

不同品种甘草叶的化学组分比较研究

汪一飞¹, 左小博^{1,2}, 刘相真^{1,2}, 孔俊豪^{1,2*}

(1. 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究院, 杭州 310016; 2. 浙江省茶资源跨界应用技术重点实验室, 杭州 310016)

摘要: **目的** 比较新疆地区3种不同甘草叶的主要化学组分构成, 为深加工利用提供参考。**方法** 采用化学分析法和光谱分析法测定光果甘草、胀果甘草和乌拉尔甘草3个品种甘草叶中的氨基酸、总黄酮、粗脂肪、纤维素、蛋白质、生物碱及矿质元素等化学成分含量, 并采用DPPH法对甘草叶浸提液进行了抗氧化活性分析。**结果** 3种甘草品种中, 光果甘草叶的纤维素、黄酮含量最高, 抗氧化活性最强; 乌拉尔甘草叶的蛋白质含量、脂肪含量和生物碱含量等高于光果甘草和胀果甘草品种; 胀果甘草叶中矿物元素含量值最高。同一种植区域其不同品种间在营养和化学组成方面存在一定程度的差异。**结论** 根据不同的精深加工及下游需求, 进行合理的甘草叶开发。

关键词: 甘草叶; 化学成分; 抗氧化; 深加工

Comparison of chemical components of *Glycyrrhiza* leaves originated from different varieties

WANG Yi-Fei¹, ZUO Xiao-Bo^{1,2}, LIU Xiang-Zhen^{1,2}, KONG Jun-Hao^{1,2*}

(1. Hangzhou Tea Research Institute, China Coop, Hangzhou 310016, China; 2. Zhejiang Key Laboratory of Transboundary Applied Technology for Tea Resources, Hangzhou 310016, China)

ABSTRACT: Objective To compare the main chemical components of 3 different kinds of *Glycyrrhiza* leaves collected from Xinjiang area, and provide references for deep processing and utilization. **Methods** The main chemical components such as amino acids, total flavonoids, crude fat, cellulose, protein, alkaloid, mineral elements from leaves of 3 different kinds of *Glycyrrhiza* (including *G. glabra* L., *G. inflata* Bat. and *G. uralensis* Fisch.) were determined by chemical and spectral analysis methods. The antioxidant activities of the *Glycyrrhiza* leaves extract were analyzed by DPPH method. **Results** Among 3 different kinds of *Glycyrrhiza* leaves, *G. glabra* L. had the highest contents of cellulose and flavonoids, and its antioxidant activity was the strongest. The protein content, fat content and the alkaloid content in *G. uralensis* Fisch. leaves were higher than those of *G. glabra* L. and *G. inflata* Bat.; however, mineral elements content from leaves of *G. inflata* Bat. was the highest. There were differences whether in nutrition or chemical compositions among different varieties even collected from same planting area to some extent. **Conclusion** *Glycyrrhiza* leaves can be developed reasonably according to the different intensive processing and downstream demands.

KEY WORDS: *Glycyrrhiza* leaves; chemical composition; antioxidant; deep processing

*通讯作者: 孔俊豪, 助理研究员, 主要研究方向为茶叶深加工技术及新产品开发。E-mail: kjh02016110@126.com。

*Corresponding author: KONG Jun-Hao, Research Assistant, Hangzhou Tea Research Institute, China Coop, Hangzhou 310016, China. E-mail: kjh02016110@126.com

1 引言

甘草(*Glycyrrhiz auralensis*)为多年生草本植物,其根茎入药历史悠久,堪称“众药之王”,随着对甘草资源认识的加深,资源化利用非传统药用部位的研究与开发显得尤为重要^[1]。我国甘草资源非常丰富,但目前甘草叶多作为牧草使用,附加值严重偏低,其食源营养价值亟待挖掘。甘草叶尖富含药理活性成分,在新疆民间曾广泛用于治疗和预防前列腺疾病^[2]。甘草叶提取物如黄酮、甘草酸和甘草次酸等在医药、保健品、食品及化妆品领域也具有非常广阔的应用前景^[3,4]。

然而,由于品种和产地的不同,使得不同种间甘草本身的化学成分差异较大,对甘草资源的充分利用及标准化生产带来一定的影响^[5]。目前国内相关研究多见于对甘草根部化学成分的比较^[6-8],关于叶营养成分对比的探讨则鲜见报道。本研究以产自新疆的光果甘草、胀果甘草和乌拉尔甘草3种不同品种的甘草为研究对象,对其叶子的营养成分进行比较分析,以期对甘草叶资源的多用途开发提供技术参考。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

乌拉尔甘草、光果甘草和胀果甘草叶由新疆昆仑神农股份有限公司种植基地提供并鉴定,采收于2011年10月。

盐酸小檗碱、甘草苷等购自上海同田生物技术有限公司;其他试剂均购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司,纯度为分析纯。

2.2 主要仪器

S-433D全自动氨基酸分析仪(德国SYKAM公司);AA-6880原子吸收分光光度计(日本岛津公司);TU-1901双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司);HN-01G凯氏定氮蒸馏仪(鹤壁市华能电子科技有限公司);HH-6数显恒温水浴锅(常州朗越仪器制造有限公司);XMTD-8222恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司);KQ-250DE数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);AL204电子天平(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 甘草叶成分测定

粗蛋白含量参照GB 5009.5-2010中凯氏定氮法进行测定^[9];粗脂肪含量按照GB/T 5009.6-2003中索氏抽提器法进行测定^[10]。总碳水化合物含量用蒽酮法测定^[11],粗纤维按照GB/T 5009.10-2003所示方法测定^[12]。超声法提取总黄酮后,用甘草苷作标准品,以浓度10%的KOH为显色剂,以分光光度法测定甘草叶中总黄酮含量^[13]。以盐酸小檗碱为对照品,以溴甲酚绿为显色剂,利用分光光度法测定甘

草中总生物碱含量^[14]。氨基酸含量的测定采用氨基酸全自动分析仪,其测定方法参照GB/T 5009.124-2003^[15]。微量元素测定采用火焰原子吸收法^[16]。

2.3.2 甘草叶子抗氧化活性的测定^[17]

准确称取均匀磨碎的甘草叶0.2 g(精确到0.0001 g)放入干燥的10 mL具塞试管中,加入在70℃水浴中预热的70%甲醇溶液(V:V)5 mL,搅拌均匀迅速移入70℃水浴中浸提10 min(隔5 min搅拌一次),浸提后离心收集上清液,残渣重复浸提一次,合并提取液定容至10 mL。准确吸取6 mL 5×10^{-5} mol/L DPPH乙醇溶液与200 μ L不同浓度的甘草提取液(1.0、1.6、2.0和4.0 mg/mL)于具塞试管中混合均匀,在25℃下反应30 min,用无水乙醇作空白对照,于517 nm处测定其吸光度 A_1 ,同时测定6 mL 5×10^{-5} mol/L DPPH乙醇溶液与200 μ L 70%的甲醇溶液(V:V)混合后的吸光度 A_0 。清除率根据如下公式计算:

$$\text{清除率} = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\% \quad (\text{公式1})$$

其中: A_0 -未加甘草提取液时DPPH溶液的吸光度; A_1 -加甘草提取液时DPPH溶液的吸光度。

3 结果与分析

3.1 氨基酸含量

由表1可知,3种甘草叶都具有较高的缬氨酸、亮氨酸及赖氨酸含量,但不同品种间甘草叶的氨基酸含量则相差较大。赖氨酸对食品生产加工具有重要作用^[18],富含赖氨酸的3种甘草叶,可作为赖氨酸主要供给来源以补充机体对赖氨酸的缺乏。经对比发现,除蛋氨酸外,乌拉尔甘草比光果甘草和胀果甘草的必需氨基酸含量都要高,其必需氨基酸总量分别是光果甘草和胀果甘草的1.8倍和1.47倍。

如表2所示,非必需氨基酸中天冬氨酸、谷氨酸、精氨酸、甘氨酸和丙氨酸的含量都相对较高。在光果、胀果、乌拉尔甘草中,这部分氨基酸占非必需氨基酸的总量分别可达74%、73%和76%。乌拉尔甘草中除丝氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、脯氨酸外的其余非必需氨基酸含量至少是光果甘草的1.8倍,是胀果甘草的1.3倍。3种甘草叶中非必需氨基酸含量大小依次为:乌拉尔甘草>胀果甘草>光果甘草,因此选择乌拉尔甘草作为动物饲料的基础原料,可以解决机体对氨基酸等养分的缺乏问题。

从表1和表2可看出,3种甘草叶中含有17种氨基酸,比例合理且必需氨基酸含量较高。光果甘草叶中必需氨基酸占有所有氨基酸的比例 $[E/(E+N)]$ 为40.9%,胀果甘草叶中比例为39.4%,乌拉尔甘草叶中比例为39.2%,3种甘草叶中必需氨基酸/非必需氨基酸(E/N)值均为0.6左右,与WHO/FAO提出的E/E+N应为40%左右,E/N应为0.6左右的蛋白模式参数接近^[19]。综合考虑,乌拉尔甘草因具有较高的氨基酸含量,比另外2种甘草具有明显的营养优势和利用价值。

表 1 3 种甘草叶中必需氨基酸含量的比较(mg/g)
Table 1 Comparison of essential amino acid contents among 3 kinds of *Glycyrrhiza* leaves (mg/g)

品种名	苏氨酸(Thr)	缬氨酸(Val)	蛋氨酸(Met)	异亮氨酸(Ile)	亮氨酸(Leu)	苯丙氨酸(Phe)	赖氨酸(Lys)	必需氨基酸总量
光果	6.74	8.22	0.57	6.54	12.11	7.71	9.08	50.97
胀果	7.97	10.40	2.05	8.07	14.42	9.67	9.84	62.42
乌拉尔	11.75	14.80	1.60	11.75	21.59	13.70	16.33	91.52

表 2 3 种不同甘草叶中非必需氨基酸含量的比较(mg/g)
Table 2 Comparison of non-essential amino acid contents among 3 kinds of *Glycyrrhiza* leaves (mg/g)

品种名	天冬氨酸(Asp)	丝氨酸(Ser)	谷氨酸(Glu)	甘氨酸(Gly)	丙氨酸(Ala)	半胱氨酸(Cys)	酪氨酸(Tyr)	组氨酸(His)	精氨酸(Arg)	脯氨酸(Pro)	非必需氨基酸总量
光果	14.08	5.87	15.63	7.49	8.77	<0.01	4.13	2.96	8.38	6.29	73.6
胀果	21.43	7.06	18.65	9.88	10.18	<0.01	5.40	4.04	10.29	8.90	95.83
乌拉尔	27.43	10.24	27.74	13.13	15.08	<0.01	7.29	5.40	16.42	9.42	132.15

3.2 黄酮含量

由表 3 可知, 经 KOH 显色法测得 3 种甘草叶中黄酮含量依次为 6.8%、4.5%和 3.0%。黄酮类化合物是体现甘草药理特性的主要活性成分, 提取黄酮类化合物对促进甘草的精深加工有重要意义^[20,21]。经对比发现, 光果甘草叶中的黄酮类物质含量最高, 最适宜作为黄酮类药物的药源。

表 3 3 种甘草叶中总黄酮含量的比较
Table 3 Comparison of total flavonoids contents among 3 kinds of *Glycyrrhiza* leaves

样品名称	光果甘草		胀果甘草		乌拉尔甘草	
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2
总黄酮						
黄酮(%)	6.68	6.92	4.57	4.43	2.95	3.05
黄酮平均值(%)	6.8 ^a		4.5 ^b		3.0 ^c	

注: $P < 0.05$ 水平上差异显著。处理后面的字母 a,b,c 相同时为不显著, 完全不同时为显著或极显著, 下同。

3.3 蛋白质含量

蛋白质对于生命体进行新陈代谢和发挥生理功能具有无可替代的作用。表 4 比较了 3 种不同甘草叶中粗蛋白的含量。由表可知, 乌拉尔甘草叶的粗蛋白含量为 26.7%, 比另 2 种甘草叶的粗蛋白含量都高。在西北高寒地区, 大部分牧草粗蛋白含量较低, 所以牧草和牲畜之间的供求关系主要是高蛋白质饲料严重不足^[22,23]。选择性地将乌拉尔甘草叶开发加工成高蛋白质饲料可使牧草和牲畜之间的供求矛盾得到一定程度缓解, 并能充分利用甘草资源。

3.4 脂肪含量

如表 5 所示, 3 种甘草叶中乌拉尔甘草叶中粗脂肪含

量最高, 胀果甘草叶中粗脂肪含量最低, 分别为 2.2%、1.4%, 这与张继等^[24]的测定结果基本一致。

表 4 3 种甘草叶中粗蛋白含量的比较
Table 4 Comparison of total protein contents among 3 kinds of *Glycyrrhiza* leaves

样品名称	光果		胀果		乌拉尔	
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2
蛋白质						
蛋白质(%)	12.11	11.63	13.49	12.85	26.56	26.81
蛋白质平均值(%)	11.87 ^b		13.17 ^b		26.69 ^a	

注: $P < 0.05$ 水平上差异显著

表 5 3 种不同甘草叶中脂肪含量的比较
Table 5 Comparison of fat contents among 3 kinds of *Glycyrrhiza* leaves

样品名称	光果		胀果		乌拉尔	
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2
粗脂肪						
粗脂肪(%)	1.93	1.98	1.47	1.39	2.16	2.14
粗脂肪平均值(%)	2.0 ^{ab}		1.4 ^{bc}		2.2 ^a	

注: $P < 0.05$ 水平上差异显著

3.5 总生物碱含量

生物碱对甘草药理特性的发挥起着重要作用, 也是评判甘草品质高低的主要参考^[25,26]。表 6 比较了 3 种不同甘草叶中的生物碱含量。如表所示, 光果甘草叶具有相对较低的生物碱含量为 0.59%, 而乌拉尔甘草叶的生物碱含量可达 0.79%。针对甘草有效成分之一的生物碱, 可将乌拉尔甘草叶作为生物碱来源加以进一步利用。

表 6 3 种不同甘草叶中生物碱含量的比较
Table 6 Comparison of alkaloid contents among 3 kinds of *Glycyrrhiza* leaves

样品名称	光果		胀果		乌拉尔	
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2
总生物碱						
总生物碱(%)	0.61	0.57	0.64	0.70	0.82	0.76
总生物碱平均值(%)	0.59 ^a		0.67 ^{ab}		0.79 ^b	

注: $P<0.05$ 水平上差异显著

3.6 碳水化合物总量

3 种不同甘草叶中碳水化合物含量的比较见表 7。由表可知, 碳水化合物含量大小依次为: 光果>胀果>乌拉尔。3 种甘草叶碳水化合物含量差异较大的原因可能在于采摘时间、生长年限、日照时间及昼夜温差等因素对植物体内糖分积累程度的影响^[27]。

表 7 3 种不同甘草叶中碳水化合物含量的比较
Table 7 Comparison of carbohydrate contents among 3 kinds of *Glycyrrhiza* leaves

样品名称	光果		胀果		乌拉尔	
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2
总糖						
总糖(%)	13.85	13.54	8.98	8.59	7.55	7.82
平均值(%)	13.7 ^a		8.8 ^b		7.7 ^b	

注: $P<0.05$ 水平上差异显著

3.7 纤维素含量

实验测得光果甘草、胀果甘草叶中粗纤维含量较高, 分别为 13.4%、12.0%, 而乌拉尔甘草叶的粗纤维含量仅为 10.2%(见表 8)。因此, 可利用这一特点进行选择性地开发。结合前述研究结果, 乌拉尔甘草叶具有高蛋白、高脂肪及生物碱含量丰富的特点, 并且粗纤维含量较低、适口性好, 可将其作为优质饲草加以开发。

表 8 3 种不同甘草叶中纤维素含量的比较
Table 8 Comparison of cellulose contents among 3 kinds of *Glycyrrhiza* leaves

样品名称	光果		胀果		乌拉尔	
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2
纤维素						
纤维素(%)	13.63	13.80	12.10	11.88	10.17	10.26
平均值(%)	13.7 ^{ab}		12.0 ^b		10.2 ^{bc}	

注: $P<0.05$ 水平上差异显著

3.8 元素含量

从表 9 所列 3 种不同甘草中矿物质元素的测定结果可以看出, 各种常量元素及微量元素含量都较为丰富^[28]。其中, 胀果甘草叶的常量元素含量最高, 以钙和钾的含量为最高, 分别为 111.40、79.61 mg/kg, 而钠的含量为 3.26 mg/kg。而在常量元素相对较低的光果甘草中, 钙、钾、钠的含量分别仅为 27.35、17.22 和 0.63 mg/kg。甘草中高钾低钠的特点对维持细胞内外的渗透压平衡等具有重要的实际意义^[29,30]。与另外 2 种甘草相比, 胀果甘草叶也含有更多的微量元素, 因此从矿物元素补充角度考虑, 可选择性地开发利用胀果甘草叶。

表 9 3 种不同甘草叶中元素含量的比较
Table 8 Comparison of element contents among 3 kinds of *Glycyrrhiza* leaves

元素含量(mg/kg)	样品名称		光果	胀果	乌拉尔
Na			0.63	3.26	1.41
P			2.27	8.48	5.23
Zn			0.05	0.22	0.11
Cu			0.03	0.10	0.07
Fe			1.57	14.01	3.70
Mn			0.09	0.43	0.21
Ca			27.35	111.40	67.50
K			17.22	79.61	36.57
Mg			6.66	39.81	15.71
Pb			<0.01	0.02	0.01
Cd			<0.01	<0.01	<0.01
B			0.07	0.56	0.15
Se			<0.01	<0.01	<0.01
Si			0.34	2.26	0.76
As			<0.01	<0.01	<0.01
Cr			0.01	0.08	0.03

3.9 抗氧化活性

采用 DPPH 法测定 3 种甘草叶的抗氧化活性, 以 IC₅₀ 作为指标, 结果见表 10。由表可知, 光果甘草叶提取液具有最强的抗氧化活性, 而乌拉尔甘草叶的抗氧化活性则最弱。这一结果与甘草叶中总黄酮含量的变化规律相一致, 说明甘草叶中总黄酮可能是影响抗氧化活性的主要成分^[31]。李铭花等^[32]研究了不同极性溶剂提取甘草所得提取物的抗氧化活性, 也发现了同样的规律。

表 10 3 种不同甘草叶抗氧化活性的比较
Table 9 Comparison of antioxidant activity among 3 kinds of *Glycyrrhiza* leaves

样品名称	光果		胀果		乌拉尔	
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2
抗氧化性						
IC ₅₀ (mg/mL)	1.95	1.80	1.51	1.41	1.34	1.37
IC ₅₀ 平均值(mg/mL)	1.9 ^a		1.5 ^a		1.4 ^a	

注: $P>0.05$, 差异不显著

4 结 论

通过对 3 种不同甘草叶的化学成分比较发现, 乌拉尔甘草叶、光果甘草叶和胀果甘草叶在黄酮类物质、蛋白质、脂肪、生物碱、碳水化合物及纤维素含量等方面存在显著性差异($P<0.05$), 这可能与甘草的生长地域、生长年限、采摘时间、海拔高度及光照强度等因素有关。相比于其他 2 种甘草, 光果甘草叶含有较多的纤维素及黄酮物质, 同时也具有较强的抗氧化活性, 将光果甘草的叶子用于提取纤维素及黄酮类物质更具利用价值。而胀果甘草叶具有较高的矿物元素和氨基酸含量, 可将其作为矿物元素的主要来源进行深加工, 从而弥补机体对矿物元素的缺乏。3 种甘草中, 乌拉尔甘草叶营养优势更突出, 含有丰富的蛋白质、脂肪、生物碱并且纤维素含量较低, 且矿物元素含量适中, 具有加工成优质饲草的条件。此外, 将乌拉尔甘草叶作为氨基酸和生物碱的主要来源应用于食品、医药等行业也具有广阔的市场前景。

参考文献

[1] 刘清华. 甘草的化学成分和药理作用的概述[J]. 中国中医药现代远程教育, 2011, 9(13): 84–84.
Liu QH. Overview of the chemical composition and pharmacological effects of licorice [J]. Chin Med Mod Dist Edu China, 2011, 9(13): 84–84.

[2] 苏俊喜, 周颖, 闫文军, 等. 甘草有效成分应用的研究进展[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, (8): 111–113.
Su JX, Zhou Y, Yan WJ, et al. Latest Research on application of active ingredients in *Glycyrrhiza uralensis* [J]. Anim Husb Feed Sci, 2010, (8): 111–113.

[3] 王巧娥, 任虹, 曹学丽. 甘草研究开发与利用现状[J]. 中国农学通报, 2011, 27(4): 290–295.
Wang QE, Ren H, Cao XL. Research and utilization statue of licorice [J]. Chin Agric Sci Bull, 2011, 27(4): 290–295.

[4] Dong Y, Lin L, Zhao M. Determination of total flavonoids in leaves of *Glycyrrhiza glabra* L. by spectrophotometry [J]. Food Sci, 2013, 34(6): 195–198.

[5] 赵雅姣, 杜文华. 不同甘草种质材料营养价值研究[J]. 草原与草坪, 2014, 34(2): 63–67.
Zhao YJ, Du WH. Evaluation of the nutritional value on different *Glycyrrhiza* species [J]. Grassl Turf, 2014, 34(2): 63–67.

[6] 李薇, 宋新波, 张丽娟, 等. 甘草中化学成分研究进展[J]. 辽宁中医药

大学学报, 2012, 14(7): 40–44.

Lei W, Song XB, Zhang LJ, et al. Advances in research on chemical constituents of radix *Glycyrrhizae* [J]. J Liaoning Univ TCM, 2012, 14(7): 40–44.

[7] Wu YP, Meng XS, Bao YR, et al. Simultaneous quantitative determination of nine active chemical compositions in traditional Chinese medicine *Glycyrrhiza* by RP-HPLC with full-time five-wavelength fusion method [J]. Am J Chin Med, 2013, 41(01): 211–219.

[8] Man S, Wang J, Gao W, et al. Chemical analysis and anti-inflammatory comparison of the cell culture of *Glycyrrhiza* with its field cultivated variety [J]. Food Chem, 2013, 136(2): 513–517.

[9] GB 5009.5-2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
GB 5009.5-2010 National food safety standard-Standard for determination of protein in foods [S].

[10] GB/T 5009.6-2003 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].
GB/T 5009.6-2003 National food safety standard-Standard for determination of fat content in foods [S].

[11] 位杰, 吴翠云, 蒋媛, 等. 蒽酮法测定红枣可溶性糖含量条件的优化[J]. 食品科学, 2014, 35(24): 136–140.
Wei J, Wu CY, Jiang Y, et al. Sample preparation optimization for determination of soluble sugar in red jujube fruits by anthrone method [J]. Food Sci, 2014, 35(24): 136–140.

[12] GB/T5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定[S].
GB/T5009.10-2003 Standard for determination of crude fiber in plant-based foods [S].

[13] 冯薇, 王文全, 赵平然. 甘草总黄酮含量测定方法研究[J]. 时珍国医国药, 2007, 18(11): 2608–2610.
Feng W, Wang WQ, Zhao PR. Study on methods in determination of general flavonoids in *Glycyrrhiza uralensis* fisch with ultraviolet spectrophotometry [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2007, 18(11): 2608–2610.

[14] 刘秀萍, 黄祥卫, 刘炜. 小叶地不容中总生物碱含量的测定[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2011, 24(2): 174–176.
Liu XP, Huang XW, Liu W. Determination of total alkaloids in *Stephania succifera* H.S.Lo et Y. Tsoong [J]. J Hainan Norm Univ (Nat Sci), 2011, 24(2): 174–176.

[15] GB/T 5009.124-2003 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定[S].
GB/T5009.10-2003 National food safety standard-Standard for determination of amino acids in foods [S].

[16] 赵健铤, 余正勇, 胡侃, 等. 火焰原子吸收法测定不同产地香菇中 4 种微量元素[J]. 广州化工, 2016, 44(3): 102–103.
Zhao JT, Yu ZY, Hu K, et al. Determination of 4 kinds of trace elements in *Lentinus edodes* of different areas by flame atomic absorption spectrometry [J]. Guangzhou Chem Ind, 2016, 44(3): 102–103.

[17] 陈玉霞, 刘建华, 林峰, 等. DPPH 和 FRAP 法测定 41 种中草药抗氧化活性[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(6): 11–14.
Chen YX, Liu JH, Lin F, et al. Determination of antioxidative activity of 41 kinds of Chinese herbal medicines by using DPPH and FRAP methods [J]. Res Explor Lab, 2011, 30(6): 11–14.

[18] 张继, 吴建, 曾家豫, 等. 光果甘草叶营养成分的分析研究[J]. 中国医学生物技术应用, 2002, (2): 51–53.
Zhang J, Wu J, Zeng JY, et al. The analysis and study of nutrition composition from aerial parts of *Glycyrrhiza glabra* L.[J]. Chin Acad Med

- Mag Organisms, 2002, (2): 51–53.
- [19] 杨春花. 不同产地甘草的质量评价研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2006.
- Yang CH. The study of *Glycyrrhiza* quality evaluation in different places [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2006.
- [20] Dong Y, Zhao M, Sun-Waterhouse D, et al. Absorption and desorption behaviour of the flavonoids from *Glycyrrhiza glabra* L. leaf on macroporous adsorption resins [J]. Food Chem, 2015, 168: 538–545.
- [21] 邢国秀, 李楠, 王童, 等. 甘草中黄酮类化学成分的研究进展[J]. 中国中药杂志, 2003, 28(7): 593–597.
- Xing GX, Li N, Wang T, et al. Advances in studies on flavonoids of licorice [J]. China J Chin Mater Med, 2003, 28(7): 593–597.
- [22] 郭正钢, 张自和, 高淑兰. 河西绿洲区草畜间粗蛋白质和能量供应关系及其调控措施[J]. 草业学报, 2002, 11(3): 22–28.
- Guo ZG, Zhang ZH, Gao SL. Supply and demand of nutrient between livestock and forage and its forage provision plan in oasis region of Hexi corridor [J]. Acta Pratacult Sin, 2002, 11(3): 22–28.
- [23] 张自和, 郭正钢, 吴素琴. 西部高寒地区草业面临的问题与可持续发展[J]. 草业学报, 2002, 11(3): 29–33.
- Zhang ZH, Guo ZG, Wu SQ. Problems facing to prataculture in western alpine region and its sustainable development [J]. Acta Pratacult Sin, 2002, 11(3): 29–33.
- [24] 张继, 刘阿萍, 曾家豫, 等. 胀果甘草叶营养成分的分析研究[J]. 草业学报, 2003, 12(2): 93–96.
- Zhang J, Liu AP, Zeng JY, et al. Analysis of nutrients from acerial parts of *Glycyrrhiza inflata* [J]. Acta Pratacult Sin, 2003, 12(2): 93–96.
- [25] Varsha S, Agrawal R C, Sonam P. Phytochemical screening and determination of anti-bacterial and anti-oxidant potential of *Glycyrrhiza glabra* root extracts [J]. J Environ Res Develop, 2013, 7(4A): 1552.
- [26] 张继, 姚健, 杨永利, 等. 甘草生物碱成分的分析及含量测定[J]. 西北植物学报, 2001, 21(6): 1259–1262.
- Zhang J, Yao J, Yang YL, et al. Analysis and contents mensurate of alkaloid in liquorice [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2001, 21(6): 1259–1262.
- [27] 冯薇. 不同来源甘草组分比较研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2007.
- Feng W. A comparative study of different sources licorice component [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2007.
- [28] 丁锐, 王瑾, 王英华, 等. 不同产地甘草中微量元素含量的研究[J]. 药物分析杂志, 2010, 30(6): 1012–1015.
- Ding R, Wang J, Wang YH, et al. Study on the content of seventeen microelements in *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. from different regions [J]. Chin J Pharm Anal, 2010, 30(6): 1012–1015.
- [29] 张继, 杨永利, 白贞芳, 等. 乌拉尔甘草与刺果甘草叶营养成分的比较[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2002, 38(3): 61–63.
- Zhang J, Yang YL, Bai ZF, et al. The research of nutritious elements from aerial parts of *G. uralensis* Fisch and *G. pallidiflora* Max [J]. J Northwest Norm Univ (Nat Sci), 2002, 38(3): 61–63.
- [30] Desideri D, Meli M A, Roselli C. Determination of essential and non-essential elements in some medicinal plants by polarised X ray fluorescence spectrometer (EDPXRf) [J]. Microchem J, 2010, 95(2): 174–180.
- [31] 韩雅慧, 顾赛麒, 陶宁萍, 等. 甘草总黄酮提取工艺及总抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2012, (2): 239–242.
- Han YH, Gu SQ, Tao NP, et al. Study on the extraction conditions and total antioxidant capacity of licoflavone from two kinds of liquorice samples [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, (2): 239–242.
- [32] 李铭花, 杨文建, 赵政, 等. 甘草不同极性溶剂提取物抗氧化活性研究[J]. 粮食与油脂, 2009, (3): 25–27.
- Li MH, Yang WJ, Zhao Z, et al. Study on antioxidant activity of the different polar solvent extracts of *Radix Glycyrrhiza* [J]. Cereals Oils, 2009, (3): 25–27.

(责任编辑: 姚菲)

作者简介



汪一飞, 高级工程师, 主要研究方向为茶叶加工技术及特种茶开发。
E-mail: wyf_fh@126.com



孔俊豪, 助理研究员, 主要研究方向为茶叶深加工技术及新产品开发。
E-mail: kjh02016110@126.com