

四种方法提取苹果肉渣果胶的流变学特性研究

李 洁, 郭玉蓉*, 窦 姣, 薛战锋, 张晓瑞

(陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西西安 710119)

摘 要:采用传统酸法(TA)、纤维素酶法(CL)、超声辅助法(UA)和微波辅助法(MA)提取苹果肉渣果胶并对其进行鉴定,考察剪切速率、浓度、温度和放置时间对四种果胶流变学特性的影响,并测定黏均分子量来验证其流变学特点。结果表明:果胶溶液的表观黏度随剪切速率的增加而降低,为典型的非牛顿流体中的假塑性流体行为。果胶溶液浓度越大,剪切稀化现象越明显。温度升高会使果胶溶液表观黏度降低。放置时间越久,果胶溶液的表观黏度越小。四种果胶溶液的表观黏度和黏均分子量大小顺序均为:TA>CL>UA>MA,黏均分子量的测定结果从理论上很好地验证了其流变学特点。

关键词:苹果肉渣,果胶,鉴定,流变学

Rheological properties of apple flesh pomace pectins extracted by four methods

LI Jie, GUO Yu-rong*, DOU Jiao, XUE Zhan-feng, ZHANG Xiao-rui

(College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: Apple flesh pomace pectins were extracted by traditional acid method (TA), cellulase method (CL), ultrasound-assisted method (UA) and microwave-assisted method (MA) and identified. The effects of shearing rate, concentration, temperature, and storage time on the rheological properties of pectins were investigated. In addition, viscosity-average molecular weights of pectins were measured to verify their rheological characterization. The results showed that the apparent viscosity of pectins dropped with the increase of shearing rate, which belonged to pseudo-plastic fluid behavior of typical non-Newtonian fluid. The shear thinning behavior was more obvious at high concentration. The increase of temperature and storage time extension led to a decrease of apparent viscosity of the pectin solution. The apparent viscosity and the viscosity-average molecular weights of the four pectins showed the following order: TA>CL>UA>MA, the rheological properties of apple pectin was successfully verified by the viscosity-average molecular weights.

Key words: apple flesh pomace; pectin; identification; rheology

中图分类号: TS201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)12-0109-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.12.015

果胶物质作为植物体中一类复杂的胶体性质糖类,在自然界的存在非常广泛,主要分布在植物的细胞壁和中间薄层。它是甲酯化的由 α -1,4-糖苷键相连接的多聚半乳糖醛酸链,一般包含300~1000个半乳糖醛酸单元^[1],相对分子质量在1万~40万u之间^[2]。果胶是一种天然的食品添加剂,在食品工业中广泛应用,如用作凝胶剂、增稠剂、稳定剂^[3-4]。果胶还具有医学功效,如防癌和抗癌^[5]。此外,果胶在化妆品中也有重要的作用。

苹果作为世界四大水果之冠,营养丰富,食用方

便,深受人们的喜爱。而随着苹果种植面积和产量的大幅度上升,我国每年产生的苹果渣有100万吨,其绝大部分直接用作饲料甚至被丢弃,只有少量苹果渣被加工利用,这不仅造成资源的浪费也带来环境污染。资料显示,干苹果渣中含有15%~18%的果胶^[6],利用苹果渣提取果胶具有实现资源综合利用,提高产品附加值和保护环境等重要意义。

果胶在食品工业中的应用主要取决于其黏度,流变特性是果胶应用于食品加工过程中极其重要的性质。影响流变性质的因素很多,如胶的种类、来源、

收稿日期: 2014-09-12

作者简介: 李洁(1989-),女,硕士研究生,主要从事食品功能成分开发及利用方面的研究。

* 通讯作者: 郭玉蓉(1962-),女,博士,教授,主要从事食品生物加工方面的研究。

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(GK661001);中央高校基本科研业务费专项资金项目(GK261001330)。

聚合度、分子量以及胶溶液的浓度、温度、pH、盐以及非盐物质。目前关于果胶的研究多集中在提取工艺优化阶段^[7-11],不同工艺提取果胶的流变学特性的研究尚未见报道。本研究从易于控制的影响因素出发,主要研究剪切速率、浓度、温度、放置时间对TA、CL、UA和MA提取苹果肉渣果胶流变特性的影响,并测定四种果胶溶液的黏均分子量来验证和解释果胶的流变学特性,为果胶的开发及在食品中的利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

苹果肉渣(水分含量10.2%) 陕西师范大学榨前分离榨汁生产线的副产物;纤维素酶 活性单位为25000U/g,荷兰DMS公司提供;95%粮食酒精 西安市晶博生物有限公司;浓盐酸、NaOH、磷酸缓冲液 均为分析纯。

KQ-300DE数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;RE 52-99旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂;LGJ-18C冷冻干燥机 北京四环科学仪器厂;EQUINX55傅里叶变换红外光谱仪 德国Brucher公司;乌氏粘度计 上海EHSY西域仪器公司;AR-G2流变仪 美国TA公司;TU-1810紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器厂。

1.2 四种方法提取苹果肉渣果胶的制备

1.2.1 原料预处理 将榨前分离得到的苹果肉渣用40℃的温水浸泡三次,60℃下鼓风烘干,粉碎过80目筛备用。

1.2.2 果胶的提取 取上述预处理过的苹果肉渣适量,分别按如下工艺参数进行提取:

TA: 料液比1:8, pH2.0, 温度90℃, 时间60min^[12]; CL: 料液比1:10, pH4.6, 酶加入量75U/g, 温度50℃, 时间300min^[13]; UA: 料液比1:25, pH1.5, 温度45℃, 功率180W, 时间40min^[14]; MA: 料液比1:14.5, pH1.0, 温度80℃, 功率500W, 时间20min^[15]。

将浸提液趁热抽滤,滤液于55℃浓缩至原体积1/4,冷却至室温,用三倍体积95%的粮食酒精醇沉24h,在4000r/min的转速下离心20min,将沉淀用95%酒精洗涤三次,真空冷冻干燥24h,即得到四种方法提取的苹果肉渣果胶,粉碎后装于干燥瓶中备用。

1.3 四种方法提取苹果肉渣果胶的鉴定

1.3.1 果胶的鉴别实验 按照GB 25533-2010的方法,对四种果胶进行鉴定^[16]。

1.3.2 果胶的红外光谱(IR)分析 将1mg干燥的果胶样品与100mg预先干燥好的KBr置于玛瑙研钵中,混匀并研细,利用压片器将其制成厚度适宜的薄片,迅速在4000~400cm⁻¹的区间进行红外光谱扫描,观察谱峰情况^[17]。

1.4 流变学性质的测定

1.4.1 浓度和剪切速率对四种方法提取苹果肉渣果胶流体特性的影响 用pH4的磷酸缓冲液配制质量浓度为2%的四种果胶溶液和0.5%的TA果胶溶液,采用AR-G2型动态流变仪在常温动态模式下,测定果胶溶液的表观黏度/剪切速率曲线。测定参数为:温

度25℃,椎板(40mm, 2°),测定采用流体模式,数据获取为连续模式,以剪切速率为变量,变量范围为0~700s⁻¹,变量扫描为线性模式^[18]。

1.4.2 温度对四种方法提取苹果肉渣果胶流体特性的影响 用pH4的磷酸缓冲液将四种果胶配制成质量浓度为2%的溶液,用AR-G2型动态流变仪在变温动态模式下测定温度对四种方法提取苹果肉渣果胶表观黏度的影响。测定参数为:椎板(40mm, 2°),温度变化范围为20~80℃,测定时间为10min,控制剪切速率为500s⁻¹。

1.4.3 放置时间对四种方法提取苹果肉渣果胶流体特性的影响 以TA提取的果胶为代表,用pH4的磷酸缓冲液配制2%质量浓度的果胶溶液,分别放置0.5h和24h后测定该果胶溶液的表观黏度/剪切速率曲线,研究放置时间对果胶流体特性的影响。测定参数为:温度25℃,椎板(40mm, 2°),测定采用常温动态模式,剪切速率范围为0~700s⁻¹。

1.5 黏均分子量的测定

在25℃条件下,用0.1mol/L, pH为7的磷酸缓冲液配制质量浓度为1、2、3、4、5、6、7、8g/L的果胶溶液,用乌氏粘度计分别测定缓冲液和果胶溶液的黏度 η_0 和 η ,测定三次取平均值。经验公式(1~2)反应了比浓黏度、比浓对数黏度和溶液浓度之间的关系。

$$\frac{\eta_{sp}}{c} = [\eta] + k[\eta]^2 \quad \text{式(1)}$$

$$\frac{\ln \eta_r}{c} = [\eta] + \beta[\eta]^2 c \quad \text{式(2)}$$

式中: $\frac{\eta_{sp}}{c}$ 为比浓黏度, $\frac{\ln \eta_r}{c}$ 为比浓对数黏度, c 为溶液的浓度, k 和 β 分别称为 Huggins 和 Kramer 常数。

根据公式 $[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{c} = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\ln \eta_r}{c}$, 分别以 $\eta_{sp}/c \sim c$ 和 $\ln \eta_r/c \sim c$ 绘图,外推至浓度 $c=0$, 确定特性黏度 $[\eta]$, 根据公式 $[\eta] = k[M_w]^\alpha$, 推算出黏均分子量 $M^{[19]}$ 。其中 $k=2.34 \times 10^{-5}$, $\alpha=0.8224$ 。

1.6 数据处理

采用TA data analysis 计算机分析软件和Excel 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 四种方法提取苹果肉渣果胶的鉴定

2.1.1 果胶的鉴别实验 按照GB 25533-2010的鉴别方法,四种样品溶液经加热冷却后均形成了粘稠状液体,加入NaOH静置15min后,均形成了半透明凝胶。加入等量HCl溶液后,均得到无色凝胶,再经煮沸时生成絮状沉淀。以上现象表明,四种方法得到的样品均为果胶产品。

2.1.2 果胶的红外光谱分析 由图1可知,四种果胶溶液在4000~400cm⁻¹区间内均具有糖类的特征吸收峰。3440cm⁻¹附近的宽峰代表-OH的伸缩振动,2934cm⁻¹处较弱的吸收峰则是由亚甲基(C-H)伸缩振动引起的,1800~1600cm⁻¹范围内的吸收峰是用来比较不同果胶的典型区域,包括1750~1740cm⁻¹和1650~1630cm⁻¹两个吸收峰,分别代表酯化羧基官能

团的酯键C=O的伸缩振动和自由羧基官能团的酯键C=O的不对称伸缩振动, 1444 cm^{-1} 处的吸收峰代表C-H弯曲振动, 而1100、1020 cm^{-1} 附近的吸收峰正是果胶中半乳糖醛酸在指纹区的特征吸收峰^[20]。红外结果进一步证明四种方法的苹果肉渣提取物均为果胶物质。

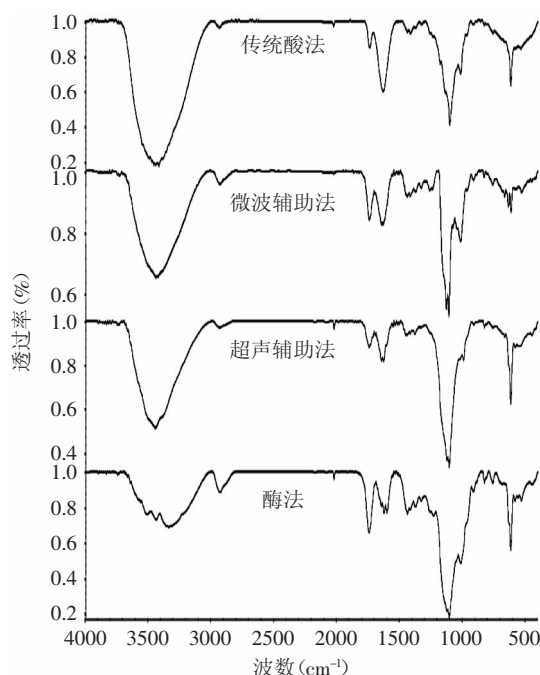


图1 四种方法提取苹果肉渣果胶的红外光谱图

Fig.1 Fourier transforms infrared spectra of apple flesh pomace pectins extracted by the four methods

2.2 四种方法提取苹果肉渣果胶的流变学特性

2.2.1 剪切速率对四种方法提取苹果肉渣果胶流体特性的影响 如图2所示, 随着剪切速率的增大, 四种果胶溶液的表观黏度均降低, 呈典型的非牛顿流体性质, 且表现为假塑性流体行为。此外, 在低剪切速率范围(0~200 s^{-1})内, 四种果胶溶液表现为典型的剪切稀化流体, 随着剪切速率升高, 四种果胶溶液的流体特性趋于稳定, 表现为由剪切稀化的非牛顿流体转向理想状态的牛顿流体。这是因为在水溶液中, 果胶分子会通过分子间相互作用形成一定的结构, 当剪切速率增加的时候, 剪切力也随之增加, 这会破

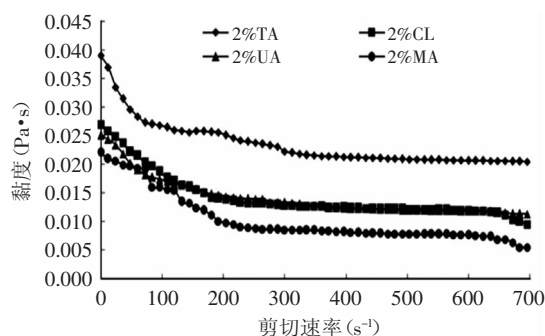


图2 剪切速率对四种方法提取苹果肉渣果胶流体特性的影响

Fig.2 Effect of shearing rate on the flow curve of apple flesh pomace pectins extracted by the four methods

坏果胶分子间的相互作用, 从而导致果胶溶液的黏度降低, 出现剪切稀化现象^[21]。

2.2.2 浓度对四种方法提取苹果肉渣果胶流体特性的影响 如图3所示, 在剪切速率0~700 s^{-1} 的区间内, 0.5%的TA果胶溶液的表观黏度为0.012~0.025 $\text{Pa}\cdot\text{s}$, 而2%的TA果胶溶液的表观黏度为0.021~0.040 $\text{Pa}\cdot\text{s}$, 果胶溶液的表观黏度随浓度的增大而升高, 且在较低的浓度范围内, 剪切稀化现象随浓度的增大而进一步加强。这是因为果胶是亲水性高分子化合物, 随着溶液浓度的增加, 果胶分子链之间的距离越来越小, 果胶分子链缠结, 分子间弱作用力(如氢键)增大, 使流体流动阻力增大, 从而使果胶溶液黏度增大^[22]。

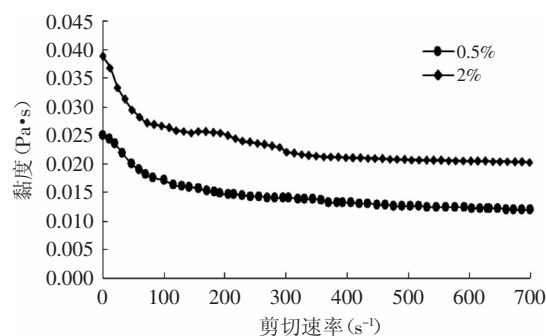


图3 浓度对TA提取果胶的流体特性的影响

Fig.3 Effect of concentration on the flow curve of apple flesh pomace pectins extracted by TA

2.2.3 温度对四种方法提取苹果肉渣果胶流体特性的影响 如图4所示, 四种苹果肉渣果胶的表观黏度随温度的升高而迅速降低, 且降低趋势逐渐减缓。温度升高对TA、CL和UA提取果胶的流体特性影响较大, 对MA提取果胶的流体特性影响不大。这主要是因为温度升高导致果胶分子的热运动加剧, 削弱了胶体大分子间的缠结, 分子间距离增大, 分子间作用力减弱, 流动时内摩擦减少, 使分子链的柔顺程度加强而使流动特性提高。在较低温度范围(20~40 $^{\circ}\text{C}$)时, 随着温度的升高, 果胶溶液中分子间的缠结体迅速被削弱, 因此表观黏度迅速降低; 而在较高温度范围(50~80 $^{\circ}\text{C}$)时, 分子间的缠结体几乎完全被削弱, 因此表观黏度下降幅度减缓^[23], 表现为趋于理想状态牛顿流体的特性。

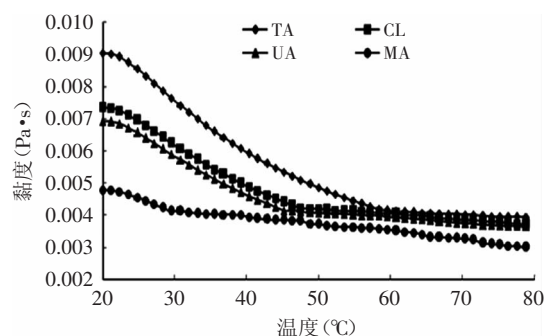


图4 温度对四种方法提取苹果肉渣果胶流体特性的影响

Fig.4 Effect of temperature on the flow curve of apple flesh pomace pectins extracted by the four methods

2.2.4 放置时间对TA提取苹果肉渣果胶流体特性的影响 如图5所示,短期放置0.5h和24h后果胶溶液的表观黏度均下降。剪切速率在较低的范围($0\sim 200\text{s}^{-1}$)时,两者均表现为剪切稀化流体;当剪切速率在较高范围($200\sim 700\text{s}^{-1}$)时,表观黏度下降幅度均趋缓且趋于一致。放置24h后,果胶溶液的初始黏度有明显的降低,该现象表明果胶分子间所形成的缠结体为一种不稳定的结构,随着放置时间的延长,果胶分子的水合作用加强,分子间的相互作用力减弱,导致果胶溶液表观黏度的下降,进而影响果胶的应用特性。

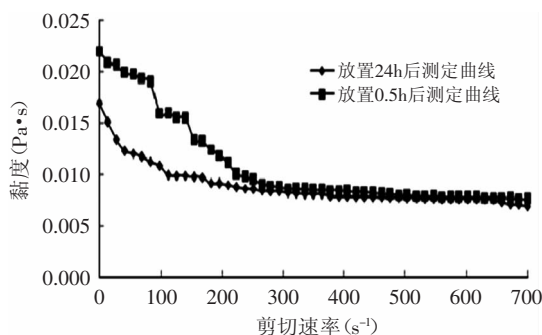


图5 放置时间对TA提取苹果肉渣果胶流体特性的影响

Fig.5 Effect of storage time on the flow curve of apple flesh pomace pectins extracted by TA

由以上分析可知:不同因素对苹果肉渣果胶流变特性影响不同,但四种果胶溶液的表观黏度初始值顺序一致,均为:TA>CL>UA>MA。

2.3 四种方法提取苹果肉渣果胶黏均分子量的比较

四种方法提取苹果肉渣果胶黏均分子量如表1所示。

表1 四种方法提取苹果肉渣果胶黏均分子量比较(u)

Table 1 Comparison of viscosity-average molecular weight (M) of apple flesh pomace pectins obtained by four methods (u)

工艺	Huggins	Kramer	平均
TA	376704	371535	374120
CL	349140	345143	347142
UA	316228	295121	305675
MA	281838	263027	272433

由表1可知,四种方法提取苹果肉渣果胶黏均分子量在200~400ku之间,TA的分子量最大,其次是CL,UA次之,MA最小。CL虽然提取条件温和,但提取时间过长会使果胶分子部分降解,导致分子量降低,而UA和MA的机械作用会打断果胶的分子链或支链基团,导致分子量降低。而四种方法提取苹果肉渣果胶表观黏度的大小顺序也为:TA>CL>UA>MA。分子量比较低时,分子链短,不能发生缠结,表观黏度较小,随着分子量增大,分子链变长,容易缠结,分子间相对位移困难,故果胶溶液的特性黏度随黏均分子量的增加而增大。黏均分子量的测定结果很好地解释和验证了果胶流变学特性。

3 结论

TA、CL、UA和MA提取苹果肉渣果胶的表观黏度均随剪切速率的增大而减小,属于典型的非牛顿流体中的假塑性流体行为。低剪切速率时剪切稀化现象严重,随剪切速率的升高,果胶溶液流体逐渐趋向于理想状态的牛顿流体。四种方法提取苹果肉渣果胶流体行为还受浓度,温度和放置时间的影响。而四种方法提取苹果肉渣果胶的黏均分子量和表观黏度大小具有相同的顺序:TA>CL>UA>MA,该结果很好地解释和验证了四种方法提取苹果肉渣果胶溶液的流变学特点。对不同方法提取苹果肉渣果胶流变学特性的研究将有助于其在食品工业中的进一步应用。

参考文献

- [1] S Yeoh, J Shi, T A G Langrish. Comparisons between different techniques for water-based extraction of pectin from orange peels [J]. Desalination, 2008, 218(1-3): 229-237.
- [2] 天津轻工业大学. 食品生物化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1994.
- [3] 谢笔钧. 食品化学[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] Wang X, Lü X. Characterization of pectic polysaccharides extracted from apple pomace by hot-compressed water[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 102: 174-184.
- [5] Crystal L J, Tina M D, Lisa K T, et al. Pectin induces apoptosis in human prostate cancer cell: correlation of apoptotic function with pectin structure[J]. Glycobiology, 2007, 17(8): 805-819.
- [6] 孙立军, 郭玉蓉, 田兰兰. 苹果果胶研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 445-449.
- [7] 台建祥, 范鸿雁, 薛慧, 等. 菠萝蜜果皮果胶提取工艺的优化[J]. 食品科技, 2014, 39(1): 236-239.
- [8] 戴少庆, 李高阳, 唐汉军, 等. 超声波辅助复合酶提橘柑皮果胶的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2014, 35(11): 193-197, 201.
- [9] 孙悦, 荆慧, 任铁强. 超声波法协同提取菠萝皮果胶的研究[J]. 福建农业学报, 2014, 29(1): 78-81.
- [10] 薛美香, 张玉燕. 超声波辅助提取芦柑皮中果胶的研究[J]. 宜春学院学报, 2014, 36(3): 98-101.
- [11] 石月锋, 周向辉, 任向莉, 等. 砂糖桔皮中果胶提取工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(6): 31-33.
- [12] 赵江, 程彦伟. 苹果渣提取果胶最佳水解条件的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2007, 28(4): 48-50, 53.
- [13] 付成程, 郭玉蓉, 霍天博, 等. 纤维素酶对苹果肉渣膳食纤维物化特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(1): 64-68.
- [14] 田玉霞, 仇农学, 邓红, 等. 苹果渣中果胶的超声波辅助提取及特性研究[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2009, 37(9): 100-104.
- [15] Sijin W, Fang C, Jihong W, et al. Optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(2): 693-700.
- [16] GB 25533-2010食品添加剂果胶[S]. 2010.
- [17] 窦姣, 郭玉蓉, 薛战锋, 等. 超声辅助提取工艺中pH对苹果

(下转第121页)

气物质种类;全形发酵辣椒和碎粒发酵辣椒的风味物质种类较多,且酯醇类的含量及种类均高于全形非发酵辣椒,其醇香味浓郁,因此朝天红辣椒适合前两种腌制加工法,而全形非发酵法加工所得制品香气清淡,不适合该品种的腌制加工。

3 结论

三种加工方式中,全形发酵法和碎粒发酵辣椒法所得成品的色泽均一,口感辣而不燥,有机酸和挥发性风味物质种类齐全且含量较高,香气浓郁,且所得成品各具特色,可依消费者喜好,辅以其他香辛料进行选择加工,因此,朝天红辣椒适合这两种加工方式;全形非发酵法腌制后所得成品的外观色泽最佳,但辣味物质含量为4.882g/kg,刺辣感强,成品的有机酸种类及含量较少,香气清淡且协调性差,朝天红辣椒不适合全形非发酵法。

参考文献

- [1] 蒋慕东,王思明. 辣椒在中国的传播及其影响[J]. 中国农史,2005(2):8.
- [2] 王锋,谭兴. 辣椒的生理功能及开发利用[J]. 中国食物与营养,2006(6):17-20.
- [3] 金莎. 辣椒中辣椒素类成分的分离及辣椒抗肿瘤活性的研究[D]. 长春:吉林农业大学,2011.
- [4] 刘向前,冯爱国,李春艳. 辣椒营养成分开发利用研究进展[J]. 农业工程,2013,3(1):48-51.
- [5] 赖晓英. 发酵辣椒工艺的研究[D]. 重庆:西南大学,2006.
- [6] 卢翰,苏爱军,谭兴和. 辣椒酱发酵工艺研究[J]. 食品与机械,2006,22(3):126-129.
- [7] 李建颖. 腌制技术与实例[M]. 北京:化学工业出版社,2005(1):241-244.
- [8] 周情操. 豇豆炮制加工适性评价及脆性研究[D]. 武汉:华中农业大学,2007.
- [9] GB/T 21266-2007,辣椒及辣椒样品中辣椒素类物质测定及辣度表示方法[S].
- [10] 安中利. 辣椒制品辣度分级及辣椒碱的抑菌研究[D]. 重庆:西南大学,2008.
- [11] 李沿飞,胡羽,屠大伟,等. 近红外光谱技术快速无损测定干辣椒的辣度[J]. 食品科技,2013,1(38):314-318.
- [12] 熊科,夏延斌,王燕,等. 辣椒及其制品辣度分级方法研究[J]. 食品科学,2007,28(5):37-40.
- [13] 王燕,夏延斌,罗凤莲,等. 辣椒素的分析方法及辣度分级[J]. 食品工业科技,2006,2:208-210.
- [14] 重庆市农业部. 重庆制定辣椒辣度标准“石柱朝天红”全国最辣[J]. 菜业资讯,2011(2):57.
- [15] ISO 7543-2:1993(E), Chillies and chilli oleoresins determination of total capsaicinoid content part 2:Method using high-performance liquid chromatography[S].
- [16] ISO 3513(Second edition 1995-05-01)Chillies-Determination of Scoville index[S].
- [17] GB/T 5009.157-2003,食品中有机酸的测定[S].
- [18] GB/T 2023-2003,食品添加剂一乳酸[S].
- [19] 贾洪峰. 发酵辣椒中风味物质的研究[D]. 重庆:西南大学,2007.
- [20] 魏永义,石晓,马永昆,等. 顶空固相微萃取和气质联用分析醋中香气成分[J]. 中国调味品,2005,32(5):103-106.
- [21] 凌关庭. 食品添加剂手册[M]. 北京:化学工业出版社,1997:2.
- [22] 罗凤莲,夏延斌,欧阳建勋,等. 剁辣椒发酵过程中滋味物质的变化[J]. 食品科学,2013,34(3):21-24.
- [23] Z B GuK zel-Seydim, A C Seydim-, A K Greene. Detennination of Organie Acids and Volatile Flavor Substances in Kefir during Fermentation[J]. Journal of food composition and analysis,2000(43):67.
- [24] 钟敏,宁正祥. 辣椒自然乳酸发酵中的变化及影响发酵质量的几个因素[J]. 食品与机械,2001(6):13-14.
- [25] 丁宝维. 桃醛合成工艺的优化及其动力学研究[D]. 天津:天津大学,2009.
- [26] 周春明,袁海波,秦志荣,等. 花香绿茶的香气成分分析[J]. 广州食品工业科技,2004,20(2):101-104.
- [27] Mazida MM,Salleh MM,Osman H,等. 不同成熟阶段辣椒挥发性香味物质的固相微萃取分析[J]. 辣椒杂志,2006,4(2):42-46.
- [28] 欧阳晶,苏悟,陶湘林,等. 辣椒发酵过程中挥发性成分变化研究[J]. 食品与机械,2012,28(6):55-58.
- [29] 周晓媛,邓靖,李福枝,等. 发酵辣椒的挥发性风味成分分析[J]. 食品与生物技术学报,2007,26(1):54-59.
- [30] Saskia M, Van Ruth, Jacques P Roozen, et al. Volatile compounds of rehydrated French beans,bell peppers and leeks. Part II. Gas chromatography/sniffing port analysis and sensory evaluation[J]. Food Chemistry,1995,54(1):1-7.
- [31] 徐耀庭,李劲松,顾炜,等. D-柠檬烯诱导人膀胱癌细胞周期阻滞及凋亡的研究[J]. 中国医学工程,2010,18(3):6-9.
- [32] 王伟江. 天然活性单萜—柠檬烯的研究进展[J]. 中国食品添加剂,2005(1):33-37.

(上接第112页)

- 果胶品质的影响[J]. 食品工业科技,2014,35(10):172-176.
- [18] 汪海波,徐群英,汪芳安. 低酯果胶的流变学特性研究[J]. 农业工程学报,2006,22(11):223-227.
 - [19] Kar F,Arsilan N. Characterization of orange peel pectin and effect of sugars,L-ascorbic acid,ammonium persulfate,salts on viscosity of orange peel pectin solutions[J]. Carbohydrate Polymers,1999,40(4):285-291.
 - [20] Coimbra M A,Barros A,Barros M,et al. Multivariate analysis of uronic acid and neutral sugars in whole pectic samples by

- FT-IR spectroscopy[J]. Carbohydrate Polymers,1998,37:241-248.
- [21] Williams P A,Sayers C,Viebkke C,et al. Elucidation of the emulsification properties of sugar beet pectin[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2005,53(9):3592-3597.
 - [22] 黄钰. 蒺藜籽果胶的流变性质及其机理研究[D]. 南昌:南昌大学,2008.
 - [23] 田玉霞,乔书涛,仇农学,等. 不同分子量级苹果果胶的流变性质评价[J]. 陕西师范大学学报:自然科学版,2010,38(1):104-108.