

# 粽叶中黄酮的提取工艺及其与稀土元素在沸水中的析出规律

闫荣玲,廖 阳\*,唐秋玲,陈 洋,王春妹,谢紫祯

湖南科技学院化学与生物工程学院,永州 425199

**摘要:**为更好进行粽叶的综合开发与利用,本研究关注了粽叶黄酮的提取工艺、稀土元素含量以及二者在沸水中的析出规律。结果发现,(1)粽叶黄酮的最佳提取工艺为提取温度 90 ℃,提取时间 1.5 h,乙醇浓度 80%,料液比 1:15。(2)粽叶中稀土元素的含量极低,Pm、Tb、Ho、Tm、Lu 未被检出,其他 12 种元素含量顺序为 Ce > La > Nd > Y > Sc > Pr > Gd > Sm > Eu > Dy > Er > Yb,总含量为 0.0907 mg/Kg。(3)持续煮沸条件下,黄酮集中在 10~20 min 析出,煮液中黄酮含量达 0.091 mg/mL,而稀土元素的析出十分微少,其中 Pm、Tb、Ho、Tm、Lu、Er、Yb 无析出,其余元素析出量 Ce > La > Nd > Y > Sc > Pr > Gd > Eu > Sm > Dy,析出总量为 0.1192 ng/g。结果表明,粽叶的黄酮含量较高,提取工艺简易,沸水中有明显析出,而稀土元素含量极其稀少,沸水中析出甚微。

**关键词:**提取工艺;析出规律;黄酮;稀土元素;粽叶

中图分类号:Q945.1

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2016.8.026

## Extraction Process of Flavonoids and Precipitation Law of Flavonoids and Rare Earth Elements in Boiling Water from *Indocalamus latifolius* Leaves

YAN Rong-ling, LIAO Yang\*, TANG Qiu-ling, CHEN Yang, WANG Chun-mei, XIE Zi-zi

School of Chemistry and Bioengineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425199, China

**Abstract:** In order to have a better comprehensive development and utilization of *Indocalamus latifolius* leaves, the present research focused on the extraction process of flavonoids and precipitation law of flavonoids and rare earth elements in boiling water from *I. latifolius* leaves. The results showed that, (1) the optimal extraction process of flavonoids from *I. latifolius* leaves were extraction temperature of 90 ℃, extraction time of 1.5 h, ethanol concentration of 80%, solid-liquid ratio of 1:15 (g/mL). Under the optimal conditions, the maximal extraction rate of total flavonoids was 4.83%. (2) The total content of rare earth elements (REE) in *I. latifolius* leaves showed a extremely low value of 0.0907 mg/kg, five elements including Pm, Tb, Ho, Tm, Lu were not detected and the content order of other 12 elements was Ce > La > Nd > Y > Sc > Pr > Gd > Sm > Eu > Dy > Er > Yb. (3) In continuous boiling water, flavonoids precipitated during 10-20 min, its content in the boiling liquid reached 0.091 mg/mL. However, the REE precipitation was little, total precipitation amount of all species was only 0.1192 ng/g, the order of precipitation amount was Ce > La > Nd > Y > Sc > Pr > Gd > Eu > Sm > Dy, and Pm, Tb, Ho, Tm, Lu, Er, Yb had no precipitation. The results indicated that, there is a high level of flavonoid content in *I. latifolius* leaves, its extraction method was simple and showed an obvious precipitation in continues boiling water. Conversely, the REE content in *I. latifolius* leaves was extremely rare, and precipitated very little in boiling water.

**Key words:** extraction process; precipitation law; flavonoids; rare earth elements; *Indocalamus latifolius*

粽叶也称箬叶 (*Indocalamus latifolius*), 因其具有独特的竹叶清香和较大的表面积, 长期以来被人们用作粽子以及其他食物的包装材料。粽叶中含有大量对人体有益的营养与活性物质, 人们在利用其

包裹食物的同时也发挥了其保健功效<sup>[1]</sup>。粽叶广泛分布于我国南方丘陵地区, 资源丰富且栽培成本低、繁殖力强, 具有巨大的开发潜力。近年来, 有研究者开始关注其营养元素含量以及挥发油、多糖等活性物质的提取、分离与成分分析, 但总体而言关于粽叶的研究资料还十分有限<sup>[2-4]</sup>。

黄酮是指以“黄烷核”为基本骨架的一类多酚化合物, 多以糖苷形式存在。其具有较高的药用价

收稿日期:2016-03-03 接受日期:2016-05-18

基金项目:湖南省科技厅科研项目(2014NK3133);湖南省创新团队项目(2012-318);2015年永州市科技局科研项目(2015-10);2014年湖南科技学院科研课题(14XKY109)

\* 通讯作者 E-mail:liaoyang1127@163.com

值,表现出抗菌、抗炎、抗癌、抗氧化、调节心脑血管与免疫系统等多重功效<sup>[5]</sup>。国内外对黄酮类化合物的提取、精制及性质研究发展迅速,提取的原料包括橙皮、葛根、薄荷、银杏叶等作物、果蔬或药材<sup>[6-10]</sup>,但对粽叶中黄酮的提取还鲜见报道。另一方面,目前粽叶的主要应用即作为食物的包装材料,且往往与被包裹的食物一起进行高温蒸煮处理,这样其组织中所含有的营养和活性物质包括黄酮类化合物会有一定程度的析出,最终被人体摄入。那么,在持续煮沸的高温条件下,粽叶中的黄酮会表现出怎样的析出规律是我们关注的问题之一。

与其他营养元素不同,稀土元素并非植物生长的必需元素,但适量的稀土元素可以提高植物的抗性、产量与品质,促进植物的次生代谢与相关风味物质的合成,因此,对植物的生命活动具有明显的积极意义<sup>[11]</sup>。虽然已有关于粽叶中部分微量元素含量的报道,但还未见粽叶中稀土元素含量的报道,本研究对此进行初步探讨。如前所述,与黄酮等活性物质一样,在作为包装材料与食物一同接受高温处理时,稀土元素也会不同程度地从粽叶中析出从而被人体吸收。研究发现,稀土元素在人体的富集会导导致智力下降、免疫异常、器官损伤等毒害作用<sup>[12]</sup>。因此,在了解粽叶中稀土元素含量的基础上,测定其在持续煮沸的高温条件下,会有怎样的析出规律具有重要意义,这也是本研究关注的另一个重要问题。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

粽叶采摘自湖南省永州市冷水滩区上岭桥镇,将新鲜粽叶洗净晾干后放入电热鼓风干燥箱(50℃)烘干,之后转入粉碎机中打成粉末状,过50目筛保存于干燥的棕色试剂瓶中用于黄酮的提取。进行黄酮与稀土元素析出规律研究时,取新鲜叶片洗净烘干后即可,不进行打粉处理。

### 1.2 黄酮的提取工艺研究与含量测定<sup>[7,13]</sup>

标准曲线制作:精密称取芦丁标准试剂10 mg,用浓度为70%的乙醇溶解,并全部转入100 mL容量瓶中,用70%乙醇定容,摇匀,得质量浓度为0.1 mg/mL的标准溶液。分别精密量取上述芦丁标准溶液0.0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mL于6支10 mL比色管中,用浓度为70%乙醇补至5 mL,分别加入5%亚硝酸钠溶液0.3 mL,摇匀,放置6 min,再加入

10%硝酸铝溶液0.3 mL,摇匀,放置6 min,加入4%氢氧化钠溶液4 mL,用蒸馏水定容至10 mL,放置15 min,以空白试剂为参比,510 nm波长下利用722可见分光光度计测定不同浓度芦丁标准液的吸光度,以吸光值为横坐标,芦丁浓度为纵坐标绘制标准曲线。

采用乙醇回流法研究了乙醇浓度、料液比、提取时间、提取温度四个因素对提取率的影响,其计算公式为提取率(%)=(提取液中黄酮总含量×100/称取原料重量)%。所有实验均称取粽叶粉末原料5.0 g,首先分别进行单因素实验:在料液比为1:15,提取时间为1 h,提取温度为70℃的条件下,确定提取率随乙醇浓度(40%、50%、60%、70%、80%、90%)的变化趋势;在料液比为1:15,提取时间为1 h,乙醇浓度为70%条件下,确定提取率随提取温度(40、50、60、70、80、90℃)的变化趋势;在料液比为1:15,乙醇浓度为70%,提取温度为70℃条件下,确定提取率随提取时间(0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 h)的变化趋势;在乙醇浓度为70%,提取时间为1 h,提取温度为70℃条件下,确定提取率随料液比(1:5、1:10、1:15、1:20、1:25、1:30)的变化趋势。基于单因素实验的结果确定各因素的水平设置,进行正交实验优化黄酮的提取工艺,并对所得优化后的提取工艺进行验证。各提取条件下得到的提取液,均量取5 mL参照前述标准曲线制作的方法,在510 nm处测定吸光度后根据标准曲线得到相应的黄酮含量。

### 1.3 稀土元素含量的测定<sup>[14]</sup>

采用密闭高压消解 ICP-MS 法进行金属以及稀土元素含量的测定。取适量混合标准液,用硝酸配制成浓度为0、0.1、0.5、1.0、3.0、5.0 μg/L的标准系列。然后将标准系列工作液分别注入电感耦合等离子体质谱仪(Agilent 7700),测定相应的信号响应值,绘制标准曲线。样本测量时,先称取0.5 g(精确至0.0001 g)样本于消解内罐中,加入5 mL硝酸浸泡过夜(冷消化)。盖好内盖,旋紧不锈钢外套,放入恒温干燥箱,160℃保持6 h,在箱内自然冷却至室温,缓慢旋松不锈钢外套,将消解内罐取出,放在控温电热板上于140℃赶酸,当内罐中的消化液大约剩2 mL时,加5 mL超纯水继续赶酸至2 mL左右,重复以上步骤直至赶酸完成。消解内罐放冷后,将消化液转移至10 mL容量瓶中,洗罐3次,洗液合并于容量瓶中并定容至刻度,混匀待测。将试样溶

液注入电感耦合等离子体质谱仪中,得到相应信号响应值,根据标准曲线得到待测液中相应元素的浓度,平行测定3次求平均值。

#### 1.4 沸水持续煮沸条件下稀土元素与黄酮释出量测定

选取烘干后完整粽叶3片,称重后放入300 mL煮沸的超纯水中,在持续煮沸到30 min时,测定此时超纯水体积后,取5 mL煮液经冷却、定容后用电感耦合等离子体质谱仪(Agilent 7700)对滤液中稀土元素含量进行测定,并计算每种元素的释出率以及总释出率,各元素释出率=(各稀土元素释出量 $\times 100$ /粽叶中各稀土元素含量)%,总释出率=(所有稀土元素的总释出量 $\times 100$ /粽叶中稀土元素总含量)%;对于黄酮则在持续煮沸过程中,跟踪测定其析出量的变化情况,将选好的15片烘干后的完整粽叶分成5份,每份3片称重后分别置于相同体积(300 mL)的沸水中,并在5、10、15、20、25、30 min时

逐一取其中一份煮液,测定此时溶液总体积后,利用上述1.2中方法分别加入5%亚硝酸钠等试剂测定黄酮的含量,并根据上述公式计算其析出律。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄酮提取工艺

单因素实验结果显示,提取率分别在温度为80 $^{\circ}\text{C}$ ,持续时间1.5 h,乙醇浓度70%,料液比1:20时提取率最高。根据单因素的实验结果进行了正交实验各因素的水平设置,具体如表1所示。正交实验结果显示,四个因素对提取率的影响大小顺序为提取温度>乙醇浓度>料液比>提取时间,最佳提取工艺为 $A_3B_3C_1D_2$ 组合,即温度90 $^{\circ}\text{C}$ ,乙醇浓度80%,料液比1:15,提取时间1.5 h。按照正交实验得到的优化工艺条件进行验证试验获得的提取率为4.80%,证明得到的优化工艺正确可行。

表1 正交试验因素、水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平 Level	(A) 提取温度 Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	(B) 乙醇浓度 Ethanol concentration (%)	(C) 料液比 Solid-liquid ratio	(D) 提取时间 Extraction time (h)
1	70	60	1:15	1
2	80	70	1:20	1.5
3	90	80	1:25	2

表2 正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal test

序号 No.	A	B	C	D	提取率 Extraction rate (%)
1	1	1	1	1	3.52
2	1	2	2	2	3.85
3	1	3	3	3	3.86
4	2	1	2	3	4.01
5	2	2	3	1	3.67
6	2	3	1	2	4.83
7	3	1	3	2	3.92
8	3	2	1	3	4.46
9	3	3	2	1	4.28
$k_1$	3.69	3.82	4.44	3.82	
$K_2$	4.17	3.99	4.04	4.20	
$K_3$	4.22	4.32	4.05	4.11	
R	0.53	0.50	0.40	0.38	

## 2.2 稀土元素含量

永州粽叶中所有稀土元素的含量极低,仅 La、Ce、Nd 三种元素的含量大于 0.01 mg/kg, Er、Yb 两种元素的含量甚至低于 0.001 mg/kg, 且有 Pm、Tb、

Ho、Tm、Lu 共 5 种元素未被检出。检测到存在的 12 种元素含量顺序为  $Ce > La > Nd > Y > Sc > Pr > Gd > Sm > Eu > Dy > Er > Yb$ , 所有稀土元素的总含量为 0.0907 mg/kg。

表 3 永州粽叶中稀土元素含量

Table 3 Content of REE in *I. latifolius* leaves of Yongzhou (mg/kg)

素种类 Elements species	元素含量 Elements content	元素种类 Elements species	元素含量 Elements content
钇 Y	0.0086	钆 Gd	0.0027
钪 Sc	0.0071	铽 Tb	0.0000
镧 La	0.0198	镝 Dy	0.0013
铈 Ce	0.0304	铥 Ho	0.0000
镨 Pr	0.0036	铒 Er	0.0007
钷 Pm	0.0000	铥 Tm	0.0000
钕 Nd	0.0117	镱 Yb	0.0006
钐 Sm	0.0024	镱 Lu	0.0000
铕 Eu	0.0018		

## 2.3 黄酮与稀土元素在沸水中的析出规律

黄酮在持续煮沸条件下有明显析出,煮液中的黄酮含量最高达 0.091 mg/mL。处理过程中,黄酮的析出集中在 10~20 min,其中又以 10~15 min 区间析出量最多,在 0~5 min 以及 20~25 min 时间段仅有少量析出,25 min 后煮液中的黄酮含量不再增加。

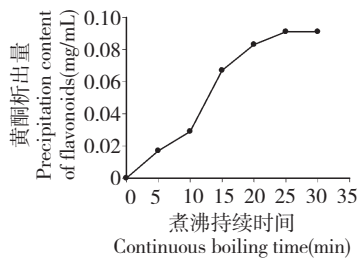


图 1 持续煮沸条件下粽叶中黄酮的析出规律

Fig. 1 Precipitation law of flavonoids from *I. latifolius* leaves under continuous boiling treatment

煮沸 30 min 后,各稀土元素的析出量及对应的析出率汇总于表 4 中。由表可知,除在粽叶中未能检出的 Pm、Tb、Ho、Tm、Lu 五种元素未见有析出外,另有 Er、Yb 二种元素在煮沸处理过程中未有析出。各稀土元素的析出总量为 0.1192  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,析出量大顺序为  $Ce > La > Nd > Y > Sc > Pr > Gd > Eu > Sm > Dy$ ,对应的析出率的大小顺序为  $Dy > Sc > Sm >$

$Nd > Pr > Y > Gd > Eu > Ce > La$ 。

表 4 续煮沸条件下稀土元素的析出规律

Table 4 Precipitation law of REE from *I. latifolius* leaves under continuous boiling treatment

元素种类 Elements species	析出量 Precipitation amount ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	析出率 Precipitation rate (%)
钇 Y	0.0089	9.7
钪 Sc	0.0049	14.5
镧 La	0.0410	4.8
铈 Ce	0.0420	7.2
镨 Pr	0.0036	10.0
钷 Pm	0.0000	0
钕 Nd	0.0111	10.5
钐 Sm	0.0021	11.4
铕 Eu	0.0024	7.5
钆 Gd	0.0032	8.4
铽 Tb	0.0000	0
镝 Dy	0.0008	16.3
铥 Ho	0.0000	0
铒 Er	0.0000	0
铥 Tm	0.0000	0
镱 Yb	0.0000	0
镱 Lu	0.0000	0

### 3 讨论

植物叶片或果蔬在蒸煮过程中能散发出独特清香,是因为其细胞内含有醇、酯、酮等次生代谢活性物质,黄酮即为这些活性物质中的其中一类<sup>[15,16]</sup>。由于其对人体有改善心脑血管循环、抗菌、抗氧化等多种功效,已经被应用于医疗、保健等多个领域<sup>[5]</sup>。人们已经对多种植物资源体内黄酮的含量及其提取工艺做了大量研究,为这些植物资源的开发利用与经济价值的提升提供了依据<sup>[6-10]</sup>。本研究建立了粽叶黄酮的最佳提取工艺,温度 90 ℃,乙醇浓度 80%,料液比 1:15,提取时间 1.5 h。比较可知,此提取工艺提取次数少(葛根中黄酮的提取次数为 3 次),耗时短(银杏叶黄酮提取耗时 3 h),料液比低(荷叶黄酮提取料液比达到 1:40)<sup>[9,10,17]</sup>。因此,本研究得到的提取工艺简单、高效、成本低且提取率较高,这为粽叶的综合利用与开发提供了依据。需要指出的是,黄酮是一类物质的总称,我们除了需要关注各种植物资源黄酮含量的高低,提取工艺的难易外,还需关注不同植物中所含黄酮的物质组成差异<sup>[18]</sup>。粽叶中黄酮的物质组成特征及其与其他植物间的差异有待进一步分析。

另一方面,本研究结果发现,黄酮在持续煮沸条件下析出明显,煮液中的黄酮含量最高可达 0.091 mg/mL。结果提示,人们利用粽叶包裹食物时,在高温蒸煮使食物变熟的过程中,粽叶中的黄酮会不断析出,其中一部分则会浸润到被包裹的食物中,从而被摄入人体从而起到一定的保健作用,对人体的健康产生积极效应。值得注意的是,在持续煮沸处理过程中,黄酮的析出表现出一定的时相特征,即其析出主要集中在 10~20 min 这一时间段,其中又以 10~15 min 时间段析出量最多,25 min 后几乎不再析出。结果提示,单从黄酮的角度来看,在保证食物变熟的前提下,蒸煮的烹饪时间达到 25 min 后已可以最大程度发挥出粽叶的保健功能。

适量稀土元素对植物的增产、提质以及其他生命活动具有明显的积极效应。近年来,随着高精度仪器设备的普及,越来越多植物特别是农作物品种体内稀土元素含量被测定<sup>[19,20]</sup>。本研究发现,粽叶中的稀土元素含量极低,甚至有部分元素未被检出,这与正常条件下土壤本身以及植物体内稀土元素含量稀少相吻合。值得注意的是,虽然各稀土元素的含量均十分微量,但不同元素种类的含量之间还是

存在差异,且以 La、Ce、Nd 三者含量较高,这与人们在其他植物以及我们之前对油茶、绞股蓝的研究结果一致<sup>[14,21]</sup>。不同稀土元素在同一植物体内含量不同,以及同一稀土元素在不同植物体内的含量差异明显,可能与土壤中稀土元素本身含量及其所处形态,植物本身对不同元素的需求量,根系的选择吸收等因素有关。

稀土元素与其他元素一样,可以通过食物链进入人体。与其他矿质元素容易被代谢排出体外不同的是,稀土元素会在人体血液、大脑、骨骼等器官富集从而产生严重的毒害效应<sup>[22]</sup>。因此,其用作食品包装材料的安全性值得关注。本研究结果显示,粽叶中稀土元素含量远远低于国家对茶叶中稀土元素的控制标准<sup>[23]</sup>,且粽叶中的稀土元素在持续沸水条件下不能全部析出,析出的稀土元素也不能全部进入食物而被人体摄入。可见,以粽叶作为食物的包裹材料是十分安全的。

综上,粽叶具有较高的黄酮含量,提取工艺简单,沸水中有明显析出;而稀土元素含量极其稀少,沸水中析出甚微,其作为食品的包装材料十分安全且具有良好的保健作用。研究结果为粽叶的综合开发利用提供了理论依据。

**致谢:**非常感谢永州疾病预防控制中心唐融政科长给本工作提供的帮助以及湖南科技学院张超群、王静同学在本工作中所出的贡献。

#### 参考文献

- 1 Zhou Y(周熠),Tan XH(谭兴和),Li QM(李清明). GC-MS analysis of volatile oil extracted from *Indocalamus latifolius* leaves by simultaneous distillation and extraction. *Food Sci* (食品科学), 2009, 30:199-202.
- 2 Li SF(李水芳),Wen RZ(文瑞芝),Zeng D(曾栋),et al. Analysis of essential oils from *Indocalamus latifolius* leaves by GC/MS. *J Chin Mass Spectrom Soc* (质谱学报), 2007, 28:117-122.
- 3 Meng QY(孟庆玉),Li YQ(黎源倩). Determination of seven metal elements in reed leaves by atomic absorption spectrometry after microwave acid digestion. *Mod Prev Med* (现代预防医学), 2007, 34:4711-4713.
- 4 Shen XZ(申湘忠). Extraction separation and spectral analysis of polysaccharides from *Indocalamus*. *Hunan Agric Sci* (湖南农业科学), 2011, 1:103-106.
- 5 Yan X(延玺),Liu HQ(刘会青),Zou YQ(邹永青),et al. Physiological activities and research advance in synthesis of

- flavonoids. *Chin J Org Chem* (有机化学), 2008, 28: 1534-1544.
- 6 Zhang Y(张英), Wu XQ(吴晓琴), Yu ZY(俞卓裕). Studies on seasonal variation of flavonoids and lactones in bamboo leaves. *Chem Ind For Prod*(林产化学与工业), 2002, 22(2): 65-69.
- 7 Wang J(王军), Wang M(王敏), Ji L(季璐). Optimum technology for extracting flavonoids from tartary buckwheat bran and its mathematical model. *Trans CSAE* (农业工程学报), 2006, 22: 223-225.
- 8 Yu JS(郁建生), Yu JP(郁建平). Study on extraction techniques and variety trends of the flavonoids in *Sarcandrae glabra*. *Chin J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2007, 32: 307-309.
- 9 Hou XM(侯学敏), Li LX(李林霞), Zhang ZF(张直峰), et al. Total flavonoids from *Mentha haplocalyx* Briq. leaves: Optimization of extraction process by response surface methodology and antioxidant activity. *Food Sci* (食品科学), 2013, 34: 124-128.
- 10 Zeng XQ(曾祥群). Extraction process of total flavonoids from *Radix Puerariae*. *Sci Technol Food Ind* (食品工业科技), 2000, 21(3): 33-34.
- 11 Wahid PA, Valiathan MS, Kamalam NV, et al. Effect of rare earth elements on growth and nutrition of coconut palm and root competition for these elements between the palm and *Calotropis gigan* tea. *J Plant Nutr*, 2000, 23: 329-338.
- 12 Wu HF, Zhang XY, Li XJ, et al. Acute biochemical effects of  $\text{La}(\text{NO}_3)_3$  on liver and kidney tissues by magic-angle spinning 1H nuclear magnetic resonance spectroscopy and pattern recognition. *Anal Biochem*, 2005, 339: 242-248.
- 13 Li JJ(李姣娟), Gong JL(龚建良), Zhou J H(周尽花), et al. Research on extraction and antioxidant of the total flavonoids from *Camellia oleifera* Abel leaves. *Food Res Dev* (食品研究与开发), 2008, 29(12): 93-96.
- 14 Lin L(林立), Chen G(陈光), Chen HY(陈红玉). Determination of 16 rare elements in tea leaves by ICP-MS. *Envir Chem* (环境化学), 2007, 26: 555-557.
- 15 Yang TZ(杨铁钊), Li QK(李钦奎), Li W(李伟). Plant secondary metabolism and aroma substances of tobacco. *Chin Tobacco Sci* (中国烟草科学), 2005, 4: 23-26.
- 16 Han L(韩琳), Chen X(陈雪). Research on extraction method of volatile aroma compounds from fresh fruit of *Rosa roxburghii* Tratt. *Sci Tech Food Ind* (食品工业科技), 2007, 28: 100-102.
- 17 Liu CF(刘重芳), Wu ZR(吴志荣), Fang QH(方青汉). Inquiry into extraction technology for total flavone in *Folium Ginkgo*. *Chin Patent Med*(中成药), 1992, 14(7): 7-9.
- 18 Xu Q(徐青), Lu YY(卢莹莹), Xin JM(辛建美), et al. Macroporous resin adsorption for the separation of sea asparagus flavonoids. *Food Sci* (食品科学), 2011, 32: 115-119.
- 19 Jin SL(金姝兰), Huang YZ(黄益宗), Hu Y(胡莹), et al. Rare earth elements content and health risk assessment of soil and crops in typical rare earth mine area in Jiangxi Province. *Acta Sci Circum* (环境科学学报), 2014, 34: 3084-3093.
- 20 Jiang ZW(姜照伟), Weng BQ(翁伯琦), Huang YF(黄元仿), et al. Concentration and distribution characteristics of rare earth elements lanthanum in forages under different dressing methods. *J Zhejiang Univ, Agric Life Sci*(浙江大学学报, 农业与生命科学版), 2008, 34: 281-288.
- 21 Liao Y(廖阳), Zeng FX(曾凡兴), Zhang J(张敬), et al. Content of rare earth elements and active substances in wild *Gynostemma pentaphyllum* of Yongzhou and their releasing law in boiling water. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2016, 28: 236-241.
- 22 Liu JG(刘建国), Wang SH(王素华). Advance of the research on the damaging effect of rare earth elements and their compounds on body. *J Baotou Med Coll* (包头医学院学报), 2015, 31: 162-163.
- 23 Ministry of Health, PRC(中华人民共和国卫生部). GB2762-2012 Pollutant Limits in Food. Beijing: Standard Press of China, 2012.