

## 39个居群款冬花综合质量评价及影响因素分析

师立伟<sup>1</sup>, 李美玲<sup>2</sup>, 崔秀文<sup>2</sup>, 栗孟飞<sup>2\*</sup>

1. 定西市经济作物技术推广站, 甘肃 定西 743000

2. 甘肃农业大学 干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070

**摘要:** 目的 基于干质量、活性物质含量以及抗氧化能力, 对甘肃产不同居群款冬 *Tussilago farfara* 花进行综合质量评价, 并分析环境因素对质量形成的影响。方法 利用分光光度计和 HPLC 对 39 个居群款冬花主要活性物质含量和抗氧化能力进行测定, 采用模糊综合评价法 (fuzzy comprehensive appraisal method, FCAM) 对综合质量进行评价, 并利用 SPSS 软件对综合质量与环境因子的关系进行分析。结果 甘肃省 39 个不同居群款冬花干质量、7 个主要活性物质含量 (绿原酸、芦丁、异槲皮苷、款冬酮、可溶性糖、总黄酮和总酚类) 以及抗氧化能力 [1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 抑制率和铁离子还原/氧化能力 (ferric reducing/antioxidant power, FRAP) 值] 存在显著差异, 综合质量评价值 ( $D$ ) 范围 0.10~0.61, 其中, 庄浪县水洛镇综合质量最高 ( $D=0.61$ ), 其次为积石山县吹麻滩镇 ( $D=0.57$ ) 和成县小川镇 ( $D=0.56$ )。相关性分析表明, 活性物质含量和抗氧化能力与年平均气温和降雨量呈负相关。结论 甘肃省庄浪县、积石山县和成县等区域款冬花综合质量较佳, 适宜冷凉和干旱的环境可提升其综合质量。

**关键词:** 款冬花; 综合质量评价; 活性物质; 抗氧化能力; 环境因子; 绿原酸; 芦丁; 异槲皮苷; 款冬酮

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2022)12-3784-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2022.12.025

## Comprehensive quality appraisal of flower buds of *Tussilago farfara* from 39 populations in Gansu province and analysis of affecting factors

SHI Li-wei<sup>1</sup>, LI Mei-ling<sup>2</sup>, CUI Xiu-wen<sup>2</sup>, LI Meng-fei<sup>2</sup>

1. Station of Industrial Crop and Promotion, Dingxi 743000, China

2. State Key Lab of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

**Abstract: Objective** To appraise the comprehensive quality of *Tussilago farfara* from different populations in Gansu province based on dry weight (DW), bioactive compounds contents and antioxidant capacity, and analyze the effect of environmental factors on quality formation. **Methods** The contents of main bioactive compounds and antioxidant capacity of *T. farfara* from 39 populations in Gansu province were determined by spectrophotometer and HPLC, the comprehensive quality was appraised by FCAM, and the correlation between comprehensive quality and environmental factors was analyzed by SPSS software. **Results** There were significant differences in the DW, contents of seven main bioactive compounds (chlorogenic acid, rutin, isoquercitrin, tussilagone, soluble sugar, total flavonoids and total phenolics) and antioxidant capacity (DPPH scavenging activity and FRAP value) among the 39 populations, with the comprehensive appraisal value ( $D$ ) ranging from 0.10 to 0.61, and Zhuanglang county displaying the highest value ( $D = 0.61$ ), followed by Jishishan County ( $D = 0.57$ ) and Chengxian County ( $D = 0.56$ ). The correlation analysis showed that there was a negative relationship of bioactive compounds contents and antioxidant capacity with annual average temperature and rainfall. **Conclusion** The comprehensive quality of *T. farfara* from Zhuanglang, Jishishan and Chengxian counties presents better than other regions in Gansu province, and it can be improved when plants grow under eligible cold and drought environments.

**Key words:** *Tussilago farfara* L.; comprehensive quality appraisal; bioactive compound; antioxidant capacity; environmental factor; chlorogenic acid; rutin; isoquercitrin; tussilagone

款冬花为菊科植物款冬 *Tussilago farfara* L. 的干燥花蕾, 具有润肺下气和止咳化痰功能, 主治新久咳嗽、喘咳痰多和劳嗽咳血<sup>[1]</sup>。研究发现, 款冬花作为清肺排毒汤中一个主要药材, 在治疗新型冠状病毒感染的肺

炎轻型、普通型和重型患者中发挥重要作用<sup>[2-3]</sup>。现代化学和药理学表明, 款冬花含有多种有效成分, 包括倍半萜内酯 (如款冬酮)、酚类 (如绿原酸、阿魏酸和 3,4-羟基苯甲酸)、类黄酮 (如芦丁、异槲皮苷和山奈

收稿日期: 2021-12-03

基金项目: 全国中药资源普查—甘肃省款冬花资源调查研究 (GSZYPC2018Z24); 甘肃大宗中药材生态适宜区域与规划项目 (LRYCZ-2020-2)

作者简介: 师立伟 (1976—), 男, 甘肃临洮人, 正高级农艺师, 主要从事蔬菜中药材栽培工作。E-mail: zx8068@163.com

\*通信作者: 栗孟飞 (1980—), 男, 河南驻马店人, 博士, 教授, 主要从事药用植物学研究。E-mail: lmf@gau.edu.cn

酚)、多糖、生物碱和挥发油等<sup>[4-11]</sup>,具有抗炎、免疫调节、抗氧化、抗菌和抗痉挛等作用<sup>[10,12-14]</sup>。

款冬花主要分布于欧洲、亚洲、南美洲和北非<sup>[10,15]</sup>,在我国西北部广泛种植,包括甘肃、陕西、四川、青海省和内蒙古自治区<sup>[5,11]</sup>,其中甘肃省为主要产区,2020年种植面积达1300 hm<sup>2</sup>,产量约1100 t,占全国总产量的70%~80%。款冬花喜凉爽,主要生长在潮湿的环境,干燥环境也有分布<sup>[16]</sup>。Dobravalskyte等<sup>[17-18]</sup>报道称,款冬花的化学成分受生长环境(如降雨、土壤和阳光)、生长期和遗传特性等多因素的影响。Norani等<sup>[7]</sup>研究发现,伊朗7个不同居群(海拔229~2258 m,降雨量305~1081 mm,年气温9.0~16.1 ℃),款冬花花蕾和叶片挥发油成分、总酚类含量、总黄酮含量和抗氧化能力存在显著差异。

目前,对我国不同省份和区域的款冬花质量(如绿原酸、芦丁、异槲皮苷、款冬酮和多糖)之间的差异已有相关研究报道,但多数仅限于对一个或多个化合物进行评价<sup>[19-21]</sup>。然而,款冬花综合质量优

劣取决于多种成分<sup>[4-11]</sup>,因此,基于干质量、多种活性物质积累和抗氧化能力的款冬花综合质量评价至关重要。本研究利用电子天平、分光光度计和高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC),对甘肃省39个不同居群的款冬花干质量、生物活性物质含量和抗氧化能力进行了测定,采用模糊综合评价法(fuzzy comprehensive appraisal method, FCAM)对其进行综合评价,并对综合质量和生长环境之间的关系进行了相关性分析。该研究结果将为甘肃省款冬花产量和品质提升以及种植栽培规范化提供科学依据。

### 1 材料

款冬花花蕾于2020年12月至2021年1月采自甘肃省39个不同生态区域的野生和栽培植株(表1),花蕾于阴凉通风处干燥后,室温保存,不同区域款冬花形态特征见图1。植株样品由甘肃农业大学生命科学技术学院杨德龙教授鉴定为菊科植物款冬 *T. farfara* L.。

表1 甘肃省39个不同居群款冬花来源

Table 1 Sources of *T. farfara* from 39 different populations in Gansu province

编号	地区	经度	纬度	海拔/m	年平均气温/℃	平均降雨量/mm	类型
1	积石山县居集镇	102°55'46"	35°39'06"	2195	5.6	493	野生
2	临夏县黄泥湾镇	103°14'07"	35°32'47"	1938	6.9	492	野生
3	卓尼县阿子滩镇	103°16'30"	34°37'52"	2745	4.8	579	野生
4	和政县城关镇	103°21'01"	35°25'39"	2159	6.2	508	野生
5	迭部县电尕镇	103°23'49"	34°00'37"	2312	7.9	585	野生
6	迭部县旺藏镇	103°36'21"	33°57'18"	2096	9.1	575	野生
7	舟曲县立节镇	104°03'39"	33°53'40"	1499	11.4	543	野生
8	舟曲县大川镇	104°27'27"	33°42'21"	1146	13.5	502	野生
9	武都区两水镇	104°49'40"	33°25'01"	952	15.3	489	野生
10	武都区汉王镇	105°00'08"	33°20'55"	974	15.5	525	野生
11	武山县四门镇	105°00'51"	34°37'24"	1539	10.2	587	野生
12	礼县崖城乡	105°08'04"	34°19'16"	1509	10.7	589	野生
13	西和县洛峪镇	105°13'37"	33°54'06"	1692	9.9	627	野生
14	文县碧口镇	105°14'41"	32°44'35"	581	17.0	730	野生
15	西和县石堡镇	105°18'14"	34°05'43"	1529	10.8	602	野生
16	文县中庙镇	105°20'38"	32°45'52"	564	16.5	740	野生
17	康县平洛镇	105°26'10"	33°33'46"	969	14.3	592	野生
18	成县小川镇	105°33'51"	33°40'45"	1186	12.9	617	野生
19	成县抛沙镇	105°40'12"	33°43'15"	642	14.0	613	野生
20	静宁县城关镇	105°43'12"	35°32'04"	1643	8.5	476	野生
21	康县阳坝镇	105°45'41"	33°00'21"	784	15.1	750	野生
22	庄浪县水洛镇	106°01'52"	35°12'21"	1610	9.0	543	野生
23	两当县金洞乡	106°18'26"	33°54'35"	912	12.8	681	野生
24	华亭县马峡镇	106°28'30"	35°14'11"	1753	7.9	596	野生
25	崇信县铜城工业园区	106°53'34"	35°17'31"	1196	10.0	577	野生
26	崆峒区草峰镇	106°54'04"	35°33'39"	1394	8.9	555	野生
27	合水县西华池镇	108°00'46"	35°51'06"	1291	9.4	533	野生
28	积石山县吹麻滩镇	102°52'31"	35°43'06"	2271	5.4	486	栽培
29	康乐县景古镇	103°41'29"	35°08'18"	2176	6.5	524	栽培
30	陇西县文峰镇	104°42'32"	34°57'01"	1564	8.0	537	栽培
31	陇西县文峰镇	104°43'09"	34°56'07"	1565	8.1	539	栽培
32	甘谷县大像山镇	105°18'59"	34°44'30"	1257	11.3	550	栽培
33	秦州区关子镇	105°22'55"	34°37'29"	1466	10.3	577	栽培
34	礼县盐官镇	105°27'12"	34°12'12"	1669	10.5	606	栽培
35	秦安县王铺乡	105°29'26"	35°00'44"	1531	9.4	538	栽培
36	麦积区马跑泉镇	105°53'59"	34°33'25"	1285	11.9	544	栽培
37	张家川县龙山镇	106°05'09"	35°02'12"	1547	9.1	568	栽培
38	徽县江洛镇	106°11'25"	33°49'59"	802	13.8	667	栽培
39	徽县柳林镇	106°14'38"	33°53'42"	1233	11.7	694	栽培



图1 39个不同居群款冬花的形态特征

Fig. 1 Morphological characteristics of *T. farfara* from 39 different populations

## 2 方法

### 2.1 绿原酸、芦丁、异槲皮苷和款冬酮的测定

**2.1.1 供试品溶液的制备** 称取 2.0 g 干燥花蕾，粉碎后置于 40 mL 无水乙醇具塞三角瓶中，黑暗、室温 120 r/min 条件下振荡提取 72 h；然后 4 ℃、8000 r/min 离心 10 min；收集上清液，用无水乙醇定容至 40 mL，4 ℃ 保存备用。

**2.1.2 混合对照品溶液的制备** 分别精密称取绿原酸、芦丁、异槲皮苷和款冬酮对照品适量，用甲醇配制 1 mg/mL 溶液，混合后采用逐级稀释法获得 250.0、50.0、20.0、8.0、3.2、1.28、0.512、0.204 8 μg/mL 对照品溶液。

**2.1.3 色谱条件** 色谱柱为 C<sub>18</sub> (250 mm×4.6 mm, 5 μm)，进样量 10 μL，体积流量 1.0 mL/min，检测波长 220 nm，柱温 30 ℃，流动相为乙腈 (A)-甲醇 (B)-0.1%磷酸 (C)，梯度洗脱 (0~30 min, 14% A, 86% C; 30~31 min, 18% A, 10% B, 72% C; 31~36 min, 100% B; 36~38 min, 14% A, 86% C)。混合对照品和 39 个样品代表性色谱图见图 2。

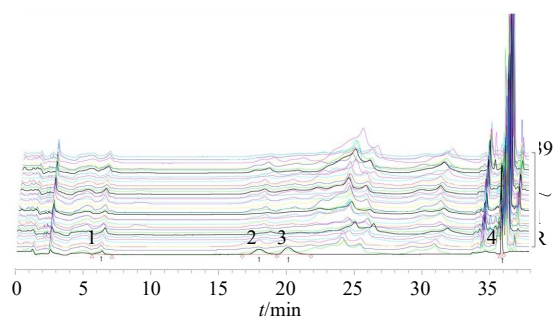
**2.1.4 标准曲线的绘制及含量测定** 将“2.1.2”项对照品溶液等比稀释成系列溶液，以峰面积 (X) 对绿原酸、芦丁、异槲皮苷和款冬酮质量浓度 (Y) 进行回归计算，得到线性方程见表 2。将“2.1.1”项的供试品溶液用 0.22 μm 有机滤膜滤过，利用 HPLC 测定绿原酸、芦丁、异槲皮苷和款冬酮含量<sup>[22]</sup>。绿原酸、芦丁、异槲皮苷和款冬酮含量按照公式计算。

$$W=(C \times V)/(M \times 1000)$$

C 分别为绿原酸、芦丁、异槲皮苷和款冬酮的质量浓度，V 为提取液的体积，M 为材料干质量

### 2.2 可溶性糖、总黄酮和总酚类成分的测定

采用硫酸-苯酚法<sup>[23]</sup>测定可溶性糖含量。吸取 15 μL 提取液，加入 1.0 mL 9.0% 苯酚溶液，振荡



1-绿原酸 2-芦丁 3-异槲皮苷 4-款冬酮

1-chlorogenic acid 2-rutin 3-isoquercitrin 4-tussilagon

图2 混合对照品 (R) 和 39 个样品的 HPLC 图

Fig. 2 HPLC chromatograms of mixed references (R) and 39 samples

表2 绿原酸、芦丁、异槲皮苷和款冬酮回归方程

Table 2 Standard curves of chlorogenic acid, rutin, isoquercitrin and tussilagon

成分	线性方程	R <sup>2</sup>
绿原酸	$Y=3.62 \times 10^{-4} X+4.629 0$	0.996 6
芦丁	$Y=9.75 \times 10^{-5} X+0.997 6$	0.999 9
异槲皮苷	$Y=7.43 \times 10^{-5} X+0.768 6$	0.999 9
款冬酮	$Y=5.95 \times 10^{-5} X-0.604 7$	0.998 3

5 min 后，加入 3.0 mL 浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>，充分混匀后，在室温下静置 30 min；在 485 nm 下测定反应液的吸光 (A) 值，可溶性糖含量以蔗糖为对照品标定。

采用亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠法<sup>[24-25]</sup>测定总黄酮含量。吸取 80 μL 提取液，加入 2.0 mL 蒸馏水和 0.3 mL 5% NaNO<sub>2</sub>，混合振荡 5 min 后，加入 0.3 mL 10% AlCl<sub>3</sub>，混合振荡 1 min 后，加入 2.0 mL 1.0 mol/L NaOH，充分混合后，在 510 nm 下测定反应液的 A 值，总黄酮含量以儿茶素为对照品标定。采用福林酚试剂法<sup>[25-26]</sup>测定总酚类化合物含量。吸取 15.0 μL 提取液，依次加入 2.0 mL 10% Folin-Ciocalteu 和 1.0 mL 7.5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>，混合振荡 5

min 后, 置于水浴锅中 37 °C 避光反应 1 h, 在 760 nm 下测定反应液的  $A$  值, 总酚类含量以没食子酸为对照品标定。以  $A$  值 ( $X$ ) 对蔗糖、儿茶素和没食子酸的量 ( $Y$ ) 进行回归计算, 得到标准曲线方程 (表 3)。

表 3 标准品蔗糖、儿茶素和没食子酸标准曲线方程

Table 3 Standard curves of sucrose, catechin and gallic acid

成分	回归方程	$R^2$
蔗糖	$Y=62.50 X-2.75$	0.999
儿茶素	$Y=188.68 X-6.89$	0.999
没食子酸	$Y=19.16 X-0.71$	0.999

可溶性糖、总黄酮和总酚类含量计算公式为:

$$W = (C \times V_2) / (V_1 \times M \times 1000)$$

$C$  为化合物的量 ( $\mu\text{g}$ );  $V_1$  为检测样品溶液体积 ( $\text{mL}$ ),  $V_2$  为提取液体积 ( $\text{mL}$ ),  $M$  为材料干质量 ( $\text{g}$ )

### 2.3 抗氧化能力的测定

目前, 常采用 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 和铁离子还原/氧化能力 (ferric reducing/antioxidant power, FRAP) 测定总抗氧化能力, 其具有快速检测的优势<sup>[25-27]</sup>。

DPPH 参考 Nencini 等<sup>[28]</sup>的方法。吸取 15.0  $\mu\text{L}$  提取液, 加入 3.0 mL 0.1 mmol/L DPPH 甲醇溶液, 振荡 5 min 后, 室温黑暗条件下反应 30 min, 在 515 nm 下测定反应液的  $A$  值, 计算 DPPH 抑制率 ( $I$ ), 公式为:

$$I = (A_0 - A) / A_0$$

$A$  为样品溶液的吸光度值,  $A_0$  为不加样品溶液的吸光度值

FRAP 参考 Benzie 等<sup>[29]</sup>的方法。分别吸取 15.0  $\mu\text{L}$  提取液和参比 ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), 加入 3.0 mL FRAP 溶液, 振荡 5 min 后, 37 °C 黑暗条件下反应 4 min, 在 593 nm 下测定反应液的  $A$  值, 以 500  $\mu\text{mol/L}$   $\text{Fe}^{2+}$  ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 为参比, 计算公式为:

$$\text{FRAP} = [(A - A_0) / (A_1 - A_0)] \times 500$$

$A$  为样品溶液的吸光度值,  $A_0$  为不加样品溶液的吸光度值,  $A_1$  为  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  溶液的吸光度值

### 2.4 统计分析与综合评价

2.4.1 统计分析 每个实验重复 3 次, 采用 SPSS 26.0 软件进行统计学数据分析, 采用 ANOVA Duncan 数据差异显著性分析 ( $P < 0.05$ ); 采用 Origin 2018 软件制图。

2.4.2 综合评价 采用模糊综合评价法<sup>[30]</sup>对 39 个不同地区款冬花综合质量进行评价, 具体公式为:

$$R(x_i) = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$$

$R(x_i)$  为隶属函数值,  $x_i$  为  $i$  的函数值,  $x_{\min}$  为  $x$  的最小值,

$x_{\max}$  为  $x$  的最大值

$$D(x_i) = \sum [R(x_i) \times C_i]$$

$D(x_i)$  为综合评价值,  $C_i$  为权重系数

## 3 结果与分析

### 3.1 不同居群干质量的比较

由表 4 可知, 39 个不同居群款冬花花蕾干质量 (0.08~0.19 g/株) 存在显著性差异, 其中 5 号样品干质量最高 (0.19 g), 依次为 8 号样品 (0.17 g) 和 10 号样品 (0.16 g)。

### 3.2 不同居群绿原酸、芦丁、异槲皮苷和款冬酮含量的比较

由表 4 可知, 39 个居群绿原酸、芦丁、异槲皮苷和款冬酮含量也存在显著性差异。其中, 绿原酸质量分数 0.68~4.01 mg/g, 11 号样品质量分数最高 (4.01 mg/g), 依次为 33 号样品 (2.64 mg/g) 和 22 号样品 (2.45 mg/g); 芦丁质量分数 0.07~0.49 mg/g, 11 号样品质量分数最高 (0.49 mg/g), 依次为 34 号样品 (0.47 mg/g) 和 28 号样品 (0.46 mg/g); 异槲皮苷质量分数 0.07~0.70 mg/g, 4 号样品质量分数最高 (0.70 mg/g), 依次为 22 号样品 (0.55 mg/g) 和 28 号样品 (0.53 mg/g); 款冬酮质量分数 0.49~1.47 mg/g, 22 号样品质量分数最高 (1.47 mg/g), 依次为 26 号样品 (1.32 mg/g) 和 20 号样品 (1.28 mg/g)。

### 3.3 不同居群可溶性糖、总黄酮和总酚类质量分数的比较

由表 4 可知, 39 个居群可溶性糖、总黄酮和总酚类质量分数也存在显著差异。其中, 可溶性糖质量分数 9.95~92.17 mg/g, 12 号样品质量分数最高 (92.17 mg/g), 依次为 20 号样品 (74.53 mg/g) 和 25 号样品 (63.74 mg/g); 总黄酮质量分数 8.90~32.80 mg/g, 36 号样品质量分数最高 (32.80 mg/g), 依次为 18 号样品 (31.64 mg/g) 和 19 号样品 (29.59 mg/g); 总酚类质量分数 4.32~18.22 mg/g, 36 号样品质量分数最高 (18.22 mg/g), 依次为 19 号样品 (17.24 mg/g) 和 18 号样品 (16.33 mg/g)。

### 3.4 不同居群抗氧化能力的比较

由于 39 个居群活性物质含量存在较大的差异, 使得其 DPPH 抑制率和 FRAP 值也存在显著差异 (表 4)。其中, DPPH 抑制率 25.33%~83.08%, 18 号样品抑制率最高 (83.08%), 依次为 15 号样品 (81.08%) 和 13 号样品 (76.28%); FRAP 值  $0.98 \times 10^4 \sim 8.96 \times 10^4$   $\mu\text{mol/L}$ , 28 号样品值最大 ( $8.96 \times 10^4$   $\mu\text{mol/L}$ ),

表4 不同居群款冬干质量、生物活性物质含量和抗氧化能力的比较

Table 4 Comparison of dry weight, bioactive compounds contents and antioxidant capacity of *T. farfara* among different populations

编号	干质量/(g·株 <sup>-1</sup> )	绿原酸 (mg·g <sup>-1</sup> )	芦丁/(mg·g <sup>-1</sup> )	异槲皮苷 (mg·g <sup>-1</sup> )	款冬酮 (mg·g <sup>-1</sup> )	可溶性糖/(mg·g <sup>-1</sup> )	总黄酮/(mg·g <sup>-1</sup> )	总酚类/(mg·g <sup>-1</sup> )	DPPH 抑制率/%	FRAP 值/(× 10 <sup>4</sup> μmol·L <sup>-1</sup> )
1	0.10±0.02fghij	1.38±0.07klm	0.32±0.03ij	0.45±0.02c	1.24±0.00d	18.54±0.31qr	23.71±1.50d	13.63±1.25ghijkl	68.47±2.62def	6.79±0.25d
2	0.14±0.03bcdefgh	1.25±0.02mno	0.14±0.01qrs	0.24±0.02ij	0.49±0.01y	12.18±0.84st	13.92±1.16klmn	6.74±0.48ijklmn	55.26±5.79ghi	4.27±0.34ij
3	0.11±0.01defghij	0.72±0.08tu	0.08±0.01ef	0.09±0.01rst	0.50±0.00y	23.31±3.05op	8.90±0.37r	4.32±0.14o	25.33±1.35q	0.99±0.03q
4	0.14±0.01bcdef	1.33±0.01lmn	0.41±0.01cd	0.70±0.02a	0.53±0.00x	39.18±3.77fg	20.22±0.38e	12.08±1.14de	65.87±4.00f	5.38±0.38f
5	0.19±0.04a	1.68±0.14ghi	0.14±0.01st	0.16±0.01mno	0.73±0.00t	16.66±1.05qrs	14.45±0.76ijklm	8.24±0.46ghijklm	34.13±1.05klmno	1.63±0.02no
6	0.16±0.03abc	1.75±0.17fgh	0.15±0.01opqr	0.10±0.01op	0.76±0.00r	13.52±0.28st	13.07±0.50klmno	6.62±0.36klmno	30.63±0.79nop	1.25±0.07opq
7	0.15±0.05abcd	1.89±0.14ef	0.19±0.03mno	0.09±0.02qrst	0.81±0.00q	13.11±0.85st	13.57±0.67klmno	7.36±0.09ijklmn	31.03±0.87nop	1.36±0.05nopq
8	0.17±0.03ab	2.14±0.10d	0.16±0.01nop	0.07±0.01st	0.91±0.00nl	13.82±0.59st	14.17±0.15klm	7.62±0.21hijklm	29.93±1.83nop	3.14±0.23m
9	0.15±0.05abcd	0.86±0.09rst	0.11±0.01a	0.07±0.02st	0.76±0.00r	13.34±0.17st	9.89±0.34qr	4.89±0.15no	29.13±2.08opq	1.09±0.05q
10	0.16±0.03ab	1.75±0.29fgh	0.10±0.04b	0.07±0.01st	0.91±0.00n	12.24±1.02st	14.33±0.31ijklm	6.61±0.56klmno	33.33±0.9klmno	1.60±0.09nop
11	0.12±0.01cdefghij	4.01±0.03a	0.49±0.02ab	0.23±0.00jk	0.99±0.00k	19.56±5.09pq	25.75±2.13c	15.66±1.10b	76.08±1.83b	6.07±0.41e
12	0.13±0.01bcdefghi	1.25±0.01mno	0.22±0.01lm	0.19±0.02klm	1.01±0.01j	92.17±3.00a	12.05±0.77nop	6.88±0.34ijklmn	32.23±0.35mnop	1.11±0.01q
13	0.10±0.01efghij	1.16±0.01nop	0.27±0.01l	0.23±0.01jk	1.25±0.01d	31.00±2.41ijkl	26.12±0.23c	14.88±0.38bc	76.28±1.59b	7.12±0.32d
14	0.14±0.02bcdefgh	0.97±0.04qrs	0.11±0.03u	0.08±0.02st	0.74±0.00d	14.43±1.51rst	13.81±0.78klmno	7.05±0.64ijklmn	32.43±1.31lmnop	1.42±0.03nopq
15	0.13±0.01bcdefghi	1.36±0.02klm	0.36±0.02gh	0.28±0.03ghi	0.84±0.00p	57.69±2.18d	25.43±0.72c	15.18±0.44bc	81.08±5.34a	7.60±0.04c
16	0.13±0.02bcdefghij	0.92±0.21rs	0.07±0.03nop	0.07±0.01t	0.94±0.01lm	9.95±1.18t	11.92±0.42op	6.10±0.32mno	30.93±1.38nop	1.18±0.07pq
17	0.08±0.03j	0.68±0.01u	0.13±0.01tu	0.26±0.01hij	0.67±0.00v	11.58±0.22t	12.14±0.23nop	6.05±0.31mno	28.83±2.46ppq	0.98±0.04q
18	0.11±0.01defghij	1.65±0.08ghij	0.40±0.02de	0.31±0.01efg	0.95±0.01l	29.18±1.78ijklm	31.64±1.40a	16.33±0.53ab	83.08±4.51a	8.28±0.46b
19	0.09±0.02ij	1.26±0.05mno	0.31±0.01j	0.23±0.02jk	1.03±0.00i	24.90±0.98mno	29.59±0.85b	17.24±0.48ab	71.67±2.5bcd	6.92±0.19d
20	0.09±0.00hij	2.38±0.03c	0.41±0.02cd	0.20±0.02jk	1.28±0.00c	74.53±2.18b	16.13±0.56hij	8.98±0.37ghij	34.93±1.14ijklm	4.04±0.55jk
21	0.14±0.04bcdef	1.48±0.11jkl	0.16±0.02opq	0.13±0.03op	0.93±0.01m	11.81±0.86st	12.76±1.05lmno	7.70±0.25hijklm	31.23±1.38nop	1.36±0.04nopq
22	0.11±0.00cdefghij	2.45±0.03c	0.41±0.02cd	0.55±0.03b	1.47±0.01a	31.92±1.38ijkl	23.36±1.41d	12.99±0.71c	74.07±3.02bc	6.33±0.37e
23	0.16±0.04ab	1.53±0.04ijk	0.15±0.01opqr	0.10±0.03pqrst	0.77±0.00r	13.63±0.84st	12.57±0.97mnop	6.35±0.25lmno	32.03±0.46mnop	1.07±0.02q
24	0.12±0.01bcdefghij	1.56±0.02ij	0.35±0.00hi	0.31±0.03efg	0.85±0.00p	42.84±2.09f	12.26±2.01nop	7.61±0.72hijklm	58.86±1.20g	3.36±0.30lm
25	0.09±0.00hij	1.11±0.01opq	0.33±0.01ij	0.34±0.01e	1.08±0.01h	63.74±0.22c	14.64±0.09ijkl	9.46±0.39fghi	57.26±1.51gh	4.48±0.21hi
26	0.12±0.01cdefghij	1.16±0.04nop	0.27±0.00k	0.32±0.01ef	1.32±0.01b	27.64±7.06lmno	17.94±0.68g	9.95±0.38efgh	35.04±0.92ijklmn	5.29±0.13f
27	0.12±0.01bcdefghij	2.06±0.03d	0.22±0.01lmn	0.18±0.04lmn	0.71±0.01u	11.38±0.27t	10.91±0.58pq	5.87±0.45mno	53.45±1.20hi	3.45±0.19lm
28	0.09±0.01ghij	1.52±0.03ijkl	0.46±0.01cd	0.53±0.03b	0.65±0.00w	36.67±1.76gh	28.42±1.61b	15.29±0.68b	71.87±1.25bcd	8.96±0.05a
29	0.13±0.02bcdefghi	1.37±0.01klm	0.42±0.01cd	0.39±0.04d	0.81±0.00q	34.05±5.29hi	16.24±0.21hi	8.78±0.43ghijkl	51.25±0.35i	4.68±0.13gh
30	0.13±0.03bcdefghi	0.82±0.01stu	0.14±0.01rs	0.20±0.01kl	0.99±0.00k	23.04±3.32op	14.91±1.32ijk	7.65±0.49hijklm	56.46±1.04gh	4.37±0.30ij
31	0.14±0.02bcdefg	1.59±0.22hij	0.29±0.02j	0.30±0.02fg	0.88±0.01o	28.47±2.08klmn	20.72±0.57e	5.74±0.28mno	66.87±0.35ef	6.16±0.19e
32	0.15±0.02abcde	2.32±0.05c	0.38±0.01fgh	0.13±0.00opq	0.93±0.00m	32.43±4.4hijk	20.04±1.50e	10.64±1.11efg	70.67±2.50cde	5.31±0.29f
33	0.13±0.01bcdefghi	2.64±0.22b	0.15±0.03pqrs	0.08±0.01st	1.09±0.00g	23.05±1.84op	19.74±1.40ef	10.03±1.00efgh	39.34±2.38j	5.03±0.12fg
34	0.13±0.01bcdefghij	1.12±0.01opq	0.47±0.00c	0.29±0.01fgh	0.73±0.01st	55.16±3.60de	18.16±0.16fg	9.29±0.52ghij	36.34±1.31ijklm	1.63±0.03no
35	0.13±0.03bcdefghi	1.14±0.01opq	0.40±0.01fg	0.40±0.00d	0.90±0.01n	33.73±3.57hij	20.71±1.33e	11.75±0.49def	72.87±3.31bcd	4.73±0.29gh
36	0.09±0.01ghij	1.01±0.02pqr	0.28±0.00k	0.30±0.03efg	1.10±0.01f	51.35±2.13e	32.80±1.706a	18.22±0.94a	72.07±2.62bcd	8.49±0.32b
37	0.12±0.02bcdefghij	1.57±0.03ij	0.19±0.00lmno	0.16±0.03no	1.17±0.02e	24.07±2.48nop	16.19±0.29hi	7.50±1.47hijklm	34.33±1.54klmn	3.73±0.37kl
38	0.14±0.02bcdefg	2.03±0.09de	0.18±0.01nop	0.11±0.02pqrs	0.82±0.00q	12.09±1.44st	16.93±0.61gh	9.14±0.11ghij	37.34±0.97jkl	1.74±0.04n
39	0.14±0.02bcdefg	1.76±0.09fg	0.16±0.02nop	0.12±0.01opqr	0.81±0.00q	12.83±0.89st	14.34±0.51ijklm	7.50±0.35hijklm	38.04±8.44jk	1.15±0.03q

不同字母代表不同居群间样品达到显著性差异 (P<0.05)

different letters represent a significant difference (P<0.05) at different populations

依次为 36 号样品 ( $8.49 \times 10^4 \mu\text{mol/L}$ ) 和 18 号样品 ( $8.28 \times 10^4 \mu\text{mol/L}$ )。

### 3.5 不同居群干质量、活性物质含量和抗氧化能力的综合评价

采用 FCAM 对款冬花干质量、7 个主要活性物质 (绿原酸、芦丁、异槲皮苷、款冬酮、可溶性糖、总黄酮、总酚类) 含量以及抗氧化能力 (DPPH 抑制率和 FRAP 值) 进行综合质量评价, 结果见表 5。

表 5 不同居群款冬花干质量、活性物质含量和抗氧化能力的综合评价

Table 5 Comprehensive appraisal of dry weight, bioactive compounds contents and antioxidant capacity of *T. farfara* from different populations

编号	隶属函数值										D 值	排名
	干质量	绿原酸含量	芦丁含量	异槲皮苷含量	款冬酮含量	可溶性糖含量	总黄酮含量	总酚类含量	DPPH 抑制率	FRAP 值		
1	0.16	0.21	0.60	0.60	0.77	0.10	0.62	0.25	0.75	0.73	0.48	8
2	0.51	0.17	0.18	0.28	0.00	0.03	0.21	0.63	0.52	0.41	0.28	25
3	0.27	0.01	0.02	0.03	0.01	0.16	0.00	0.76	0.00	0.00	0.10	39
4	0.55	0.20	0.81	1.00	0.04	0.36	0.47	0.34	0.70	0.55	0.53	7
5	1.00	0.30	0.16	0.15	0.25	0.08	0.23	0.55	0.15	0.08	0.25	27
6	0.72	0.32	0.19	0.05	0.28	0.04	0.17	0.64	0.09	0.03	0.21	32
7	0.64	0.36	0.29	0.04	0.33	0.04	0.20	0.60	0.10	0.05	0.22	31
8	0.79	0.44	0.23	0.00	0.43	0.05	0.22	0.58	0.08	0.27	0.26	26
9	0.67	0.05	0.10	0.01	0.28	0.04	0.04	0.73	0.07	0.01	0.15	36
10	0.76	0.32	0.08	0.01	0.43	0.03	0.23	0.64	0.14	0.08	0.22	29
11	0.31	1.00	1.00	0.26	0.52	0.12	0.71	0.14	0.88	0.64	0.55	4
12	0.49	0.17	0.37	0.20	0.53	1.00	0.13	0.62	0.12	0.02	0.36	20
13	0.20	0.14	0.48	0.26	0.78	0.26	0.72	0.18	0.88	0.77	0.47	12
14	0.50	0.09	0.11	0.03	0.26	0.05	0.21	0.61	0.12	0.06	0.16	35
15	0.44	0.21	0.69	0.34	0.36	0.58	0.69	0.17	0.97	0.83	0.55	5
16	0.42	0.07	0.00	0.00	0.46	0.00	0.13	0.67	0.10	0.03	0.14	37
17	0.00	0.00	0.14	0.31	0.18	0.02	0.14	0.67	0.06	0.00	0.13	38
18	0.26	0.29	0.80	0.39	0.47	0.23	0.95	0.10	1.00	0.91	0.56	3
19	0.05	0.18	0.57	0.26	0.55	0.18	0.87	0.05	0.80	0.74	0.44	14
20	0.07	0.51	0.82	0.21	0.81	0.79	0.30	0.51	0.17	0.38	0.46	13
21	0.58	0.24	0.21	0.11	0.45	0.02	0.16	0.58	0.10	0.05	0.21	33
22	0.29	0.53	0.82	0.77	1.00	0.27	0.61	0.29	0.84	0.67	0.61	1
23	0.77	0.26	0.19	0.06	0.29	0.04	0.15	0.65	0.12	0.01	0.21	34
24	0.38	0.27	0.66	0.39	0.37	0.40	0.14	0.58	0.58	0.30	0.40	17
25	0.07	0.13	0.63	0.44	0.60	0.65	0.24	0.48	0.55	0.44	0.44	15
26	0.32	0.14	0.48	0.41	0.85	0.22	0.38	0.45	0.17	0.54	0.38	18
27	0.38	0.42	0.37	0.17	0.23	0.02	0.08	0.68	0.49	0.31	0.28	24
28	0.11	0.25	0.93	0.74	0.16	0.33	0.82	0.16	0.81	1.00	0.57	2
29	0.44	0.21	0.83	0.52	0.33	0.29	0.31	0.52	0.45	0.46	0.43	16
30	0.48	0.04	0.17	0.21	0.51	0.16	0.25	0.58	0.54	0.42	0.31	22
31	0.54	0.27	0.52	0.38	0.40	0.23	0.49	0.69	0.72	0.65	0.47	11
32	0.63	0.49	0.76	0.10	0.45	0.27	0.47	0.42	0.79	0.54	0.47	10
33	0.44	0.59	0.19	0.02	0.62	0.16	0.45	0.45	0.24	0.51	0.34	21
34	0.41	0.13	0.97	0.35	0.25	0.55	0.39	0.49	0.19	0.08	0.37	19
35	0.45	0.14	0.80	0.53	0.42	0.29	0.49	0.36	0.82	0.47	0.48	9
36	0.11	0.10	0.52	0.38	0.63	0.50	1.00	0.00	0.81	0.94	0.53	6
37	0.38	0.27	0.30	0.14	0.69	0.17	0.30	0.59	0.16	0.34	0.30	23
38	0.53	0.40	0.26	0.06	0.34	0.03	0.34	0.50	0.21	0.10	0.24	28
39	0.54	0.32	0.23	0.09	0.33	0.04	0.23	0.59	0.22	0.02	0.22	30
平均值	0.43	0.26	0.45	0.26	0.43	0.23	0.37	0.47	0.42	0.37		
标准差系数	3.33	4.45	4.12	5.53	3.30	6.38	4.31	2.67	4.78	5.19		
权重因数	0.08	0.11	0.10	0.14	0.08	0.16	0.11	0.07	0.12	0.13		

综合质量评价 (D 值) 为 0.10~0.61, 其中, 22 号样品 (庄浪县水洛镇) 款冬花 D 值最高 (0.61), 依次为 28 号样品 (积石山县吹麻滩镇, D 值=0.57) 和 18 号样品 (成县小川镇, D 值=0.56)。

### 3.6 干质量、活性物质含量和抗氧化能力与环境因子关系的相关性分析

如表 6 所示, 干质量与生长环境因子 (海拔、年平均气温和降雨量) 有一定的相关性, 但没有达

表 6 不同居群款冬花干质量、活性物质含量和抗氧化能力与环境因子关系的相关性分析

Table 6 Correlation of dry weight, bioactive compounds contents and antioxidant capacities with environmental factors of *Farfara* from different populations

指标	干质量	绿原酸	芦丁	异槲皮苷	款冬酮	可溶性糖	总黄酮	总酚类	DPPH 抑制率	FRAP 值	海拔	年平均气温	年平均降雨量
干质量	1.00	0.14	-0.42**	-0.43**	-0.35*	-0.37*	-0.46**	-0.49**	-0.41**	-0.52**	-0.03	0.19	0.10
绿原酸		1.00	0.33*	-0.07	0.26	-0.07	0.20	0.21	0.18	0.17	0.02	-0.05	-0.12
芦丁			1.00	0.72**	0.25	0.55**	0.64**	0.66**	0.70**	0.66**	0.29	-0.41*	-0.32*
异槲皮苷				1.00	0.12	0.37*	0.51**	0.53**	0.64**	0.63**	0.44**	-0.56**	-0.40*
款冬酮					1.00	0.28	0.38*	0.39*	0.24	0.39*	-0.18	0.04	-0.05
可溶性糖						1.00	0.24	0.29	0.26	0.29	0.22	-0.28	-0.22
总黄酮							1.00	0.95**	0.82**	0.89**	0.06	-0.13	-0.14
总酚类								1.00	0.80**	0.85**	0.07	-0.12	-0.11
DPPH 抑制率									1.00	0.89**	0.18	-0.32*	-0.24
FRAP 值										1.00	0.22	-0.37*	-0.37*
海拔											1.00	-0.92**	-0.54**
年平均气温												1.00	0.58**
年平均降雨量													1.00

\*和\*\*分别表示在  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  水平上显著性差异

\* and \*\* represent a significant difference at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level, respectively

到显著水平。芦丁、异槲皮苷、总黄酮和总酚类含量与 DPPH 抑制率和 FRAP 值呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ )；除异槲皮苷含量与海拔呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ )，其它活性物质含量和抗氧化能力与海拔相关性不显著；活性物质含量和抗氧化能力与年平均气温和降雨量呈一定程度的负相关。

#### 4 讨论

在传统和现代医学中，款冬花广泛用于治疗呼吸道感染等相关疾病，不断扩大的市场需求推动了款冬花的大规模种植<sup>[2-3,7]</sup>。虽然前人已开展了环境条件对活性物质积累与抗氧化能力影响等方面的研究<sup>[7,17-21]</sup>，但对综合质量影响的研究鲜见报道。本研究结果表明，甘肃省 39 个不同居群款冬花综合质量存在较大的差异，其中，庄浪县水洛镇综合质量最高；研究还发现，环境因子对活性物质积累和抗氧化能力形成具有一定程度的影响。

很多调查研究发现，款冬花在不同的地理环境下均有分布，具有较强的环境适应能力<sup>[5,10-11,15-16]</sup>。前人通过对我国 4 个省份（甘肃、河北、山西省和内蒙古自治区）11 个不同居群款冬花质量进行比较，发现单个花蕾干质量变化幅度较大（0.12~0.18 g）<sup>[31]</sup>。本研究发现，39 个不同居群款冬花单个花蕾干质量最大相差约 2.4 倍（0.08~0.19 g）。以上结果表明生长环境对款冬花生长及干物质积累具有显

著影响。

研究已证实，植物初级和次级代谢产物的积累受环境因素的调控<sup>[19]</sup>。前人研究发现，我国不同居群款冬花中绿原酸、芦丁、异槲皮苷、款冬酮和可溶性糖的含量最大分别相差约 5.9、7.3、27.3、6.6 和 2.9 倍<sup>[19,20,32-33]</sup>。本研究发现，39 个不同居群中绿原酸、芦丁、异槲皮苷、款冬酮、可溶性糖、总黄酮和总酚类含量最大分别相差约 5.9、7.2、10.6、3.0、9.3、3.7 和 4.2 倍，DPPH 抑制率和 FRAP 值最大分别相差约 3.3 和 9.1 倍。以上结果表明生长环境也对款冬花活性物质积累具有显著影响。

前人对款冬花质量的评价，大多基于一个或多个化合物<sup>[19-21,32-33]</sup>；比如，基于绿原酸、芦丁、异槲皮苷、款冬酮和可溶性糖含量分析，陇西县款冬花质量最高<sup>[19,21,33]</sup>；基于芦丁含量，灵台县款冬花质量最高<sup>[34]</sup>。本研究综合考虑干质量、7 个活性物质积累量和体外抗氧化能力，发现甘肃省 39 个不同居群中，庄浪县水洛镇款冬花综合质量最高，其次是积石山县吹麻滩镇和成县小川镇。报道称，不同居群款冬花中挥发性组分和抗氧化能力的差异是由地理和环境条件（如海拔、年平均气温、降雨量、土壤和光照等）引起<sup>[7,18]</sup>，本研究发现，活性物质含量和抗氧化能力与年平均气温和降雨量呈负相关，表明适宜冷凉和干旱的生态环境可促进款冬花

综合质量的形成。因此,为了提升款冬花综合质量,建议在甘肃省范围内优选综合质量评价较高的区域(如庄浪县、积石山县和成县等),同时具备冷凉和干旱的环境条件。

此外,本研究中芦丁、异槲皮苷、总黄酮和总酚类含量与抗氧化能力呈显著正相关,这与前人报道的黄酮类和酚类化合物是抗氧化能力形成的主要成分的结果一致<sup>[27,35-36]</sup>。尽管本研究分析了款冬花质量与环境因子之间的相关性,但对环境因子如何调控代谢物生物合成与积累等方面的研究还有待于进一步验证。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 332.
- [2] 范建新, 秦雪梅, 李震宇. 基于网络药理学和分子对接技术的款冬花在清肺排毒汤治疗新型冠状病毒肺炎(COVID-19)中的作用分析 [J]. 中草药, 2020, 51(9): 2317-2325.
- [3] Zhang F, Huang J, Liu W, et al. Inhibition of drug-metabolizing enzymes by Qingfei Paidu Decoction: Implication of herb-drug interactions in COVID-19 pharmacotherapy [J]. *Food Chem Toxicol*, 2021, 149: 111998.
- [4] 刘可越, 张铁军, 高文远, 等. 款冬花的化学成分及药理活性研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2006, 31(22): 1837-1841.
- [5] Liu Y F, Yang X W, Wu B. Chemical constituents of the flower buds of *Tussilago farfara* [J]. *J Pharm Sci*, 2007, 16(4): 288-293.
- [6] Nedelcheva A, Kostova N, Sidjimov A. Pyrrolizidine alkaloids in *Tussilago farfara* from Bulgaria [J]. *Biotechnol Biotechnol Equip*, 2015, 29(sup1): S1-S7.
- [7] Norani M, Ebadi M T, Ayyari M. Volatile constituents and antioxidant capacity of seven *Tussilago farfara* L. populations in Iran [J]. *Sci Hortic*, 2019, 257: 108635.
- [8] Park H R, Yoo M Y, Seo J H, et al. Sesquiterpenoids isolated from the flower buds of *Tussilago farfara* L. inhibit diacylglycerol acyltransferase [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56(22): 10493-10497.
- [9] Safonova E A, Lopatina K A, Razina T G, et al. Effects of *Tussilago farfara* L. polysaccharides on the expression of PD-1 (CD279) and PD-L1 (CD274) in peripheral blood and tumor tissue lymphocytes in mice with lewis lung carcinoma [J]. *Bull Exp Biol Med*, 2020, 169(3): 378-382.
- [10] Stoyanova M A, Perifanova-Nemska M N. Biologically active compounds from *Tussilago farfara* L. [J]. *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng*, 2021, 1031(1): 012103.
- [11] Yang A M, Zhao A H, Zheng Z S, et al. Chemical constituents of the flower buds of *Tussilago farfara*. II [J]. *Chem Nat Compd*, 2018, 54(5): 978-980.
- [12] Kačaniová M, Hleba L, Petrová J, et al. Antimicrobial activity of *Tussilago farfara* L. [J]. *J Microbiol Biotechnol Food Sci*, 2013, 2: 1343-1350.
- [13] Li C T, Liu Y P, He F C, et al. In vitro antioxidant activities of *Tussilago farfara*, a new record species to Changbai Mountain [J]. *Chin J Nat Med*, 2012, 10(4): 260-262.
- [14] Zhao J L, Evangelopoulos D, Bhakta S, et al. Antitubercular activity of *Arctium lappa* and *Tussilago farfara* extracts and constituents [J]. *J Ethnopharmacol*, 2014, 155(1): 796-800.
- [15] Adameczak A, Buchwald W, Gryszczyńska A. Phytochemical variability of coltsfoot (*Tussilago farfara* L.) in Poland [J]. *Herba Polonica*, 2012, 58(4): 7-14.
- [16] Graeme T, Alison D, Margaret W. CHAPTER 30 - *Tussilago farfara*, coltsfoot [M]. Nork: Medical Herbs, Churchill Livingstone, 2011: 317-326.
- [17] Dobravalskyte D, Talou T, Venskutonis P R. Activity of natural antioxidants extracted from greater calamint sweet cicely and coltsfoot cultivated in Lithuania and France [A] // Conference Proceedings of the 6th Baltic Conference on Food Science and Technology Foodbalt [C]. Jelgava, Latvia: *Inno Food Sci & Prod*, 2011: 73-78.
- [18] Dobravalskyte D, Venskutonis P R, Talou T, et al. Antioxidant properties and composition of deodorized extracts of *Tussilago farfara* L. [J]. *Rec Nat Prod*, 2013, 7(3): 201-209.
- [19] 厉姝, 张静, 梁鹂, 等. 不同产地、不同采收期款冬花的质量评价 [J]. 中药材, 2015, 38(4): 720-722.
- [20] 刘香, 曹娟. HPLC 法测定不同来源款冬花中芦丁的含量 [J]. 药物分析杂志, 2009, 29(1): 134-136.
- [21] 庞东梅, 吴启勋, 殷志君, 等. 甘肃不同产地款冬花质量的灰色模式识别 [J]. 数理医药学杂志, 2011, 24(6): 640-642.
- [22] 吴笛, 雷昌, 唐林. HPLC 法同时测定款冬花中 7 种成分 [J]. 中成药, 2019, 41(5): 1080-1084.
- [23] DuBois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. *Anal Chem*, 1956, 28(3): 350-356.
- [24] Lay M M, Karsani S A, Mohajer S, et al. Phytochemical constituents, nutritional values, phenolics, flavonols, flavonoids, antioxidant and cytotoxicity studies on *Phaleria macrocarpa* (Scheff.) Boerl fruits [J]. *BMC Complement Altern Med*, 2014, 14: 152.



- [25] Yao Y Y, Kang T L, Jin L, *et al.* Temperature-dependent growth and hypericin biosynthesis in *Hypericum perforatum* [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2019, 139: 613-619.
- [26] Arnao M B. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: A practical case [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2000, 11(11): 419-421.
- [27] Li M F, Pare P W, Zhang J L, *et al.* Antioxidant capacity connection with phenolic and flavonoid content in Chinese medicinal herbs [J]. *Rec Nat Prod*, 2018, 12(3): 239-250.
- [28] Nencini C, Menchiari A, Franchi G G, *et al.* *In vitro* antioxidant activity of aged extracts of some Italian *Allium* species [J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2011, 66(1): 11-16.
- [29] Benzie I F, Strain J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay [J]. *Anal Biochem*, 1996, 239(1): 70-76.
- [30] 孙红祥, 庄金山, 曾宪武. 麦冬类药材质量的综合评价 [J]. 中药材, 2001, 24(5): 313-315.
- [31] 贺润丽, 张哲, 裴香萍, 等. 不同产地款冬花药材质量比较研究 [J]. 中国中医药信息杂志, 2014, 21(6): 76-80.
- [32] 刘计权, 张志芳, 王亚君, 等. HPLC 测定山西不同产地野生款冬花中款冬酮的含量 [J]. 山西中医药大学学报, 2020, 21(4): 264-266.
- [33] 吕培霖, 晋玲, 郑明霞. 不同产地款冬花多糖含量测定 [J]. 现代中西医结合杂志, 2009, 18(15): 1758-1759.
- [34] 吕培霖, 兰云, 侯嘉, 等. 甘肃不同产地款冬花质量比较研究 [J]. 中国药师, 2008, 11(11): 1307-1308.
- [35] Li S, Li S K, Gan R Y, *et al.* Antioxidant capacities and total phenolic contents of infusions from 223 medicinal plants [J]. *Ind Crops Prod*, 2013, 51: 289-298.
- [36] Zhang L, Ravipati A S, Koyyalamudi S R, *et al.* Antioxidant and anti-inflammatory activities of selected medicinal plants containing phenolic and flavonoid compounds [J]. *J Agri Food Chem*, 2011, 59(23): 12361-12367.

[责任编辑 时圣明]