

18 种黔产苦荞中微量元素与有效成分含量的相关性\*

迟明艳, 徐昌艳, 周雯\*\*

(贵州医科大学 药学院, 贵州 贵阳 550025)

**[摘要]** 目的: 测定 18 种黔不同产地苦荞中有效成分(芦丁、槲皮素、总黄酮)及 13 种微量元素[铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)、铜(Cu)、铝(Al)、锰(Mn)、锌(Zn)、铈(Se)、银(Ag)、锡(Sn)、锑(Sb)及钡(Ba)]的含量,探讨苦荞中有效成分与微量元素间的关系。**方法:**采用高效液相色谱法对黔产苦荞中芦丁和槲皮素进行含量测定,紫外分光光度法对总黄酮进行含量测定,微波消解-电感等离子体质谱法(ICP-MS)测定 13 种微量元素的含量;分析 18 批样品中微量元素与有效成分之间的相互关系。**结果:**18 批苦荞样品的有害重金属元素(Pb、Cd、Hg、As、Cu)的残留量在标准限度浓度范围内,其中 As 含量与 Cu、Al 具有负相关性,与 Ag 具有正相关性;Cu 含量与 Al、Mn、Sb 具有正相关性,与 Ag 具有负相关性;芦丁含量与 Zn、Se 具有正相关性,槲皮素含量与 Zn、Se、Ag 正相关,总黄酮含量与 Zn 正相关。**结论:**苦荞中芦丁、槲皮素、总黄酮与微量元素含量之间存在相关关系,可为苦荞质量的控制提供科学依据。

**[关键词]** 苦荞; 芦丁; 槲皮素; 总黄酮; 微量元素; 相关分析

**[中图分类号]** R917      **[文献标识码]** A      **[文章编号]** 1000-2707(2019)11-1295-06

**DOI:**10.19367/j.cnki.1000-2707.2019.11.010

Research on the Correlation of Trace Elements and Active  
Ingredients in *F. esculentum* from Guizhou Province

CHI Mingyan, XU Changyan, ZHOU Wen

(School of Pharmacy, Guizhou Medical University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

**[Abstract]** **Objective:** To determinate the contents of active components such as rutin, quercetin and total flavonoids, and 13 trace elements in *F. esculentum* from Guizhou province, discuss the relationships among its various constituents. **Methods:** Rutin and quercetin were determined by HPLC. The content of total flavonoids was determined using ultraviolet spectrophotometry. ICP-MS was employed to determine the contents of trace elements such as Pb and Cd. Relationship between mineral elements and effective components in *F. esculentum* was analyzed by double variable correlation method. **Results:** The residues of harmful heavy metal elements (Pb, Cd, Hg, As, Cu) in 18 batches of *F. esculentum* samples were within the standard limit concentration range. As had a negative correlation with Cu, Al and a positive correlation with Ag. Cu had a positive correlation with Al, Mn, Sb and a negative correlation with Ag. Rutin had a positive correlation with Zn, Se. Quercetin had a positive correlation with Zn, Se, Ag. There was a significant positive correlation between total flavonoids and Zn. **Conclusion:** Rutin, quercetin and total flavonoids contents are correlated with trace elements in *F. esculentum*, which provides a theoretical basis for quality control of *F. esculentum*.

**[Key words]** *F. esculentum*; rutin; quercetin; total flavonoids; trace elements; correlation analysis

\*[基金项目] 贵州省科技计划项目[黔科合 SY(2015)3035]

\*\* 通信作者 E-mail:86440768@qq.com

网络出版时间:2019-11-21 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/52.1164.R.20191120.2125.010.html>

苦荞属蓼科双子叶植物,俗称苦荞、又称为鞑麦(*F. tataricum*),是一种独特的食药两用资源作物<sup>[1]</sup>,主要分布在西南地区的云南、四川、贵州等省,尤其是贵州与四川(凉山)是两个最集中的苦荞产区,我国也是世界上最大的荞麦出口国<sup>[2-3]</sup>。苦荞中含有极为丰富的总黄酮类物质,主要是芦丁、槲皮素等<sup>[4-7]</sup>,研究发现,总黄酮类化合物具有降血糖、降血脂、防癌、抗突变、增强免疫力、杀菌、抗动脉粥样硬化及抗衰老等功能<sup>[8-15]</sup>。本文采用高效液相色谱法测定黄酮类成分芦丁和槲皮素含量,紫外分光光度法测定总黄酮含量,微波消解-电感等离子体质谱法(ICP-MS)测定镉(Cd)等13种微量元素的含量,分析这些成分与微量元素之间的相关性,为研究苦荞中主要成分与微量元素之间的联系及其质量的控制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

Agilent 1260 高效液相色谱仪(美国安捷伦科技公司),UV2700 紫外分光光仪(日本岛津),电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, Xseries 2, Thermo Fisher Scientific, USA),微波消解仪(Milestone, ETHOS A, 配套聚四氟乙烯罐),TGL-16G 高速离心机(上海安亭科学仪器厂),AE240 电子天平(梅特勒-托利仪器上海有限公司),WP-UPT-20 超纯水机(四川沃特尔特水处理设备有限公司),SK40-240 超声波清洗器(常州郎越仪器制造有限公司)。芦丁对照品(中国药品生物制品检定所,批号111502-200101),槲皮素对照品(中国药品生物制品检定所,批号111704-200501);多元素混合标准储备液(加拿大恩耐睿公司,10 mg/L, S130615011),含有有害元素铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)、铜(Cu),和其他元素铝(Al)、锰(Mn)、锌(Zn)、铈(Se)、银(Ag)、锡(Sn)、锑(Sb)、钡(Ba)。内标标准储备溶液(国家标准物质研究中心,100 mg/L),含有钪(Sc)、铟(In)、铈(Rh)、铼(Re)。18种苦荞样品经贵州医科大学药学院龙庆德副教授鉴定为蓼科植物苦荞(*F. esculentum*)的干燥种子。

1.2 方法

1.2.1 芦丁、槲皮素的含量测定 采用高效液相色谱仪测定苦荞中芦丁和槲皮素的主要有效成分。色谱柱 Aglient C<sub>18</sub>(150 mm×4.6 mm,5 μm),流动

相甲醇(A)-0.4% 磷酸水溶液(B),流速 1 mL/min;梯度洗脱(0~7 min,20%~40% A;7~14 min,40%~60% A),检测波长 360 nm,柱温 40 ℃,流进样量 10 μL。方法学考察结果见表1。

表1 芦丁和槲皮素线性回归方程、线性范围、精密密度、稳定性、重复性及回收率  
Tab.1 Regression equation, linear range, precision, stability, repeatability and recovery rate of rutin and quercetin

指标	芦丁	槲皮素
回归方程	$Y = 2\,870.7X - 34.407$	$Y = 7\,632X + 9.416$
$r$	0.999 4	0.999 7
线性范围(μg)	0.401~16.03	0.401~16.03
精密密度 $RSD(\%)$	0.8	1.4
稳定性 $RSD(\%)$	0.61	0.98
重复性 $RSD(\%)$	0.92	1.24
加样回收率平均值(%)	101.36	98.28
加样回收率 $RSD$	1.32	1.60

1.2.2 总黄酮的含量测定 采用紫外分光光仪测定苦荞中总黄酮的含量,苦荞经60 ℃干燥,粉碎过40目筛,取约1 g,精密称定,置25 mL容量瓶中;乙醇定容、摇匀后,超声20 min(240 W,40 kHz),放置、吸取上清液1 mL,于蒸发皿中,加1 g聚酰胺粉吸附,于水浴上挥去乙醇,然后转入层析柱,先用20 mL甲苯洗,甲苯液弃去,然后用甲醇洗脱黄酮,定容至25 mL量瓶中,在360 nm处测定吸光度值,方法学考察结果见表2。

表2 总黄酮线性回归方程、线性范围、精密密度、稳定性、重复性及回收率  
Tab.2 Regression equation, linear range, precision, stability, repeatability and recovery rate of total flavonoids

指标	总黄酮
回归方程	$Y = 0.028\,67X + 0.004\,718$
$r$	0.999 9
线性范围 mg/L	4.14~41.4
精密密度 $RSD(\%)$	0.35
稳定性 $RSD(\%)$	0.49
重复性 $RSD(\%)$	1.35
加样回收率平均值(%)	98.99
加样回收率 $RSD$	2.63

1.2.3 微量元素测定 将18种苦荞分别于60 ℃干燥2 h,粉碎成粗粉,取约0.3 g置于配套的微波消解罐中,加入H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>2 mL、HNO<sub>3</sub>6 mL,通风厨中预

消化 5 h 后,置微波消解仪中参照表 3 消解工作参数消解至完全,使用电感耦合等离子体发射光谱仪,仪器工作参数为等离子体功率 1.2 kW,雾化室流量 0.98 L/min,辅助气体流量 0.9 L/min,采样深度 5 mm,每点滞留时间 20 ms,冷却气体流量 1.4 L/min,载气流量 0.80 L/min,矩管水平位置 0.6 mm,矩管垂直位置 1.8 mm,雾化室压力  $2.85 \times 10^5$  Pa。方法学考察结果见表 4。

表 4 苦荞中 13 种微量元素线性回归方程、线性范围、检出限、精密度、重复性及回收率

Tab. 4 Regression equation, linear range, detection limit, precision, repeatability, stability, and recovery rate of 13 kinds of elements								
元素	回归方程	<i>r</i>	线性范围 ( $\mu\text{g/L}$ )	检出限 ( $\mu\text{g/L}$ )	精密度 <i>RSD</i> (%)	重复性 <i>RSD</i> (%)	回收率 (%)	
							平均值	<i>RSD</i>
Pb	$\hat{Y}=86\,739.08X+147\,405.14$	0.999 1	0.5~100.0	0.028	4.67	4.89	95.63	2.07
Cd	$\hat{Y}=12\,180.32X+48\,388.65$	1.000 0	0.5~100.0	0.026	3.68	4.86	99.16	2.63
Hg	$\hat{Y}=11\,690.59X+225.00$	0.998 6	0.1~20.0	0.009	4.95	4.97	96.09	3.07
As	$\hat{Y}=8\,312.04X+46\,054.85$	0.999 9	0.5~100.0	0.021	4.01	3.89	95.23	4.18
Cu	$\hat{Y}=49\,345.32X+4\,260.74$	0.999 8	0.5~100.0	0.082	2.93	2.67	96.18	3.76
Al	$\hat{Y}=110\,731.90X+5\,001.02$	0.999 8	0.5~100.0	0.045	0.80	1.43	101.2	1.03
Mn	$\hat{Y}=159\,323.13X+11\,064.95$	0.999 6	0.5~100.0	0.069	0.86	0.93	98.54	1.24
Zn	$\hat{Y}=16\,861.61X+148\,329.12$	0.998 8	0.5~100.0	0.017	1.20	1.52	98.13	1.99
Se	$\hat{Y}=39.563\,3X+0.09$	0.999 6	0.5~100.0	0.002	0.38	1.24	96.35	1.72
Ag	$\hat{Y}=56\,178.50X+30.00$	0.999 9	0.5~100.0	0.045	4.86	3.75	98.19	1.38
Sn	$\hat{Y}=30\,580.21X+140.00$	0.999 8	0.5~100.0	0.005	4.63	4.66	99.73	0.76
Sb	$\hat{Y}=25\,903.15X+20.00$	0.999 1	0.5~100.0	0.001	1.45	1.68	97.61	1.37
Ba	$\hat{Y}=6\,875.45X+150.00$	0.999 5	0.5~100.0	0.022	3.60	2.79	96.97	1.03

1.3 数据处理

运用 SPSS 22.0 统计学软件对所测指标进行双变量相关性分析, $P<0.05$  表示二者相关性具有统计学意义。

2 结果

参照 1.2.1、1.2.2、1.2.3 及 1.2.4 项下的方法,将 18 种黔产苦荞中芦丁、槲皮素、总黄酮、有害元素及其他微量元素进行定量及数据分析,结果见表 5、表 6、表 7。

表 5 贵州 18 种不同来源苦荞样品芦丁、槲皮素及总黄酮含量(mg/g)

Tab. 5 Determination of rutin, quercetin and total flavonoids in <i>F. esculentum</i> from different sources																	
有效成分	遵义县	威宁县1	盘县	赤水县	正安县	大方县	水城县	赫章县1	纳雍县	桐梓县	麻江县	雷山县	贞丰县	威宁县2	威宁县3	威宁县4	赫章县2
芦丁	8.821	12.600	8.690	8.394	7.688	9.360	10.320	10.300	11.700	11.450	9.332	9.345	8.765	11.390	13.040	11.590	8.934
槲皮素	0.193 0	0.526 0	0.366 0	0.248 5	0.398 1	0.423 0	0.458 9	0.388 0	0.213 0	0.439 9	0.389 1	0.356 8	0.324 9	0.538 9	0.533 0	0.489 0	0.358 0
总黄酮	18.40	24.90	19.20	17.39	17.39	17.90	19.39	23.60	21.80	20.39	19.29	18.35	17.33	18.23	26.89	23.67	18.44

表 3 微波消解升温程序				
Tab. 3 The temperature of microwave digestion				
步骤	功率(W)	温度(℃)	升温时间 (min)	保持时间 (min)
1	500	100	3	5
2	800	120	5	10
3	1000	150	5	5

2.1 有害元素与其他元素相关性

参照《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》《中国药典》(2015 版)、GB-14882-94《食品中放射性物质限制浓度标准》中有害重金属元素限量指标: $\text{Pb} \leq 5.0\text{ mg/kg}$ 、 $\text{Cd} \leq 0.3\text{ mg/kg}$ 、 $\text{Hg} \leq 0.2\text{ mg/kg}$ 、 $\text{As} \leq 2.0\text{ mg/kg}$ 、 $\text{Cu} \leq 20.0\text{ mg/kg}$ 。18 份苦荞样品的有害重金属元素(Pb、Cd、Hg、As、Cu)的残留量在标准限度浓度范围内,其中 As 与 Cu、Al 具有显著的负相关性,与 Ag 具有显著的正相关性;Cu 与 Al、Mn、Sb 具有显著的正相关性,与 Ag 具有显著的负相关性;负相关表明相关元素在吸收累积的过程中具有一定的拮抗作用。见表 7。

表 6 贵州 18 种不同来源苦荞样品中微量元素含量  
Tab.6 Determination of trace elements from different sources

序号	药材	微量元素质量分数( mg/kg)						
		Pb	Cd	Hg	As	Cu	Al	Mn
1	遵义县	0.004 1	—	0.022 1	0.03 30	2.277 0	31.60	12.39
2	威宁县 1	0.110 2	—	0.003 2	0.022 0	1.678 0	35.11	8.301
3	盘县	0.086 2	—	0.006 7	0.033 0	1.528 0	23.72	5.308
4	赤水县	0.034 5	—	0.021 3	0.124 6	2.529 0	22.57	5.230
5	正安县	0.097 1	—	0.023 2	0.111 0	1.080 0	45.02	9.465
6	大方县	0.075 2	—	0.034 2	0.098 7	1.453 0	13.01	2.844
7	水城县	0.069 2	—	0.009 8	0.198 4	0.434 0	11.50	2.471
8	赫章县 1	0.065 4	—	0.012 2	0.204 2	0.405 0	10.47	2.153
9	纳雍县	0.081 2	—	0.023 4	0.213 4	0.317 0	5.54	1.010
10	桐梓县	0.132 4	—	0.033 4	0.204 2	0.335 0	3.59	0.576 0
11	麻江县	0.052 1	—	0.013 2	0.204 2	0.425 0	12.07	3.258
12	雷山县	0.032 3	—	0.003 4	0.044 0	1.569 0	17.52	6.322
13	贞丰县	0.078 3	—	0.007 6	0.098 0	0.489 0	13.01	5.367
14	威宁县 2	0.024 2	—	0.006 2	0.123 1	1.534 0	11.50	7.809
15	威宁县 3	0.876 0	—	0.007 2	0.231 2	0.505 0	10.47	12.45
16	威宁县 4	0.023 1	—	0.013 4	0.077 2	1.317 0	5.54	12.58
17	赫章县 2	0.032 4	—	0.098 2	0.080 2	0.535 0	3.59	2.471
18	大方县 2	0.052 3	—	0.006 7	0.098 1	0.478 0	12.07	3.258

序号	药材	微量元素质量分数( mg/kg)					
		Zn	Se	Ag	Sn	Sb	Ba
1	遵义县	21.40	0.096 3	0.001 0	0.017 0	0.023 0	0.592 0
2	威宁县 1	18.90	0.167 2	0.000 1	0.002 0	0.005 0	0.295 0
3	盘县	15.23	0.067 2	0.000 1	0.003 0	0.003 0	0.852 0
4	赤水县	14.22	0.086 2	0.000 1	0.009 0	0.006 0	3.523 0
5	正安县	13.78	0.086 4	0.048 0	0.006 0	0.017 0	6.323 0
6	大方县	20.78	0.084 3	0.055 0	0.017 0	0.007 0	1.755 0
7	水城县	22.45	0.053 2	0.062 0	0.002 0	0.004 0	1.579 0
8	赫章县 1	23.11	0.125 2	0.077 0	0.003 0	0.003 0	1.401 0
9	纳雍县	28.98	0.033 4	0.061 0	0.009 0	0.006 0	0.592 0
10	桐梓县	27.33	0.053 2	0.080 0	0.006 0	0.002 0	0.295 0
11	麻江县	10.32	0.033 4	0.088 0	0.017 0	0.003 0	0.852 0
12	雷山县	19.32	0.098 2	0.025 0	0.002 0	0.009 0	0.369 0
13	贞丰县	20.32	0.075 3	0.077 0	0.003 0	0.006 0	6.323 0
14	威宁县 2	23.80	0.231 2	0.061 0	0.009 0	0.017 0	1.755 0
15	威宁县 3	29.80	0.183 4	0.083 2	0.006 0	0.007 0	1.579 0
16	威宁县 4	30.10	0.156 4	0.088 0	0.017 0	0.004 0	1.401 0
17	赫章县 2	21.33	0.104 2	0.006 0	0.002 0	0.003 0	0.592 0
18	大方县 2	22.10	0.069 3	0.017 0	0.003 0	0.006 0	0.295 0

注：“—”代表低于检出限。

2.2 有效成分与微量元素相关性

对测定的 13 种微量元素和 3 个成分进行双变量相关分析,微量元素和主要成分之间的相关性见表 7。结果可见,芦丁与 Zn、Se 具有显著的正相关性,槲皮素与 Zn、Se、Ag 具有显著的正相关,总黄

酮与 Zn 具有显著的正相关。由于化学成分作为一种次生代谢物,微量元素可作为植物体内某些有机合成反应的催化剂或参与植物有效成分,其功能可影响植物化学成分的形成和积累,从而最终影响药材的药理活性。

表 7 苦荞样品中不同元素与有效成分含量相关分析矩阵

Tab.7 Correlative analysis matrix between contents of elements and active ingredients in <i>F. esculentum</i>															
成分	Pb	Cd	Hg	As	Cu	Al	Mn	Zn	Se	Ag	Sn	Sb	Ba	芦丁	槲皮素 总黄酮
Pb	1														
Cd	-	1													
Hg	-0.114	-	1												
As	0.317	-	-0.028	1											
Cu	-0.428	-	-0.148	-0.664 <sup>(1)</sup>	1										
Al	0.100	-	-0.263	-0.503 <sup>(1)</sup>	0.572 <sup>(1)</sup>	1									
Mn	-0.309	-	-0.303	-0.382	0.496 <sup>(1)</sup>	0.461	1								
Zn	0.051	-	0.034	0.311	-0.330	-0.583 <sup>(1)</sup>	0.115	1							
Se	-0.226	-	-0.164	-0.185	0.299	0.062	0.619 <sup>(1)</sup>	0.335	1						
Ag	0.230	-	-0.200	0.712 <sup>(1)</sup>	-0.617 <sup>(1)</sup>	-0.511 <sup>(1)</sup>	-0.069	0.409	0.036	1					
Sn	-0.382	-	0.012	0.028	0.308	-0.040	0.291	0.013	-0.015	0.259	1				
Sb	-0.395	-	-0.122	-0.312	0.499 <sup>(1)</sup>	0.560 <sup>(1)</sup>	0.571 <sup>(1)</sup>	-0.086	0.301	-0.226	0.303	1			
Ba	0.133	-	-0.091	0.009	0.041	0.377	0.187	-0.306	-0.030	0.192	-0.065	0.250	1		
芦丁	0.292	-	-0.183	0.359	-0.176	-0.319	0.193	0.656 <sup>(1)</sup>	0.508 <sup>(1)</sup>	0.424	0.035	-0.197	-0.359	1	
槲皮素	0.296	-	-0.221	0.236	-0.317	-0.290	0.176	0.502 <sup>(1)</sup>	0.534 <sup>(1)</sup>	0.499 <sup>(1)</sup>	-0.031	-0.269	-0.182	0.710 <sup>(1)</sup>	1
总黄酮	0.302	-	-0.240	0.307	-0.253	-0.182	0.289	0.562 <sup>(1)</sup>	0.435	0.311	-0.068	-0.323	-0.366	0.802 <sup>(1)</sup>	0.612 <sup>(1)</sup> 1

注: <sup>(1)</sup>表示相关性达显著水平。

3 讨论

本研究选取了苦荞中有效成分、有害元素、其他微量元素作为研究指标,通过相关性分析意在寻找其有效成分与药材各微量元素指标间的内在联系。结果表明既有协同作用,又有拮抗作用。Mn 和 Se 的吸收呈显著性正相关,有协同作用;Ag 又抑制 Cu、Al 的吸收,呈拮抗作用;Cu、Al 又抑制 As 的吸收,呈拮抗作用;有效成分的含量与 Zn、Se、Ag 呈显著性正相关。因此,在苦荞规范化种植过程中,可调控土壤中肥料的用量和配比来改善土壤的肥力水平,降低苦荞对有害元素的吸收和累积,提高苦荞有效成分含量,从而提高药材的产量和质量<sup>[16-18]</sup>。

微量元素作为中药材中的主要物质成分之一,其含量或比例是由该中药的本性、地理环境所决定的,含量或比例的差异也就构成中药道地性或非道地性的比较基础,因而也有可能成为中药质量鉴别

的依据<sup>[19-22]</sup>,所以在进行中药质量控制和中药质量评价的研究中,唯有机成分有效论和微量元素对号入座论都是片面的<sup>[23-25]</sup>,必须充分考虑微量元素之间,微量元素与有机成分之间的相互作用和相互平衡。

4 参考文献

[1] 时政,宋毓雪,韩承华,等. 苦荞的膳食纤维含量研究[J]. 中国农学通报, 2011,27(15):62-66.

[2] 张强,李艳琴. 基于矿质元素的苦荞产地判别研究[J]. 中国农业科学, 2011,44(22):4653-4659.

[3] 左光明,谭斌,王金华,等. 苦荞米与苦荞粉加工中营养成分成分的评价及利用[J]. 食品科学, 2009,30(14):183-186.

[4] 迟明艳,李光芳,刘丽娜. 黔产荞麦黄酮类成分的含量测定与分析[J]. 中国药房, 2016,27(21):2969-2972.

[5] 郭芳芳,冯峰,白云峰,等. 高效毛细管电泳法对 5 个产地苦荞中黄酮类化合物的检测[J]. 成分分析,

- 2015,36(18):85-88.
- [6] 齐宁利, 龚霄, 杨子明, 等. 高效液相色谱-二极管阵列检测同时测定苦荞中芦丁和槲皮素的含量[J]. 食品科技, 2013,38(10):301-304.
- [7] 黄兴富, 黎其万, 刘宏程, 等. 高效液相色谱法同时测定苦荞中芦丁、槲皮素和山柰酚的含量[J]. 中成药, 2011,33(2):345-347.
- [8] 曹婉鑫, 陈洋, 唐瑶. 苦荞中黄酮类化合物的生物活性研究进展[J]. 饮料工业, 2015,18(3):64-67.
- [9] 李富华, 刘冬, 明建. 苦荞麸皮黄酮抗氧化及抗肿瘤活性[J]. 食品科学, 2014,35(7):58-63.
- [10] 王丽娟, 魏涛, 尹何南, 等. 超声波辅助提取黑苦荞黄酮类化合物及其抗氧化活性研究[J]. 粮食与油脂, 2014,27(9):26-29.
- [11] 钟秋平, 林美芳. 黄皮果中总黄酮含量的测定及其黄酮种类的鉴别[J]. 食品科学, 2007,28(8):411-413.
- [12] 许效群, 刘志芳, 霍乃蕊, 等. 苦荞糠皮总黄酮的抗氧化活性及免疫调节活性[J]. 中国食品学报, 2012,12(6):42-47.
- [13] 刘薇芝, 刘巍, 胡汉昆, 等. 苦荞黄酮提取物对 2 型糖尿病模型大鼠血糖与血脂的影响[J]. 中国药房, 2015,26(4):470.
- [14] 柯可, 谢志坚, 杨晓峰. 黄酮类化合物对成骨细胞作用机制的研究进展[J]. 中国新药与临床杂志, 2015,34(2):81.
- [15] 蒋高华, 蔡冰, 彭兴华, 等. 响应面法优化提取云南苦荞黄酮工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2019,47(16):191-195.
- [16] 王琳琳, 尹海波, 张紫嫣, 等. 不同土壤施氮量与龙胆药材活性成分相关性分析[J]. 辽宁中医药大学学报, 2017,19(5):74-75.
- [17] 李婧, 刘玉翠, 高宇丹, 等. 黄精栽培地土壤养分与药材质量评价研究[J]. 人参研究, 2019,4:36-38.
- [18] 周光姣, 王超群, 权春梅, 等. 亳白芍药材质量与土壤中主要无机元素相关性[J]. 中国实验方剂学, 2018,24(15):41-45.
- [19] 余德顺, 杨军, 田弋夫. 中药道地性相关因素研究进展与生物地球化学[J]. 时珍国医国药, 2010,21(2):272-274.
- [20] 周蓓, 武暄, 蒋勇, 等. 重庆产青蒿药材中微量元素与有效成分含量评价及其相关性分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013,35(10):159-164.
- [21] 曾白林, 陈启霞, 居明乔. 微量元素与中药功效的相关性分析[J]. 时珍国医国药, 2001,12(7):658.
- [22] 常晓红, 李静. 浅谈中药与重金属[J]. 中国药业, 2011,20(10):79.
- [23] 刘威, 王振中, 胡军华, 等. 不同产地牡丹皮中微量元素与多指标成分灰色关联度评价及其相关性分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017,23(1):34-41.
- [24] 张家春, 戚燕强, 韩见宇, 等. 不同龄白及块茎无机元素与有效成分分布特征及其相关性研究[J]. 中药材, 2019,42(2):285-288.
- [25] 刘威, 王金玲, 胡军华, 等. 白芍药材中微量元素与有效成分含量相关性分析及灰色关联度评价[J]. 中华中医药杂志, 2015,30(5):1400-1406.

(2019-09-03 收稿, 2019-10-24 修回)

中文编辑: 刘平; 英文编辑: 周凌