

网络出版时间:2017-05-10 13:38

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.06.026

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170510.1338.052.html>

高压脉冲电场辅助提取人参中 多种水溶物的工艺优化

范 超^{1,2}, 徐凌志², 孙长波², 董思敏¹, 殷涌光³, 张 晶²

(1 吉林农业大学 中药材学院, 吉林 长春 130118; 2 长春科技学院, 吉林 长春 130600; 3 吉林大学 生物与农业工程学院, 吉林 长春 130000)

【摘 要】 【目的】优化高压脉冲电场辅助(PEF)法从人参药材中提取多种水溶物的工艺条件。【方法】以电场强度、脉冲数及料(g)液(mL)比为因变量,以人参皂苷、人参多糖、AF 及 AFG 提取率为指标,在单因素试验基础上,设计 3 因素 3 水平正交试验,用 PEF 法提取人参中水溶性物质并对工艺参数进行优化,最后与用煎煮法和超声法对各提取物的提取率进行比较。【结果】用 PEF 法提取人参多种水溶物的最佳工艺条件为:电场强度 25 kV/cm,脉冲数 10,料(g)液(mL)比 1:30。在此条件下,人参水提物中的皂苷、多糖、AF 和 AFG 提取率分别为 0.98%,7.20%,0.19%,0.11%;且各成分提取率均高于煎煮法及超声法。【结论】优化了人参中水溶物的提取工艺。

【关键词】 高压脉冲电场法;人参皂苷;人参多糖;AF;AFG

【中图分类号】 R284.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)06-0193-06

Optimization of high voltage pulse electric field assisted extraction of ginseng aqueous extracts

FAN Chao^{1,2}, XU Lingzhi², SUN Changbo², DONG Simin¹,
YIN Yongguang³, ZHANG Jing²

(1 College of Chinese Medicine Materials, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China;

2 Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130600, China;

3 College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin 130000, China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to improve the extraction of ginseng aqueous extracts assisted by high voltage pulsed electric field (PEF). 【Method】 The effects of electric field intensity, number of pulses and material-water ratio on extraction yields of ginsenoside, ginseng polysaccharide, AF and AFG were tested based on single factor experiments. Then orthogonal experiments of the three factors at three levels were conducted to optimize the extraction process and the yields were compared with other methods. 【Result】 The optimal conditions of PEF process to extract ginseng aqueous extracts were electric field intensity 25 kV/cm, number of pulses 10 and material-water ratio 1:30. The yields of ginsenoside, polysaccharide, AF and AFG were 0.98%, 7.20%, 0.19%, 0.11%, respectively. All the yields were higher than other methods. 【Conclusion】 The extraction process had been optimized and the PEF technology can be used for extraction of ginseng aqueous extracts.

Key words: high voltage pulsed electric field; ginseng; ginsenoside; ginseng polysaccharide; AF; AFG

〔收稿日期〕 2016-03-25

〔基金项目〕 吉林省科技发展计划项目(20140204063YY); 长科技合(2013177)号计划项目(13NK06)

〔作者简介〕 范 超(1992—),女,吉林公主岭人,硕士,主要从事中药新药研究与开发。E-mail:18704490774@163.com

〔通信作者〕 张 晶(1971—),女,吉林长春人,教授,博士,主要从事天然产物化学研究。E-mail:zhjing0701@163.com

人参(*Panax ginseng* C. A. Meyer.)为五加科多年生草本植物,含有皂苷、多糖、含氮化合物、无机元素以及挥发油等成分^[1]。其中的水溶性成分具有丰富的药理活性,如人参皂苷能够保护人类内表皮细胞并减少心肌的损伤^[2-3],对皮肤具有保湿作用^[4],也能够抑制酪氨酸酶活性^[5],清除 DPPH 自由基^[6];人参中性多糖不仅能抑制炎症^[7],还具有很好的保湿效果和清除自由基的能力^[8],是一种天然的保湿剂^[9];人参中水溶性的精氨酸单糖苷(AF)及精氨酸双糖苷(AFG)是人参加工过程中的梅拉德(Maillard)反应生成的^[10],有很好的保湿及抗氧化活性^[11]。基于这些成分的药理活性,若能高效提取人参中的水溶性成分,将可大大提高人参的生物利用度。高压脉冲电场提取(PEF)法通过破坏植物细胞膜,增加细胞内物质溶出的途径,可在短时间内将材料中的成分高效提取出来^[12-13],相比于传统的提取方法,PEF 法能够更好地保留提取物中的活性成分^[14]。本研究即尝试将 PEF 法应用于人参中皂苷、多糖、AF 和 AFG 多种水溶性成分的联合提取,并对其工艺参数进行了优化,旨在更大程度地提高人参水溶性有效成分的提取率,使人参的药效作用得到更好的发挥。

1 材料与方法

1.1 材料

人参(*Panax ginseng* C. A. Meyer.)采自吉林抚松的人工种植基地,经张晶教授鉴定为 4 年生人参根,粉碎过 0.074 mm 筛,待用。

人参皂苷 Re 标准品(批号:20121034,纯度 98%)购自大连美仑生物技术有限公司;葡萄糖标准品(批号:20120308,纯度 98.86%)购自贵州迪大科技有限公司;AF 标准品和 AFG 标准品为吉林农业大学中药材学院实验室自制,经 HPLC 法测定其纯度为 97%。

无水乙醇、苯酚、硫酸、石油醚、正丁醇、甲醇、香草醛、三乙胺、异硫氰酸苯酯、醋酸钠,均为分析纯;乙腈,色谱纯。

1.2 仪器与设备

岛津色谱仪,SPD-20AUV/VIS 检测器(日本岛津公司);VenusII-AA 氨基酸分析专用柱,杭州赛析科技有限公司;高压脉冲电场仪,吉林大学实验室自制;D100A 数显定时蠕动泵,上海青浦沪西仪器厂;胶体磨,天津市鑫普机械制造有限公司;PL 303 电子天平,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;紫外-可

见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;离心机,上海安亭科学仪器厂;超声波清洗器 KQ-250DB 型,昆山超声波仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 PEF 法提取人参水溶性成分的单因素试验

称取若干份人参粉末,每份 5.000 g,加蒸馏水后按照不同的料(g)液(mL)比胶磨匀质,以 10 mL/min 的流速进行如下试验。

(1)电场强度对提取率的影响。按照电场强度为 10,15,20,25,30 kV/cm,脉冲数为 10,料液比为 1:30 进行提取,提取液经 4 000 r/min 离心 10 min 得上清液,浓缩备用,得供试品 S1-1。

(2)脉冲数对提取率的影响。按照脉冲数为 4,6,8,10,12,电场强度为 25 kV/cm,料液比为 1:30 进行提取,提取液经 4 000 r/min 离心 10 min 得上清液,浓缩备用,得供试品 S1-2。

(3)料液比对提取率的影响。按照料液比为 1:10,1:15,1:20,1:25,1:30,1:35,电场强度为 25 kV/cm,脉冲数为 10 进行提取,提取液经 4 000 r/min 离心 10 min 得上清液,浓缩备用,得供试品 S1-3。

1.3.2 煎煮法提取人参水溶性成分 精密称取 4 份人参粉末,每份 5.000 g,分别加 10 倍量的水煎煮提取 2 次,每次 30 min,5 000 r/min 离心 10 min 得上清液,浓缩备用,得供试品 S2。

1.3.3 超声法提取人参水溶性成分 精密称取 4 份人参粉末,每份 5.000 g,分别按料液比 1:30 加入蒸馏水进行超声提取,每次提取时间为 30 min,5 000 r/min 离心 10 min 得上清液,浓缩备用,得供试品 S3。

1.3.4 人参皂苷含量的测定^[15] (1)标准曲线的绘制。以人参皂苷 Re 标准品质量浓度为自变量(x),溶剂为空白绘制标准曲线,在 544 nm 下测吸光度值(y),得回归方程 $y=5.007\ 3x-0.012\ 4$, $R^2=0.999\ 1$,表明人参皂苷 Re 标准品在 0.04~0.16 mg/mL 下线性关系良好。

(2)样品吸光度值的测定。将供试品 S1(含 S1-1、S1-2 和 S1-3)、S2、S3 分别用石油醚及水饱和正丁醇依次萃取 2 次,将下层萃取液挥干,再用甲醇定容至 25 mL,吸取样液 300 μ L 于试管中并将甲醇挥干,加入体积分数 8% 的香草醛乙醇溶液 0.5 mL,再加体积分数 72% 的硫酸溶液 5 mL,60 $^{\circ}$ C 水浴加热 15 min,冷却至室温后测定 544 nm 下的吸光度值,再根据标准曲线计算各样品人参皂苷的含量。

1.3.5 人参多糖含量的测定^[16] (1)标准曲线的绘制。以葡萄糖标准品质量浓度为自变量(x),蒸馏水为空白,测 490 nm 下的吸光度值(y),绘制标准曲线为 $y=7.045\ 7x-0.003\ 3$, $R^2=0.999\ 0$,表明葡萄糖在 0.02~0.12 mg/mL 下线性关系良好。

(2)样品吸光度值的测定。将供试品 S1(含 S1-1、S1-2 和 S1-3)、S2、S3 分别加入无水乙醇中,使其体积分数达到 80% 以上,在 4℃ 条件下放置 24 h,然后 7 000 r/min 离心 10 min 弃上清,得多糖沉淀,用蒸馏水溶解沉淀得多糖溶液。吸取多糖溶液,加入体积分数 5% 的苯酚溶液 1 mL,摇匀,加浓硫酸 5 mL 振摇 5 min,静置 10 min 后再沸水浴加热 20 min,冷却至室温,在 490 nm 处测定其吸光度值,再根据标准曲线计算各样品中人参多糖的含量。

1.3.6 AF 及 AFG 含量的测定 (1)对照品溶液的衍生。分别精密称取 AF 和 AFG 标准品 4 mg,加入 4 mL 蒸馏水,混合均匀。取 1 mL 于离心管中,加入三乙胺乙腈溶液 100 μ L 和异硫氰酸苯酯乙腈溶液 50 μ L,混匀后于室温放置 1 h,再加入环己烷 400 μ L,振摇放置 10 min,取下层溶液,0.45 μ m 滤膜过滤,取 20 μ L 进样分析。

(2)样品溶液的衍生。分别精密称取 4 mg 供试品 S1(含 S1-1、S1-2 和 S1-3)、S2 和 S3,加入 4 mL 蒸馏水混匀。同上述对照品衍生方法进行处理。

(3)色谱条件。VenusII-AA 氨基酸分析专用柱(5 μ m,4.6 μ m $\times$ 250 mm),柱温 40℃,检测波长 254 nm,流动相为醋酸钠缓冲盐溶液(A)和 80% 乙腈(B),流速为 1.0 mL/min,进样量为 20 μ L,洗脱程序:0~4 min,0%~3% B;4~16 min,3%~10% B;16~20 min,10%~20% B;20~21 min,20%~100% B;21~31 min,100% B。色谱图见图 1。

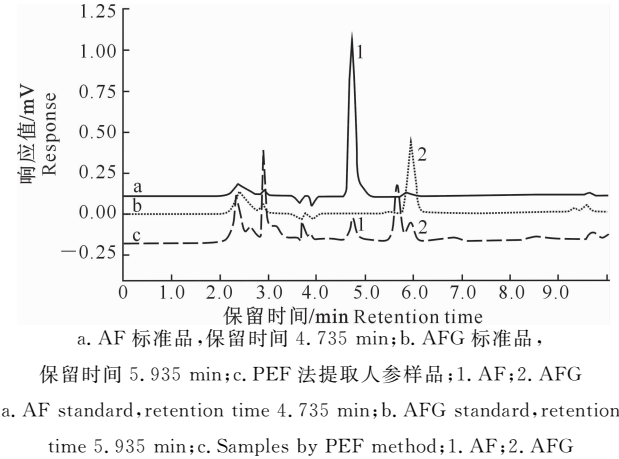


图1 AF、AFG 标准品和人参样品的色谱图
Fig.1 Chromatogram of AF,AFG and sample

1.3.7 正交试验设计 在单因素试验基础上,采用 $L_9(3^3)$ 正交试验,以人参皂苷、人参多糖、AF 和 AFG 提取率为指标,对电场强度,脉冲数和料(g)液(mL)比 3 个因素的试验水平进行优化。因素水平设计见表 1。

表1 人参水提物提取的 $L_9(3^3)$ 正交试验方案
Table 1 Factors and levels for $L_9(3^3)$ of ginseng aqueous

水平 Level	因素 Factors		
	电场强度/ (kV·cm ⁻¹) Electric field intensity	脉冲数 Pulse number	料(g)液(mL)比 Material- water ratio
	A	B	C
1	20	8	1:25
2	25	10	1:30
3	30	12	1:35

2 结果与分析

2.1 人参水溶物提取工艺的单因素试验结果

2.1.1 电场强度对提取率的影响 由图 2 可知,人参中多糖提取率随着电场强度的增强呈现增加的趋势,但在电场强度为 25~30 kV/cm 时,人参多糖提取率相差不大;人参皂苷和 AF 提取率随电场强度的增强均呈现先增加后减少的趋势,且在电场强度为 25 kV/cm 时达到最大;AFG 提取率呈现先减少后增加的趋势,也在 25 kV/cm 时达最大。综合 4 种成分的提取率变化趋势认为,在电场强度为 25 kV/cm 时,4 种成分提取率均相对较高。

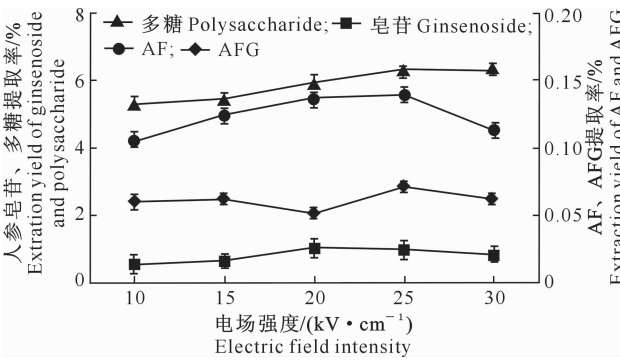


图2 电场强度对4种人参水溶物提取率的影响
Fig.2 Influence of electric field intensity on 4 ginseng indicators

2.1.2 脉冲数对提取率的影响 由图 3 可知,脉冲数为 10 时,人参多糖提取率明显高于其他脉冲数处理;当脉冲数为 8~10 时,人参皂苷提取率明显高于其他脉冲数处理;AF 提取率随着脉冲数的增加总体变化不大;AFG 提取率随着脉冲数的增加总体呈现先增加后减少的趋势,在脉冲数为 10 时提取率最

高。因此认为,脉冲数为 10 左右时,4 种成分的提取效果均表现较好。

2.1.3 料(g)液(mL)比对提取率的影响 由图 4 可知,人参多糖提取率随着料液比的增大逐渐降低,但在 1 : 30 时略有升高的趋势,料液比为 1 : 10 时,

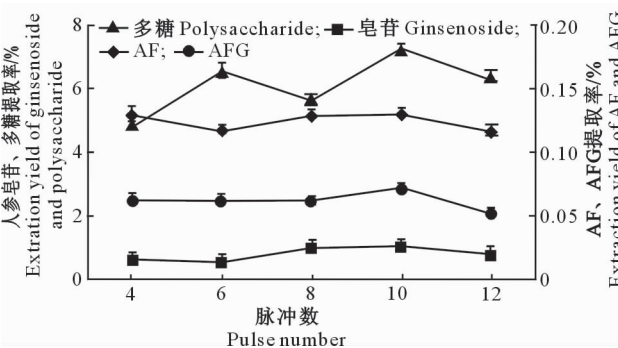


图 3 脉冲数对 4 种人参水溶物提取率的影响
Fig. 3 Influence of pulse number on 4 ginseng indicators

2.2 PEF 法提取人参水溶物的正交试验结果
根据单因素试验结果可知,当电场强度为 25 kV/cm,脉冲数为 10,料液比为 1 : 30 时,人参皂

人参多糖提取率最高;人参皂苷提取率随着料液比增大呈现缓慢递增的趋势,1 : 30 处理下提取率最高;AF 提取率呈现先增加后减少的趋势;AFG 提取率呈现出先减少后增加再减少的趋势,但变化不大。综合考虑认为,料液比为 1 : 30 较为合适。

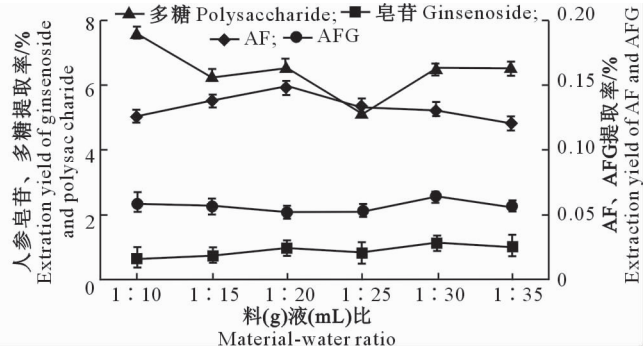


图 4 料液比对 4 种人参水溶物提取率的影响
Fig. 4 Influence of material-water ratio on 4 ginseng indicators

苷、人参多糖、AF 及 AFG 提取效果较好,据此进行 $L_9(3^3)$ 正交试验,结果如表 2 和表 3 所示。

表 2 PEF 法提取人参水溶物工艺条件的正交试验结果

		因素 Factor			提取率/% Extraction ratio			
试验号 Test number		电场强度 Electric field intensity A	脉冲数 Pulse number B	料(g)液(mL)比 Material-water ratio C	人参多糖 Ginseng polysaccharide	人参皂苷 Ginsenoside	AF	AFG
1		1	1	1	5.21	0.71	0.13	0.07
2		1	2	3	6.34	0.94	0.12	0.06
3		1	3	2	4.98	0.68	0.14	0.09
4		2	1	2	6.71	0.74	0.17	0.10
5		2	2	1	7.10	0.92	0.15	0.08
6		2	3	3	6.17	0.72	0.11	0.06
7		3	1	3	6.23	0.53	0.08	0.05
8		3	2	2	7.17	0.88	0.11	0.04
9		3	3	1	4.52	0.48	0.09	0.06
人参多糖 Ginseng polysaccharide	k_1	5.51	6.05	5.61				
	k_2	6.66	6.88	6.29				
	k_3	5.98	5.22	6.25				
	R	1.15	1.66	0.68				
人参皂苷 Ginsenoside	k_1	0.78	0.66	0.70				
	k_2	0.79	0.91	0.77				
	k_3	0.63	0.63	0.73				
	R	0.16	0.28	0.07				
AF	k_1	0.13	0.13	0.12				
	k_2	0.14	0.13	0.14				
	k_3	0.09	0.11	0.10				
	R	0.05	0.02	0.04				
AFG	k_1	0.07	0.07	0.06				
	k_2	0.08	0.06	0.08				
	k_3	0.05	0.07	0.06				
	R	0.03	0.01	0.02				

表 3 人参水溶物提取工艺正交试验结果的方差分析

Table 3 Analysis of variance for ginseng extracts

成分 Composition	方差来源 Sources of variance	方差平方和 Sum of squares of variance	自由度 Degrees of freedom	均值 Mean value	F 值 F value	显著性 Significant
人参多糖 Ginseng polysaccharide	A	2.014	2	1.007	11.125	*
	B	4.118	2	2.059	22.754	
	C	0.863	2	0.432	4.770	
人参皂苷 Ginsenoside	A	0.048	2	0.024	7.817	*
	B	0.147	2	0.074	23.785	
	C	0.006	2	0.003	0.978	
AF	A	0.004	2	0.002	25.857	*
	B	0.001	2	0.008	2.286	
	C	0.002	2	0.001	13.000	
AFG	A	0.001	2	0.001	2.680	
	B	0.000	2	0.007	0.520	
	C	0.001	2	0.001	1.120	

注:“*”代表具有显著性($P<0.05$)。

Note: * indicates significant difference at $P<0.05$.

由表 2 可知,脉冲数对人参多糖和人参皂苷提取率的影响最大,电场强度对 AF 和 AFG 的提取率影响较大。各因素对人参多糖提取率的影响大小依次为 $B>A>C$,提取工艺以 $A_2B_2C_2$ 组合最好;对人参皂苷提取率的影响大小依次为 $B>A>C$,提取工艺以 $A_2B_2C_2$ 组合最好;对 AF 和 AFG 提取率的影响大小均依次为 $A>C>B$,AF 提取工艺以 $A_2B_1C_2$ 或 $A_2B_2C_2$ 组合最好;AFG 提取工艺以 $A_2B_1C_1$ 或 $A_2B_3C_1$ 组合最好。由综合方差分析结果(表 3)可知,脉冲数对人参皂苷提取率影响差异显著,对其他成分提取率无明显差异。电场强度对人参多糖和 AF 提取率影响显著。综合表 2 和表 3 结果认为,电场强度和料液比取 A_2 和 C_2 水平,脉冲数取 B_2 水平,因此确定最佳工艺为 $A_2B_2C_2$ 。即电场强度为

25 kV/cm,脉冲数为 10,料液比为 1:30。

2.3 最优提取工艺的验证

由于筛选出的最佳工艺在正交试验中未出现,故在 $A_2B_2C_2$ 条件下进行 3 次平行试验,发现人参多糖平均提取率为 7.20%,人参皂苷平均提取率为 0.98%,AF 平均提取率为 0.19%,AFG 平均提取率为 0.11%,均高于正交试验中的最佳数据,故确定 $A_2B_2C_2$ 为最佳的提取工艺条件,即电场强度为 25 kV/cm,脉冲数为 10,料液比为 1:30。

2.4 基于不同方法的人参水溶物提取率的比较

以 PEF 法对人参中的 4 种水溶性成分提取率,与用煎煮法和超声法的提取率进行比较,结果见表 4。由表 4 可知,PEF 法对人参中各成分的提取率均优于煎煮法和超声法。

表 4 不同提取方法下人参多糖、人参皂苷、AF 和 AFG 提取率的比较

Table 4 Extraction ratios of polysaccharide, ginsenoside, AF, and AFG by different extraction methods %				
提取方法 Method of extraction	人参多糖 Ginseng polysaccharide	人参皂苷 Ginsenoside	AF	AFG
PEF 法 Method of PEF	7.20	0.98	0.19	0.11
煎煮法 Method of decoction	1.94	0.22	0.01	0.02
超声法 Ultrasonic method	5.42	0.58	0.03	0.01

3 结论与讨论

本试验以人参皂苷、人参多糖、AF 和 AFG 提取率为指标,考察了 PEF 法中电场强度、脉冲数和料液比 3 个因素对人参水提物提取率的影响,并进行了工艺优化。试验结果显示,PEF 法提取人参水提物的最佳工艺为电场强度 25 kV/cm,脉冲数 10,料液比 1:30,相同条件下,基于 PEF 法提取的人参皂苷、人参多糖、AF 和 AFG 的提取率均明显高于

煎煮法及超声法。

AF 与 AFG 均为人参加工过程中产生的物质,而在鲜人参中无 AF 和 AFG。生晒参和红参经过处理后,其存在的麦芽糖或葡萄糖会与精氨酸发生梅拉德反应,进而形成 AF 和 AFG^[17]。研究表明,用 PEF 法的 AF 提取率要高于 AFG 提取率,PEF 法处理时的最高温度为 33.4℃^[18],所以可以排除温度对 AF 及 AFG 含量的影响。

本试验用 PEF 法提取人参中多种有效成分,如

人参皂苷、人参多糖、AF 及 AFG,优化了相关的提取条件,大大提高了有效成分的提取率,其操作条件温和,无毒性残留,参数易控制,具有均匀、快速^[19],能够将组织充分破坏,使有效物质更加充分溶出、且对有效成分破坏少^[20]等优点,非常适合用于天然活性物质的提取,为近几年国内外加工领域研究的热点。与煎煮法和超声提取法相比,高压脉冲电场产生的热能较少、成本低、操作简单、耗时短,安全可靠,是一种有效的提取方法。

[参考文献]

- [1] 黎 阳,张铁军,刘素香,等. 人参化学成分和药理研究进展 [J]. 中草药,2009,40(1):164-166.
Li Y,Zhang T J,Liu S X,et al. Ginseng chemical constituents and pharmacological research progress [J]. Chinese Herbal Medicine,2009,40(1):164-166.
- [2] Cheng F,Liu Y,Ping L,et al. Total saponins of panax ginseng inhibiting human endothelium cells' damages induced by angiotensin II via AT1 receptor [J]. Journal of Ethnopharmacology,2011,138(2):439-444.
- [3] Aravinthan A,Kim J H,Antonisamy P,et al. Ginseng total saponin attenuates myocardial injury via anti-oxidative and anti-inflammatory properties [J]. Journal of Ginseng Research,2015,39:206-212.
- [4] Chen W,Dang Y J,Zhu C Y. Simultaneous determination of three major bioactive saponins of *Panax notoginseng* using liquid chromatography-tandem mass spectrometry and a pharmacokinetic study [J]. Chinese Medicine,2010(5):12.
- [5] Lee Y,Chung I,et al. Activation of multiple effector pathways of immune system by the antineoplastic immunostimulator acidic polysaccharide ginsan isolated from *Panax ginseng* [J]. Anticancer Research,1997,17(1):323.
- [6] 倪维华. 人参多糖免疫活性及抗肿瘤作用 [D]. 长春:东北师范大学,2010.
Ni W H. Ginseng polysaccharide immune activity and antitumor effect [D]. Changchun: Northeast Normal University,2010.
- [7] Wang L,Yu X,Yang X,et al. Structural and anti-inflammatory characterization of a novel neutral polysaccharide from North American ginseng (*Panax quinquefolius*) [J]. International Journal of Biological Macromolecules,2015,121(74):12-17.
- [8] Sun Y. Structure and biological activities of the polysaccharides from the leaves,roots and fruits of *Panax ginseng* C. A. Meyer:an overview [J]. Carbohydrate Polymers,2011,85(3):490-499.
- [9] Ping S,Chen X,Sun P. Improvement of antioxidant and moisture-preserving activities of *Sargassum horneri* polysaccharide enzymatic hydrolyzates [J]. International Journal of Biological Macromolecules,2015,74:420-427.
- [10] 李向高,郑毅男,刘墨祥,等. 红参加工梅拉德反应及其产物的研究 [J]. 中国中药杂志,1999,24(5):274-278.
Li X G,Zheng Y N,Liu M X,et al. Red ginseng processing products of maillard reaction and its research [J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine,1999,24(5):274-278.
- [11] Lee J S,Kim G N,Lee S H,et al. *In vitro* and cellular antioxidant activity of arginyl-fructose and arginyl-fructosyl-glucose [J]. Food Science and Biotechnology,2009,8(6):1505-1510.
- [12] 韦汉昌,韦群兰,何建华,等. 高压脉冲电场辅助乙醇连续化提取栀子黄色素工艺条件的研究 [J]. 化工技术与开发,2011,40(5):1-3.
Wei H C,Wei Q L,He J H,et al. High-voltage pulsed electric field assisted continuous ethanol extraction process conditions of gardenia yellow pigment research [J]. Journal of Chemical Technology and Development,2011,40(5):1-3.
- [13] 周亚军,贺 琴,吴都峰,等. 高压脉冲电场辅助提取河蚌多糖工艺优化 [J]. 农业机械学报,2014(S1):236-240.
Zhou Y J,He Q,Wu D F,et al. High-voltage pulsed electric field assisted extraction of mussels polysaccharide process optimization [J]. Journal of Agricultural Machinery,2014(S1):236-240.
- [14] Loginova K V,Vorobiev E,Bals O,et al. Pilot study of countercurrent cold and mild heat extraction of sugar from sugar beets, assisted by pulsed electric fields [J]. Journal of Food Engineering,2011,102(4):340-347.
- [15] 吴斌秀,赖招连. 紫外分光光度法测定西洋参含片中人参总皂苷 [J]. 海峡药学,2007,19(8):68-70.
Wu B X,Lai Z L. Ultraviolet spectrophotometric method determination of ginseng total saponins in American ginseng lozenges [J]. Journal of Strait Medicine,2007,19(8):68-70.
- [16] 宋利华,萧 伟,鹿丽丽,等. 正交试验优选人参多糖的提取工艺 [J]. 中草药,2012,43(2):283-287.
Song L H,Xiao W,Lu L L,et al. Orthogonal test optimization of ginseng polysaccharides extraction process [J]. Chinese Herbal Medicine,2012,43(2):283-287.
- [17] 赵 婷. 人工合成 L-精氨酸单糖苷(AF)及其抗糖尿病药理活性研究 [D]. 长春:吉林农业大学,2013.
Zhao T. Artificially synthetic of L-arginine (AF) and its single indican anti-diabetic pharmacological activity research [D]. Changchun:Jilin Agricultural University,2013.
- [18] 周玉权. 利用高压脉冲电场辅助提取蛋黄磷脂酰胆碱的作用效果研究 [D]. 长春:吉林大学,2014.
Zhou Y Q. Use of high-voltage pulsed electric field assisted extraction of egg yolk phosphatidylcholine effect research [D]. Changchun:Jilin University,2014.
- [19] Sui Q,Roginski H,Williams R P W,et al. Effect of pulsed electric field and thermal treatment on the physicochemical and functional properties of whey protein isolate [J]. International Dairy Journal,2011,21(4):206-213.
- [20] Loginova K V,Vorobiev E,Bals O,et al. Pilot study of countercurrent cold and mild heat extraction of sugar from sugar beets,assisted by pulsed electric fields [J]. Journal of Food Engineering,2011,102(4):340-347.