

# 豆腐柴叶果胶理化性质及“神仙豆腐”制备的条件

蒋立科<sup>1</sup>, 陈祎凡<sup>1</sup>, 金青<sup>1</sup>, 魏练平<sup>1</sup>, 高丽丽<sup>1</sup>, 徐云<sup>2,\*</sup>

(1.安徽农业大学生命科学学院, 安徽 合肥 230036; 2.北京中关村国际环保产业促进中心, 北京 100080)

**摘要:**目的: 研究豆腐柴叶果胶的成分及理化性质, 并揭示其制备豆腐的机制。方法: 采用硫酸对豆腐柴叶汁水解, 乙醇沉淀分离, 三氯醋酸-氯仿去蛋白, 氨化乙醇脱色, 95%乙醇沉淀纯化, 获乳黄色沉淀物; 该沉淀物采用硫酸水解, 硅胶G薄板层析测定多糖种类与组成; 测定果胶pH值、可溶性果胶含量和酯化度; 双缩脲比色法测定果胶蛋白质含量; 与民间制“神仙豆腐”同类方法验证提取物制豆腐效果。结果: 豆腐柴叶果胶的主要成分是葡萄糖、果糖、D-甘露糖, 3种糖含量为78.24%, 蛋白含量为21.76%; 果胶吸水性强, 其性质与国际检测标准相近, 酯化度为74.6%, 果胶制成的豆腐凝集度>100。结论: 豆腐柴叶制备豆腐是果胶与钙、镁离子的共同作用结果。

**关键词:** 豆腐柴; 果胶; 理化性质; 制备; 叶豆腐

Physical and Chemical Properties of Pectin from *Premna microphylla* Leaves and Its Effect on the Coagulation of Fairy Tofu

JIANG Li-ke<sup>1</sup>, CHEN Yi-fan<sup>1</sup>, JIN Qing<sup>1</sup>, WEI Lian-ping<sup>1</sup>, GAO Li-li<sup>1</sup>, XU Yun<sup>2,\*</sup>

(1. School of Life Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2. Beijing Zhongguancun International Environmental Protection Industry Promotion Center, Beijing 100080, China)

**Abstract:** Objective: To explore the sugar composition of pectin extracted from *Premna microphylla* leaves and its effect on the coagulation of Fairy Tofu, a jelly-like food prepared from *Premna microphylla* leaves and coagulant. Methods: Pectin was obtained as a creamy yellowish precipitate from *Premna microphylla* leaf juice by sulfuric acid hydrolysis, ethanol precipitation, TCA-chloroform deproteinization, ammonia-ethanol decolorization and 95% ethanol precipitation. After further hydrolysis with sulfuric acid, the precipitate (pectin) was analyzed by silica gel G thin-layer chromatography for saccharide composition. In addition, its pH, soluble pectin content and degree of esterification were determined and its protein content was measured by biuret protein assay. Also, we analyzed the effects of coagulant type (synthetic coagulant and plant ash) and dosage on the coagulation of the pectin for Fairy Tofu production. Results: The pectin extract contained 78.24% saccharides, mainly glucose, fructose and D-mannose and 21.76% protein. It had high water binding capacity and a degree of esterification of 74.6% and its properties were close to international quality standards. The Fairy Tofu prepared from it revealed a degree of coagulation higher than 100. Conclusion: The preparation of Fairy Tofu from *Premna microphylla* leaves is based on the simultaneous interactions of pectin with calcium and magnesium ions.

**Key words:** *Premna microphylla*; pectin; physical and chemical properties; preparation; leaf tofu

中图分类号: TS214.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)23-0138-05

豆腐柴(*Premna microphylla*)又名豆腐木、腐婢、华指珠、臭黄荆等, 属马鞭科, 为多年生小型落叶灌木植物, 分布于我国华东、华中、中南、西南各省区, 散生于林下或林缘, 阴坡多于阳坡, 其根、茎、叶均可以入药<sup>[1-2]</sup>, 有清热解毒、消肿止血的功效, 可以用来治疗毒蛇咬伤、无名肿毒、创伤出血等<sup>[3-4]</sup>。其叶和嫩枝含有大量果胶、蛋白质、维生素, 民间采摘其嫩叶加工制成清

凉解热、质地软脆、嫩滑爽口的“神仙豆腐”<sup>[5]</sup>, 呈清香味, 是民间夏季享用的消暑佳品<sup>[6]</sup>。

本实验以豆腐柴干叶为原材料, 采用酸解并结合有机溶剂沉淀、纯化的方法提取果胶, 采用二次脱色得到色泽均匀的果胶成品, 并对其进行酯化度、蛋白含量、可溶性果胶含量的测定。采用人工合成凝胶剂进行凝集和复凝实验, 揭示“神仙豆腐”制备的条件, 为豆腐柴

收稿日期: 2011-10-10

作者简介: 蒋立科(1942—), 女, 教授, 研究方向为生物物理化学。E-mail: swhx2@163.com

\*通信作者: 徐云(1965—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为环境保护与安全。E-mail: xy99cn@zgc.90V.cn

果胶的分离、纯化以及相关产品的开发提供相关技术参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

豆腐柴叶(含水量70%)采自黄山徽州地区荒山坡。采集4~9月份豆腐柴所生长的鲜叶,经蒸汽喷雾或红外瞬时杀青灭酶处理,然后经晾干或烘干,粉碎过筛(60目),判断叶粉末含水率是否保持在5%~8%,确定继续干燥脱水。

人工合成凝胶剂,根据蒋立科等<sup>[6]</sup>的专利配制。

### 1.2 仪器与设备

HH-2数显恒温水浴锅 国华电器有限公司;低温冷冻干燥机 上海杰拓环境试验设备有限公司;LXJ-II B低速大容量多管离心机(4800r/min) 上海安亭科学仪器厂;722型分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;电炉 江苏省通州市电通电热仪器厂;78-1型电磁搅拌器 杭州仪表电机厂。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 草木灰液的制备

捡拾干树枝和杂草烧成灰,然后经冷却备用。依每100mL蒸馏水加入20g所制草木灰,充分搅拌后即过滤,取清液备用。

#### 1.3.2 叶果胶的分离纯化

以马俊<sup>[7]</sup>的实验方法为基础,将上述原料10g叶用少量乙醇进行一次性脱色,脱色后按液比1:20(m/V)于90℃、pH4.0的盐酸溶液中提取1.5h,间歇搅拌使之均匀,用两层纱布粗滤,洗涤滤饼,合并滤液,滤渣可添加进动物饲料<sup>[8]</sup>,滤液4800r/min离心10min,取上清液,用预冷(-10~-15℃)的95%乙醇依次按体积比1:1、1:0.5、1:0.2分别加入滤液沉淀、洗涤、脱色,过滤后加入少量蒸馏水搅拌均匀后,并进行冷冻干燥。

取等量的原料叶,在相同的提取条件下分别采用丙酮-乙醇(体积比2:1)对叶果胶脱色、活性炭对叶果胶脱色、氨化乙醇溶液(体积比3:1)对果胶脱色<sup>[9]</sup>,分别与氨化乙醇溶液二次脱色法进行比较。叶果胶得率按式(1)计算。

$$\text{叶果胶得率}/\% = \frac{\text{成品叶果胶质量}}{\text{原料投入质量}} \times 100 \quad (1)$$

### 1.3.3 指标测定

#### 1.3.3.1 叶果胶酯化度的测定

结合文献<sup>[10]</sup>,参照美国食品化学药典(FCC)和美国药典上所提的方法<sup>[11-12]</sup>,测定叶果胶酯化度。为排除蛋白质-多糖复合物对滴定结果的影响,采用三氯乙酸-氯仿混合溶液(体积比2:1)排除蛋白质-多糖复合物的干扰,对果胶液脱蛋白,再经重沉淀、干燥制得果胶成品。称取果胶1g,制成1%的果胶溶液,采用0.1mol/L的NaOH滴定1%果胶溶液,以酚酞为指示剂,得原始滴定度 $V_1$ ;向样

品中继续加入0.5mol/L的NaOH 20mL,强烈振荡摇匀静置15min后,加入20mL 0.5mol/L的HCl,使用0.1mol/L的NaOH继续滴定,得皂化滴定度 $V_2$ 。按式(2)计算叶果胶酯化度。

$$\text{果胶酯化度}/\% = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100 \quad (2)$$

#### 1.3.3.2 叶果胶蛋白质含量的测定

采用双缩脲比色法<sup>[13]</sup>测定蛋白质含量。

制作标准曲线:取12支试管分两组,分别加入0.0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0mL的标准蛋白质溶液,用水补足到1mL,然后加入4mL双缩脲试剂,充分摇匀,室温(20~25℃)条件下放置30min,于540nm波长处进行比色测定。取两组测定的平均值,以蛋白质含量梯度变化为横坐标,与之对应的吸收度为纵坐标绘制标准曲线。

样品蛋白质含量的测定:用未加蛋白质溶液的第一支试管作为空白对照液,取1%果胶溶液1mL,加入4mL双缩脲试剂,于540nm波长处比色测定。按式(3)计算蛋白质含量。

$$\text{蛋白质含量}/\% = \frac{\text{稀释液蛋白质含量} \times \text{稀释倍数} \times \text{液料比}}{\text{加入的原材料质量}} \times 100 \quad (3)$$

#### 1.3.3.3 可溶性叶果胶含量的测定

采用文献<sup>[14]</sup>所述的质量法,取脱蛋白干燥叶果胶2.00g,先用乙醇回流加热以除去非果胶成分(可溶性糖、脂肪、色素等),并用乙醇、乙醚洗涤3次,风干乙醚后的样品,再提取果胶,以相应的沉淀剂使果胶物质沉淀析出、干燥,即得到果胶成品。经沉淀所得的果胶,待干燥后称质量,再按式(4)计算出原料中的可溶性叶果胶含量。

$$\text{可溶性叶果胶含量}/\% = \frac{\text{可溶性叶果胶质量}}{\text{总叶果胶质量}} \times 100 \quad (4)$$

### 1.3.4 叶果胶凝集实验

#### 1.3.4.1 凝集实验

取等量果胶液,加入不等量的人工合成凝胶剂(质量分数1.0%、1.5%、2.0%、2.5%),按0.8%添加葡萄糖酸内酯,柠檬酸调pH值至3,搅拌均匀,静置1h,果胶凝集,测定渗出液体积,并进行承重实验,观察并记录结果。

果胶凝集物载质量:将完全凝固的果胶块切割成质量为40g方块,置于天平左端。在天平右端先放置40g砝码,使两端平衡。然后在天平右端逐渐增添质量10g的砝码,用食指轻压左端果胶块,使天平两端保持平衡。添加砝码至果胶块碎裂为止,记录使果胶碎裂前的最后一组砝码总质量,即为果胶凝集物载质量。

取果胶液50mL,加入10mL所制草木灰清液,按0.8%添加葡萄糖酸内酯,促进凝集,再加柠檬酸调pH值至3,减弱叶豆腐青草味,搅拌均匀,静置1h,果胶凝集后,与添加人工合成凝胶剂进行比较,观察并记录结果。

#### 1.3.4.2 重复性的检验

取干燥后的果胶成品1g, 溶解于25mL纯水中, 加热煮沸, 对溶解后的果胶溶液, 加入人工合成凝胶剂和葡萄糖酸内酯进行复凝。取干燥后的果胶成品1g, 溶解于25mL纯水中, 加热煮沸, 对溶解后的果胶溶液, 加入草木灰浸出液和葡萄糖酸内酯进行复凝。

#### 1.3.4.3 未除蛋白与除蛋白后果胶凝集效果的比较

取两份果胶液各100mL, 其中一份先使用三氯乙酸脱蛋白。在两份果胶液中各加入1.50g人工合成凝胶剂, 比较未除蛋白与除蛋白后果胶的凝集效果。

#### 1.3.5 纯化果胶中单糖组成分析

参照孙晓雪等<sup>[15]</sup>实验方法, 纯化并酸解所获果胶后, 通过薄层层析, 鉴定果胶单糖组成。

## 2 结果与分析

### 2.1 豆腐柴叶果胶含量测定结果

表1 不同季节豆腐柴叶果胶含量的比较

Table 1 Comparison of pectin content of *Premna microphylla* leaves harvested at different times

指标	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
果胶含量/%	19.2	19.8	20.0	19.7	19.0	18.5	17.9

实验提取豆腐柴叶果胶2.003g, 得率为20%。由表1可知, 不同季节豆腐柴果胶含量是不同的, 其中5~7月果胶含量最高, 7月以后, 果胶含量开始下降。

### 2.2 叶果胶不同脱色方法的比较

采用有机溶剂对叶果胶脱色、活性炭对叶果胶脱色、醇氨水对叶果胶脱色、二次脱色的4种方法进行脱色操作, 所得叶果胶成品效果不同。

表2 不同脱色方法的比较

Table 2 Comparison of pectin content of *Premna microphylla* leaves harvested at different times

脱色方法	脱色时间	果胶成品颜色
有机溶剂脱色	5~7d	米黄
活性炭脱色	15min	灰黑
醇氨水脱色	30min	浅绿、有恶臭
二次脱色	10min	白色

由表2可知, 有机溶剂对叶果胶脱色, 时间需5d, 比其他脱色方法长, 难度大, 虽有脱色效果, 但效果不显著; 活性炭脱色, 时间较短, 仅需15min完成, 但沉淀下的果胶为灰黑色, 色泽较暗, 活性炭难回收, 成本较高; 醇氨水脱色, 操作复杂, 成本高, 沉淀所得果胶脱色效果不显著, 不仅需要果胶进行高速搅拌, 耗能大, 而且导致后续抽提分离果胶步骤困难, 流失较大, 伴有氨水的恶臭, 需对成品于80℃以上才能使氨水挥发, 增加脱氨操作, 生产成本高; 二次脱色, 得到脱色效果较好的果胶成品。仅使用少量的有机溶剂(丙酮、乙

醇体积比1:3)对原材料进行一次脱色, 即可从提取液取出沉淀下来的果胶, 置于烧杯中, 用少量乙醇浸泡并搅动5~10min, 离心分离, 即得色度均匀的白色叶果胶成品。

### 2.3 叶果胶酯化度的测定结果

依据上述方法, 测得豆腐柴叶果胶酯化度74.6%, 与马俊<sup>[7]</sup>所报道的基本相符。说明豆腐柴叶果胶属于高甲酯化果胶, 根据重复实验可得, 酯化度的高低和不同时期的原料叶有关, 如表3所示其中春夏季果胶酯化度高, 秋季较低, 但均处于70%以上。

表3 不同季节豆腐柴叶果胶酯化度的比较

Table 3 Comparison of degree of esterification of pectin extract from *Premna microphylla* leaves harvested at different times

指标	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
酯化度/%	72.4	73.8	74.6	74.3	73.1	72.0	70.8

### 2.4 果胶蛋白质含量的测定

绘得蛋白质含量标准曲线为:  $Y=0.0401X+0.125$  ( $R^2=0.9972$ ), 测得所提果胶成品稀释液 $A_{540nm}=0.1295$ , 由标准曲线公式得到稀释液质量浓度为0.1088mg/mL。

表4 不同季节豆腐柴叶果胶蛋白质含量的比较

Table 4 Comparison of protein content of pectin extract from *Premna microphylla* leaves harvested at different times

指标	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
蛋白质含量/%	20.57	21.12	21.76	22.12	21.10	20.00	19.33

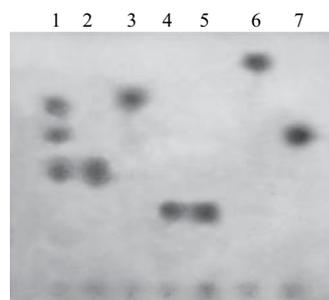
由表4可知, 不同时期的原料叶对果胶蛋白含量也有着很大影响, 春夏季植物材料营养成分丰富, 蛋白含量高, 6月份时果胶成品蛋白质含量为21.76%, 而秋季含量相对较低, 同时脱色过程也会降低蛋白含量。

### 2.5 可溶性果胶的测定结果

#### 2.5.1 叶果胶含量

实验采用质量法得到干燥可溶性果胶1.63g。可溶性果胶含量为81.5%, 不溶性果胶含量为18.5%, 不溶性果胶含量较少。

#### 2.5.2 叶果胶中的单糖组成



1. 叶果胶; 2. 葡萄糖; 3. 果糖; 4. D-半乳糖; 5. 半乳糖; 6. 木糖; 7. D-甘露糖。

图1 叶果胶多糖薄层层析图谱

Fig.1 Thin layer chromatographic pattern of pectin extract from *Premna microphylla* leaves

由图1可知, 叶果胶经树脂纯化后, 得到纯白色干品, 溶解度有所增大。通过硅胶板薄层分析显示豆腐柴果胶多糖为葡萄糖、果糖和D-甘露糖所组成的一种杂多糖。

## 2.6 叶果胶凝集实验结果

表5 不同添加量凝胶剂对叶果胶凝集效果的比较

Table 5 Effect of synthetic coagulant dosage on the coagulation of pectin extract from *Premna microphylla* leaves

凝胶剂添加量/%	凝胶强度/g	渗出液/(mL/100mL)	颜色变化
1.0	20	1.2	翠绿-浅黄
1.5	100	2.5	翠绿-浅黄
2.0	>100	20.6	翠绿-浅黄
2.5	>100	30.5	翠绿-浅黄

由表5可知, 随人工合成凝胶剂的添加量加大, 叶果胶的凝集强度随之增大, 但同时渗出液也开始增多。凝胶剂添加量在1.5%的时候果胶凝集强度大, 渗出液少。

表6 不同凝胶剂对叶果胶凝集效果的比较

Table 6 Effect of coagulant type on the coagulation of pectin extract from *Premna microphylla* leaves

凝胶方法	凝胶强度/g	渗出液/(mL/100mL)	颜色
草木灰浸出液	100	4.2	墨绿
人工合成凝胶剂(1.5%)	100	2.5	浅黄

由表6可知, 与传统的草木灰凝集相比, 人工合成凝胶剂对叶果胶的凝集在凝集强度上能达到同等效果(ZL.200910116017.7)。

## 2.7 叶果胶凝集重现性

表7 不同凝胶剂对直接凝胶与重现凝胶的比较

Table 7 Effect of coagulant type on the direct aggregation and reproducible coagulation of pectin extract from *Premna microphylla* leaves

凝胶方法	直接凝胶时间/h	重现凝胶时间/h
人工合成凝胶剂(1.5%)	1.0	2.5
草木灰浸出液	1.0	3.0

由表7可知, 成品果胶溶于适量纯水后, 加入人工合成凝胶剂, 约2.5h后, 果胶液出现凝集, 凝集时间较胶液直接凝集长1.5h。成品果胶溶于适量纯水后, 加入草木灰浸出液, 约3.0h后, 果胶液凝集, 凝集时间较果胶液直接凝集长2h。草木灰浸出液直接凝集时间和重现凝集时间与人工凝胶剂凝集时间相差不明显。

## 2.8 未除蛋白与除蛋白后果胶凝集效果的比较

表8 未除蛋白与除蛋白后果胶凝集效果的比较

Table 8 Comparison of coagulation efficiencies of pectin extract from *Premna microphylla* leaves with and without deproteinization

凝胶方法	凝胶强度/g	渗出液/(mL/100mL)	颜色
未除蛋白果胶	100	2.5	浅黄
除蛋白果胶	100	2.4	浅黄

由表8可知, 比较未除蛋白与除蛋白后果胶凝集效

果, 两者基本相同。说明果胶和蛋白质在凝集作用中的主次地位。果胶分子与二价碱土金属盐形成配位键, 是起交联作用的主要因素, 而蛋白质只是镶嵌在胶质中。

## 3 讨论与结论

### 3.1 豆腐柴叶果胶凝集与凝胶剂添加量的关系

豆腐柴叶果胶凝集效果随凝胶剂添加量升高而升高。果胶的凝集主要是利用与金属盐形成配位键产生的交联作用, 随着金属离子的浓度增大, 果胶得凝集强度也随之增大, 但强度过大会使脆松度减小, 出现脱色, 皱缩色暗; 反之均质嫩脆, 呈翠绿样。实验表明对于同季节、同地区的原料叶, 凝胶剂添加量在1.5%的时候凝集效果最好。对于不同来源的豆腐柴叶, 会因果胶含量存在季节性、地区性差异而发生变化, 所以最佳的凝胶剂添加量也不同。

### 3.2 豆腐柴叶果胶含量的季节性变化与生产

豆腐柴叶果胶含量和季节有关, 5~7月果胶含量最高, 7月份以后开始下降, 秋冬季叶子正处于枯萎的过程中, 果胶等营养物质不仅消耗加快, 且果胶酶活跃, 活性高, 果胶在叶片采集以后被果胶酶水解也能导致果胶含量的下降, 所以豆腐柴相关产品的生产受到季节的限制, 为了摆脱季节的限制开发可以通过红外瞬时杀青并干燥, 达长期贮藏叶片, 实验中所用叶片贮藏时间已有2年, 凝集效果依然很好, 表明实验中所采用的处理和贮藏叶片的方法有利于叶片的长期保存, 对延长豆腐柴相关产品的生产周期有重大意义。

### 3.3 豆腐柴果胶预凝胶形成的问题

豆腐柴果胶(主要组分: 葡萄糖、果糖和D-甘露糖)在低于其凝胶温度的条件下, 会在凝胶剂分散均匀之前迅速发生凝集, 形成具有颗粒的预凝胶, 形似果酱。形成预凝胶以后无论怎么改变条件都不再形成凝胶。主要是因为低于其凝胶温度的情况下果胶可以快速凝集, 而在金属盐没有分散均匀的情况下果胶就以金属离子为中心开始发生交联, 形成小颗粒凝胶后, 小胶粒逐渐增大, 交联作用产生的聚集力不足以使胶粒聚集, 所以不能形成凝胶状态, 只能保持果酱的状态。为了避免预凝胶的形成, 实验中首先对胶液进行预热(高于20℃), 随果胶液量的增大继续提高预热温度, 在高于凝胶温度的条件下加入凝胶剂快速搅拌均匀或加入凝胶剂溶液(注意溶液加入对胶液状态造成的影响), 搅拌均匀后在低于凝胶温度的环境中形成凝胶, 这样可以有效的避免预凝胶的形成。

### 3.4 依果胶酯化度选择沉淀剂

果胶的沉淀剂有电解质沉淀剂(如氯化钠、氯化钙等)和有机溶剂沉淀剂(如酒精、丙酮等)两类。前者用于低酯化度

(20%~50%)果胶的沉淀,但沉淀前需以0.1mol/L NaOH溶液对果胶进行皂化处理;后者用于高酯化度(50%以上)果胶的沉淀,但需注意随着酯化度升高,所需有机溶剂的浓度加大。豆腐柴中所含果胶为高酯化度果胶<sup>[15]</sup>。

综前所述,神仙豆腐(即观音豆腐)是采用豆腐柴叶经加水搓揉所挤压的叶汁经草木灰液点卤后所形成的胶状物。经对所形成胶状物主要物质分离并检验证明,形成胶状豆腐的核心作用物为果胶而蛋白质仅是点缀在胶状物中的附属物。果胶组成成分为L-葡萄糖、L-果糖和D-果糖。所提取果胶与豆腐柴叶提取液形成豆腐过程与状态类似,只是前者因纯化脱色显微黄色而已。此种多糖在豆腐柴中含果胶量如此之高在其他植物叶中甚不多见。所提取的果胶的凝集重复性表明在开发人们饮用的方便饮料、丰富饮食生活发展长江以南及沿江丘陵山区的经济具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴. 第三卷[M]. 北京: 科学出版社, 1977.
- [2] 周国其, 郑小江. 鄂西南木本植物资源[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2000: 251.
- [3] 李时珍. 本草纲目(腐婢)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1972, 24: 1512-1513.
- [4] 罗文倩, 王建安. 从豆腐柴中提取果胶的研究[J]. 安康师专学报, 2003(12): 66-67.
- [5] 王存文, 徐汶, 王维同. 提取豆腐柴叶果胶动力学研究[J]. 林产化学与工业, 2008(5): 16-20.
- [6] 蒋立科, 徐云. 一种豆腐柴叶加工方法: 中国, 200910116017.2[P]. 2009-06-17.
- [7] 马俊. 从豆腐柴中提取果胶的工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2007(5): 114-116.
- [8] 蒋立科, 罗曼, 杨永年. 豆腐柴蛋白营养及安全性研究[J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(3): 283-287.
- [9] 太树明, 尤小祥, 李刚. 果胶脱色工艺的改进[J]. 食品科学, 1999, 20(3): 37-38.
- [10] 王红梅, 陶芳, 魏练平, 等. 豆腐柴果胶的纯化及其理化性质的研究[J]. 中国野生植物资源, 2009(12): 60-62.
- [11] US Pharmacopeial. Food chemical codex[M]. Washington DC: National Academy of Science, 1981: 283-286.
- [12] The United States Pharmacopeial. The national formulary[M]. Rockville, MD: United Pharmacopeial Convention, 2003: 1401-1402.
- [13] 陈福明. 豆腐柴叶提取果胶工艺研究[J]. 浙江林业科技, 1988(3): 20-26.
- [14] 凌关庭. 食品添加剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1989: 1100.
- [15] 孙晓雪, 孙卫东, 史德芳, 等. 仙人掌多糖提取过程中脱蛋白方法的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2007, 19(1): 117-119; 122.