果差等问题。实际加工中茎秆纤维的运动部分较复杂, 同时纤维也并非刚性物体, 所以本设计的稳定性分析主要通过刀片入手。

使用 Solidworks 软件对双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片进行静力学有限元分析。本设计选用韧性较好的合金钢 (SS) 作为渐近式刀片的主要材料, 对渐近式刀片进行网格划分, 考虑到主要应力集中在刀刃部位, 因此加大对刀刃部位的网格密集程度; 选取渐近式刀片的基底螺孔处进行固定约束。考虑到双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片强度的可靠性问题, 此次使用最大载荷来测试刀片受力。通过实验室测力计来测量正常情况下茎秆片纤维提取时所受力的大小, 反向估算出刀片刃口所受力的大小, 通过测量可知单片香蕉茎秆片所受力的大小维持为 150~300 N。由于香蕉茎秆中各层茎秆片的含水率存在差异导致受力产生波动^[12]。因此在渐近式刀片刃口上加 300 N 的阻力。利用标准网格器对动刀进行网格划分, 运行算例后, 得到刀片的应力、位移、应变、安全系数云图, 如图 6 所示。

为了使图片静应力分析结果更明显, 将双层渐近式刀变形比例设定为 293。由图 6 可知, 双层渐近式刀片的最大位移量分布在刀尖位置, 且最大位移量为 0.069 mm,

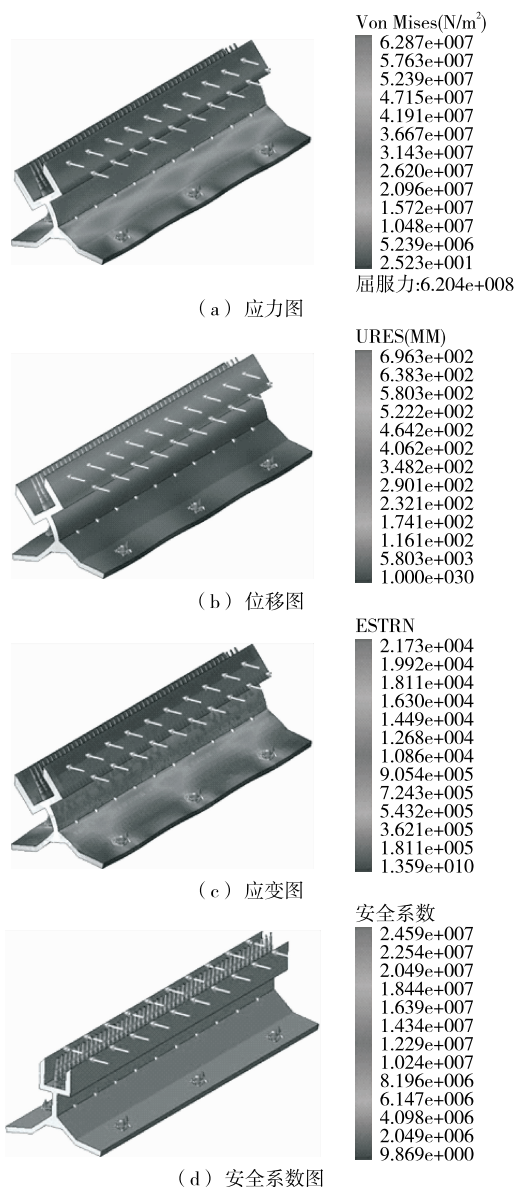


图 6 静态算例分析结果云图

Figure 6 Static study analysis result cloud

处于合金钢 (SS) 的弹性变形范围内, 刀片的安全系数最小约为 9.9, 安全系数较高。渐近式刀片的应力主要集中在刀片中间根部位置, 总的应力最大值为 62.9 MPa, 远低于刀片材料的屈服应力 620.4 MPa。因此, 双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片的强度满足设计要求。

2 对照试验设计

2.1 试验方案

该试验的目的在于观察双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片相比于普通 L 型平刃刀片在茎秆纤维提取过程中的实际优化情况以及在增加喂入片数的情况下双层渐近式刀的稳定性较平刃刀是否更优。因此, 将刀型与茎秆喂入片数作为对照试验的变量, 将纤维提取率和纤维含

表 2 试验结果[†]
Table 2 Record of experiment results

%

区组	纤维提取率				纤维含杂率			
	I 片	II 片	III 片	IV 片	I 片	II 片	III 片	IV 片
A 组刀片	16.02	15.79	15.61	15.59	10.18	10.27	10.33	10.65
B 组刀片	16.21	15.88	16.07	15.98	9.67	10.05	9.81	9.89
C 组刀片	15.92	15.10	13.23	13.75	13.75	14.32	14.12	14.66

[†] A 组表示双层非渐近刀;B 组表示双层渐近刀;C 组表示普通 L 型平刃刀,I、II、III、IV 代表不同刀型条件下测量纤维提取率和纤维含杂率所喂入的香蕉茎秆片数。

表 3 纤维提取率方差分析表
Table 3 Fiber extraction rate variance analysis table

差异源	平方和	自由度	均方	检验统计值 <i>F</i>	伴随概率 <i>P</i> -value	<i>F</i> 临界值
刀型	5.33×10^{-4}	2	2.67×10^{-4}	6.28	0.03	5.14
片数	2.17×10^{-4}	3	0.73×10^{-4}	1.71	0.26	4.76
误差	2.55×10^{-4}	6	0.43×10^{-4}			
总和	1.00×10^{-2}	11				

表 4 纤维含杂率方差分析表
Table 4 Fiber impurity analysis variance analysis table

差异源	平方和	自由度	均方	检验统计值 <i>F</i>	伴随概率 <i>P</i> -value	<i>F</i> 临界值
刀型	45.47×10^{-4}	2	22.73×10^{-4}	742.61	4.01×10^{-7}	5.14
片数	0.45×10^{-4}	3	0.15×10^{-4}	4.92	4.60×10^{-2}	4.76
误差	0.18×10^{-4}	6	0.03×10^{-4}			
总和	4.61×10^{-2}	11				

了差异,刀型的 *P* 值为 0.03,因此原假设不成立,可判定刀型的选择对纤维提取率有显著影响。而喂入片数 *P* 值为 0.26,可见喂入片数对纤维提取率的影响不显著。

从表 4 可见:对于纤维含杂率指标,刀型的 *F* 值 742.61 远大于刀型因子 *F* 临界值 5.14,可见对比差异明显,刀型的 *P* 值为 4.01×10^{-7} ,因此原假设不成立,可判定刀型的选择对于纤维含杂率有显著影响。而喂入片数 *P* 值为 0.046,可见喂入片数对纤维含杂率的影响显著。

3.2 数据分析

分析表 2 可知,A、B 组的双层刀纤维提取率要优于 C 组普通 L 型平刃刀片,A 组平均纤维提取率为 15.75%,B 组平均纤维提取率为 16.04%,A、B 组平均纤维提取率为 15.89%左右;相比于 A、B 组平均纤维提取率,C 组仅为 14.5%左右,且伴随较大波动,特别是随着喂入片数增加时 C 组较 A、B 组纤维提取率下降明显。在提升纤维提取率上,B 组双层渐近刀片比 A 组双层非渐近刀片效果更佳。

从试验数据可见随着一次喂入片数的增加,C 组纤维提取率下降较明显,下降了 2.2%。分析其原因是喂入片数厚度增加,导致 C 组普通 L 型平刃刀片的刀刃未能与茎秆纤维全面贴合,从而纤维提取效率不高。而 A、B 组影响较小,且 B 组较 A 组平均纤维提取率提高 0.3%左右,凸显了 B 组双层渐近式刀片结构相比于 C 组普通 L

型平刃刀片结构和 A 组双层非渐近刀片结构在纤维提取中更具优势,即使在多片喂入的情况下依然可以保持较高的纤维提取率。

分析纤维含杂率指标可以看出 A、B、C 3 组的平均纤维含杂率分别为 10.35%,9.85%,14.21%;B 组较 A 组纤维含杂率下降 0.45%,可见双层渐近结构相对双层非渐近结构在降低纤维含杂率效果上优于纤维提取率。B 组较 C 组平均纤维含杂率下降 4.36%,分析原因是 C 组普通 L 型平刃刀片提取的纤维断裂严重,即含杂率大,而 B 组能够在除杂的同时有效减少纤维的断裂。可见双层渐近式刀片较普通 L 型平刃刀片在降低纤维含杂率方面表现出极显著的效果。

综上所述可得:在香蕉纤维提取机械刀片中双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片以其显著的刮杂效果成为最优选择。

4 结论

本设计尝试将渐近式刀片结构运用到茎秆纤维提机的刀片中,设计出了一种由刮杂短刀、梳刮齿、刮杂长刀结构组合而成的双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片;其结构有效性在于解决了纤维含杂率高、刀具对纤维破坏程度大和多片喂入纤维提取效率低等问题,设计强度相比普通 L 型平刃刀更高。

由试验数据可知,本设计的双层渐近式香蕉茎秆纤

维提取刀片将普通 L 型刀片的纤维提取率从平均 14.50% 提升到了 16.03% 左右;纤维含杂率由原来的 14.21% 降低至 9.85% 左右。说明改进刀片相比原普通 L 型平刀刀片在提升纤维提取率和降低纤维含杂率方面效果更显著,有效提高了移动式全喂入香蕉茎秆纤维提取机的工作效率。

双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片的设计实现了香蕉纤维提取机的高效纤维提取,其刀片设计原理对纤维提取类机械刀具的后续研究与优化提供了借鉴与技术支持,有利于香蕉茎秆纤维提机后续研究与优化。

本刀片改进方案未涉及刮杂转速对纤维提取率和含杂率的影响,要解决刮刀转速对试验效果的影响,可能需要着重对梳刮齿间距进行参数优化以得出最优结构参数。

参考文献

- [1] 柯佑鹏, 过建春, 夏勇开, 等. 2013—2014 年中国香蕉产销形式分析与预测[J]. 广东农业科学, 2014(15): 184-188.
- [2] 徐树英, 谭蔚, 张玉苍. 香蕉茎秆纤维化学脱胶工艺及脱胶纤维性能[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 301-308.
- [3] 盛占武, 高锦合, 王培, 等. 香蕉纤维化学脱胶工艺优化[J]. 热带作物学报, 2012, 33(2): 359-363.
- [4] 张喜瑞, 梁栋, 李粤, 等. 移动式全喂入香蕉茎秆纤维提取机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(19): 22-30.
- [5] 曾成, 梁栋, 张喜瑞, 等. 基于螳螂前足的香蕉茎秆纤维提

取刀片仿生设计[J]. 农机化研究, 2018(3): 79-83.

- [6] 李成斌, 梁栋, 张喜瑞, 等. 滚刀刮拉式香蕉茎秆纤维提取机的设计与试验[J]. 农机化研究, 2015, 37(6): 127-135.
- [7] 王俊霖, 张喜瑞, 李粤, 等. 组合圆盘式香蕉茎秆切碎机的研究[J]. 农机化研究, 2013, 35(3): 154-163.
- [8] 郑侃. 一次喂入反向式香蕉茎秆纤维提取机关键部件研究[D]. 海口: 海南大学, 2014: 30-32.
- [9] 张喜瑞, 王自强, 李粤, 等. 滑切防缠式香蕉秸秆还田机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(3): 26-34.
- [10] 盛占武, 郑丽丽, 高锦合, 等. 香蕉纤维酶解脱胶工艺及脱胶纤维性能[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 277-284.
- [11] 董西军. 基于 SolidWorks 的参数化设计[J]. 机械制造与自动化, 2007(2): 26-27, 30.
- [12] 张喜瑞, 郑侃, 梁栋, 等. 滚扎甩碎组合式香蕉茎秆纤维提取机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 24-31.
- [13] 刘磊, 梁栋, 李粤, 等. 基于响应面分析法的香蕉茎秆纤维刮杂装置优化设计[J]. 农机化研究, 2017, 3(3): 98-104.
- [14] 熊月林. 香蕉纤维的制取及其结构理化性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2007: 13-15.
- [15] 陈敏. 香蕉纤维与亚麻、苎麻纤维的特征差异[J]. 宁波大学学报, 2010, 23(3): 109-112.
- [16] 王创. 统计假设检验中显著性水平 α 的选择[D]. 兰州: 兰州商学院, 2013: 20-22.
- [17] 姚菊香, 王盘兴, 鲍学俊, 等. 相关系数显著性检验的几何意义[J]. 南京气象学院学报, 2007(4): 566-570.

(上接第 19 页)

GRA 初步探索洋葱花青素谱—效关系,发现洋葱花青素提取物共有峰的峰面积与含量、抗氧化能力、AChE 抑制活性都有较好的相关性,可为洋葱花青素的利用及研究提供新参考。洋葱中含有的 6 中共有花青素,其他 5 种花青素物质及其洋葱花青素在体内的活性等还有待研究。

参考文献

- [1] 陈亦辉, 王卫东, 孙月娥. 洋葱中活性物质及生理药理作用研究进展[J]. 中国调味品, 2015, 40(4): 129-132, 140.
- [2] 廖春龙, 阮征, 印遇龙, 等. 洋葱化学成分、生理保健功能和我国洋葱加工现状与发展趋势[J]. 食品工业科技, 2010, 31(8): 409-412, 416.
- [3] 景志行, 吕留庄, 许剑锋, 等. 野生蓝莓总花青素生物活性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 132-135, 192.
- [4] 付辉战, 胡腾根, 邹宇晓, 等. 花色苷的功能活性及提取方法概述[J]. 农产品加工, 2017(15): 48-54.
- [5] 徐颖, 樊凡, 阴鹏涛, 等. 紫薯花青素超声波辅助酶法提取工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 150-154.
- [6] 钟兰兰, 屠迪, 杨亚, 等. 花青素生理功能研究进展及其应用前景[J]. 生物技术进展, 2013, 3(5): 346-352.
- [7] OUYANG Hui, HOU Kun, PENG Wan-xi, et al. Antioxidant and xanthine oxidase inhibitory activities of total poly-

phenols from onion[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2018, 25(7): 1 509-1 513.

- [8] EUN J L, BHIMANAGOUDA S P, KIL S Y. Antioxidants of 15 onions with white, yellow, and red colors and their relationship with pungency, anthocyanin, and quercetin[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(1): 108-114.
- [9] 陈华国, 周洁, 周欣. 响应面法优化红布林中花青素提取工艺研究[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2018, 36(3): 23-28.
- [10] KIM D O, JEONG S W, CHANG Y L. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums[J]. Food Chemistry, 2003, 81(3): 321-326.
- [11] QIU Fan, LUO Jian-guang, YAO Shun, et al. Preparative isolation and purification of anthocyanins from purple sweet potato by high-speed counter-current chromatography[J]. Journal of Separation Science, 2009, 32(12): 2 146-2 151.
- [12] ELLMAN G L, COURTNEY K D, JR V A, et al. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity[J]. Biochemical Pharmacology, 1961, 7(2): 88-95.
- [13] ZHANG Shi-lin, DENG Peng, XU Yu-chao, et al. Quantification and analysis of anthocyanin and flavonoids compositions, and antioxidant activities in onions with three different colors [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(9): 2 175-2 181.