



不同引种地白背三七主要活性成分分析 及其对生态因子的响应

任 平^{1,2},王远征¹,付 博¹,洪 波¹,刘 晨¹,李英梅^{1,3*}

(1 陕西省生物农业研究所,西安 710043;2 陕西省酶工程技术中心,西安 710600;3 陕西省植物线虫学重点实验室,西安 710043)

摘要:以白背三七茎叶为研究对象,分别对陕西省12个引种试验地种植的白背三七总黄酮和B族维生素含量进行了测定和相关性分析,并采用中国气象科学数据共享服务平台获得不同产地的生态因子数据,通过冗余分析(RDA)其化学成分含量与生态因子间的相关性。结果显示:(1)不同采样地白背三七的总黄酮含量和B族维生素各成分含量有明显差异,其中洛南4个样地种植的白背三七茎叶中总黄酮含量显著高于其他8个样地,但B族维生素含量较其他8个样地的低;白背三七茎叶中总黄酮含量与B₂、B₆、B₁₂及B族维生素总量之间具有显著或极显著负相关关系。(2)种植地的海拔、降雨量和温度对白背三七黄酮类物质累积具有重要作用,其中总黄酮含量的主要影响因子是海拔和降雨量,且均呈正相关关系;降雨量和海拔对白背三七中B族维生素含量的影响均呈负相关关系。研究表明,地理位置和环境因子对白背三七活性物质含量具有重要影响,以洛南为代表的秦巴山区(海拔800~900 m,7~8月平均降雨量78~84 mm,平均地温26~27.5 °C)是栽培白背三七较适宜的生态区。

关键词:白背三七;黄酮;B族维生素;冗余分析;生态因子

中图分类号:Q946.8; Q948.11 文献标志码:A

Analysis of Active Components in *Gynura divaricata* from Different Introduced Regions and Their Response to Ecological Factors

REN Ping^{1,2}, WANG Yuanzheng¹, FU Bo¹, HONG Bo¹, LIU Chen¹, LI Yingmei^{1,3*}

(1 Bio-Agriculture Institute of Shaanxi, Xi'an 710043, China; 2 Enzyme Engineering Research Center of Shaanxi, Xi'an 710600, China; 3 Shaanxi Key Laboratory of Plant Nematology, Xi'an 710043 China)

Abstract: *Gynura divaricata* samples were collected from 12 differently experimental fields in Shaanxi Province, and the amount of total flavonoids and B vitamins in stems and leaves were measured. The redundancy analysis (RDA) was conducted to reveal the relationship between active components and differently ecological factors, which were obtained from China Integrated Meteorological Information Service System. The results indicated that: (1) the amount of total flavonoids and B vitamins in *G. divaricata* from different fields showed significant differences. The total flavonoids in *G. divaricata* from 4 experimental fields in Luonan County were the highest, whereas the amount of B vitamins was the lowest. Besides that, the content of total flavonoids appeared significant negative correlation with the amount of B₂, B₆, B₁₂ and B-vitamins in stems and leaves of *G. divaricata*. (2) Geographic position and environmental factors, such as elevation, precipitation and local temperature affected the accumulation of active components in *G. divaricata*. Interestingly, the total flavonoids could be positively determined by elevation and precipitation, but for B vitamins, it presented negative correlation with these two factors. So, it is conclu-

收稿日期:2018-05-30;修改稿收到日期:2018-09-11

基金项目:陕西省科学院重点项目(2016k-02);陕西省科技厅重点研发项目(2017ZDXM-NY-008);陕西省科学院“一所一品”产业化项目(2018k-03)

作者简介:任 平(1972—),女,副研究员,主要从事蔬菜栽培及病虫害绿色防控。E-mail:mysrenping@163.com

*通信作者:李英梅,硕士,副研究员,主要从事特种蔬菜栽培及植物保护。E-mail:liyingmei9@163.com

ded that Luonan county in the Qinba Mountain Area (alt: 800—900 m; average monthly rainfall in Jul-Aug: 78—84 mm; average ground temperature: 26—27.5 °C) was an optimal place for the cultivation of *G. divaricata* in Shaanxi Province.

Key words: *G. divaricata*; flavonoid; B vitamins; redundancy analysis; ecological factors

白背三七(*Gynura divaricata*)为菊科三七草属植物,又名白仔菜、大救驾、土生地等,根、茎、叶均可入药,其味甘、淡,性寒,具有清热解毒、止血、凉血之功效^[1-2],可以作为一种很好的集营养保健价值与特殊风味为一体的优良药食两用植物^[3]。白背三七含有丰富的黄酮类物质,具有抗凝血作用、止血、抗炎、降血糖、降血脂、降血压等药理作用^[4-6],近年来,在中国许多地区已作为一种半驯化药用植物及保健菜进行规模化人工栽培。

大量科学研究表明,环境生态因子对药用植物生长发育、产量及品质有很大的影响,适宜的生态环境条件才能生产出优质高产的中药材^[7-9]。黄林芳等^[10]的研究发现,日照时数、海拔和年降水量是影响羌活(*Notopterygium incisum*)化学成分累积的主要因素;贾光林等^[11]和谢彩香等^[12]也发现温度对人参(*Panax ginseng*)皂苷活性成分累积起主要作用。这些都表明了植物化学生态型的形成及分化与其所在的气候地理环境差异有关。

目前,国内外对白背三七的研究主要集中于其地上部分多糖与黄酮的提取、鉴定及药理作用以及生物碱的检测等^[4-6, 13-14],对不同生态区之间白背三七活性成分含量差异及其对生态因子响应的研究报道较少。本研究以白背三七茎叶为研究对象,探讨陕西省关中平原(西安市鄠邑区、渭南市大荔县)和秦巴山区(商洛市洛南县)不同生态条件下,白背三七主要活性成分总黄酮与B族维生素含量变化及二者相关性,以及生态因子对白背三七主要活性成分的影响效应,以揭示影响白背三七总黄酮的关键生态因子,对于确定白背三七引种适生地,增加其产量和品质,阐明生态因子对植物化学成分积累的影响以及对生产实践具有重要的意义。

1 材料和方法

1.1 试验材料

从广西引种的白背三七于2017年7月1日进行扦插苗盆栽。盆栽土壤取自大荔县农业示范园区的复垦土壤,取回后风干,过筛,按每10 kg复垦土壤加入磷矿肥4 g、尿素3 g、硫酸钾1 g、有机肥2.5 kg混合,其中有机肥含N 2.15%,含P₂O₅ 1.1%,

K₂O 1.3%,含有机质39.5%。

1.2 实验方法

分别在西安鄠邑区、渭南大荔县和商洛洛南县设12个实验地。将扦插的白背三七盆栽苗分别运送至各实验地,并在苗盆周围培土,特别干旱时人工灌水少量,但仅以减缓旱情,防止生长抑制为度。全生长期均不用农药和化肥,尽量减少人为因素干预。

1.3 样品采集

2017年8月31日采集实验样品。在每个实验区中,选择长势均匀的健康植株,按交叉间隔取样方式选取30个植株,每个植株采集5个样本,采集部位为自上往下数第5片功能叶以上的部分,每个样本均生长良好,没有病、虫斑,清洗泥沙、浮尘后置于温度-56 °C、压强10 Pa条件下进行冷冻干燥30 h。干燥样品粉碎,过40目筛,密封待用。手持GPS获取试验区纬度、经度、海拔地理信息(表1)。

1.4 样品的测定

白背三七茎叶总黄酮的测定采用DB 13/T 385-1998;维生素B₁的测定采用GB 5009.84-2016;维生素B₂的测定采用GB 5009.85-2016;维生素B₆的测定采用GB 5009.154-2016;维生素B₁₂的测定采用GB/T 5009.217-2008;B族维生素总量为维生素B₁、维生素B₂、维生素B₆及维生素B₁₂含量之和。

1.5 气象数据的获取

登录中国气象科学数据共享服务网查询系统(<http://data.cma.cn>),获取7~8月的平均降水量、日照时数、风速、水蒸气压;平均气温、平均地温、7月平均日温差、8月平均日温差。

1.6 数据分析

统计分析用SPSS软件。采用Canoco4.5软件中的冗余分析(Redundancy Analysis, RDA)方法分析白背三七茎叶中活性成分含量与生态因子之间的相互关系。显著性水平设为0.05。

2 结果与分析

2.1 白背三七茎叶中活性成分含量特征

不同采样地白背三七茎叶中的总黄酮及B族维生素含量存在较大差异(表2)。洛南4个样地的总黄酮含量显著高于大荔和鄠邑区各样地的含量,

表 1 陕西省 12 个白背三七引种实验样地的地理位置与气象因子

Table 1 Geographic positions and climatic factors of 12 introduced and experimental fields of *G. divaricata* in Shaanxi Province

编号 No.	采样地 Collection site	LOG/°	LAT/°	ALT/m	RF/mm	AT/°C	July TD/°C	August TD/°C	GT/°C	WS/(m/s)	WVP/(hPa)	SD/h
1	鄂邑蒋村 Jiangcun, Huyi	108.48	34.08	449	70.75	28.55	11.1	9.6	31.0	2.35	22.5	467.5
2	鄂邑东寨村 Dongzhai, Huyi	108.48	34.09	453	70.55	28.50	10.9	8.3	29.0	2.35	22.5	467.5
3	鄂邑洪沟村 Hong'an, Huyi	108.48	34.09	433	70.55	28.58	11.2	9.4	30.5	2.35	22.5	467.5
4	鄂邑官家堡 Gongjiabao, Huyi	108.47	34.08	446	69.35	28.60	11.5	9.7	30.5	2.35	22.5	467.5
5	大荔示范园 Demonstration district, Dali	109.82	34.82	359	59.60	27.80	13.1	11.4	31.7	2.20	25.0	505.6
6	大荔冯村 Fengcun, Dali	109.83	34.86	369	59.60	27.65	12.3	10.6	31.0	2.20	25.0	505.6
7	大荔南堡 Nanbao, Dali	109.81	34.83	358	59.60	27.82	12.3	10.3	30.8	2.20	25.0	505.6
8	大荔白虎屯 Baihutun, Dali	109.83	34.83	360	59.60	27.75	12.4	10.9	31.2	2.20	25.0	505.6
9	洛南南沟 Nangou, Luonan	110.56	33.94	865	78.90	24.05	12.1	9.8	26.0	1.20	21.4	445.1
10	洛南双关村 Shuangguan, Luonan	110.55	33.94	841	78.90	23.92	11.1	9.1	26.4	1.20	21.4	445.1
11	洛南磨子沟 Mozigou, Luonan	110.56	33.94	905	80.25	23.00	12.0	10.0	27.0	1.20	21.4	445.1
12	洛南西塬村 Xiyuan, Luonan	110.53	33.96	834	83.60	24.52	12.2	10.2	27.5	1.20	21.4	445.1

注: LOG, 经度; LAT, 纬度; ALT, 海拔; RF, 平均降雨量; AT, 平均温度; July TD, 7 月平均温度; August TD, 8 月平均温差; GT, 平均地温; WS, 风速; WVP, 水蒸气压; SD, 日照时数; 下同。Note: LOG, Longitude; LAT, Latitude; ALT, Altitude; RF, Average rainfall; AT, Average temperature; July TD, July temperature difference; August TD, August temperature difference; GT, Average ground temperature; WS, Wind speed; WVP, Water vapor pressure; SD, Sunshine duration. The same as below.

表 2 陕西省 12 个样地白背三七活性成分含量

Table 2 Contents of active components in *G. divaricata* from 12 sample fields in Shaanxi Province

编号 No.	采样地 Collection site	TFC/(mg · g⁻¹)	VB₁/(mg · g⁻¹)	VB₂/(mg · g⁻¹)	VB₃/(mg · g⁻¹)	VB₄/(mg · g⁻¹)	VB₅/(mg · g⁻¹)	VB₆/(mg · g⁻¹)	VB₇/(mg · g⁻¹)
1	鄂邑蒋村 Jiangcun, Huyi	7.95±0.73d	1.74±0.11de	6.13±0.15d	2.64±0.07ed	1.69±0.08d	12.20±0.38d		
2	鄂邑东寨村 Dongzhai, Huyi	8.50±0.16d	1.33±0.15g	5.94±0.08e	2.25±0.17ef	1.37±0.09e	10.89±0.47e		
3	鄂邑洪沟村 Hong'ancun, Huyi	8.33±0.18d	1.48±0.12fg	7.83±0.12a	2.94±0.12b	1.91±0.09c	14.15±0.03c		
4	鄂邑官家堡 Gongjiabao, Huyi	8.16±0.20d	1.52±0.11efg	6.53±0.11e	2.52±0.13de	1.66±0.06d	12.23±0.40d		
5	大荔示范园 Demonstration district, Dali	5.34±0.42e	2.21±0.16b	7.45±0.05b	3.26±0.15a	2.33±0.12b	15.25±0.38a		
6	大荔冯村 Fengcun, Dali	5.22±0.21e	1.97±0.14c	7.83±0.04a	2.61±0.16cd	2.10±0.20c	14.51±0.21bc		
7	大荔南堡 Nanbao, Dali	4.75±0.06e	2.55±0.22a	6.54±0.13c	3.01±0.21ab	2.55±0.22a	14.65±0.12bc		
8	大荔白虎屯 Baihutun, Dali	5.10±0.24e	2.24±0.02b	7.27±0.10b	3.08±0.27ab	2.33±0.07b	14.92±0.13ab		
9	洛南南沟 Nangou, Luonan	32.85±0.96b	1.55±0.15efg	5.50±0.09f	2.17±0.13f	1.10±0.11f	10.33±0.27f		
10	洛南双关村 Shuangguan, Luonan	34.77±0.96a	1.91±0.09cd	5.14±0.14g	1.75±0.09g	0.76±0.05g	9.57±0.26g		
11	洛南磨子沟 Mozigou, Luonan	34.41±0.81a	1.67±0.05ef	4.32±0.03k	2.82±0.18bcd	1.15±0.13f	9.96±0.01fg		
12	洛南西塬村 Xiyuan, Luonan	30.53±0.48c	1.71±0.11def	4.99±0.18g	2.36±0.14def	1.00±0.12f	10.06±0.54fg		
	变异系数 CV/%	82.42	20.22	17.97	16.79	34.94	17.34		

注: TFC, 总黄酮; VB₁, 维生素 B₁; VB₂, 维生素 B₂; VB₃, 维生素 B₃; VB₄, 维生素 B₄; VB₅, 维生素 B₅; VB₆, 维生素 B₆; VB₇, 维生素 B₇; VB, B 族维生素总量;用 Duncan 进行多重比较, 同列不同字母表示不同采样地间差异显著 ($P \leq 0.05$)。下同。

Note: TFC, Total flavonoid content; VB₁, Vitamin B₁; VB₂, Vitamin B₂; VB₃, Vitamin B₃; VB₄, Vitamin B₄; VB₅, Vitamin B₅; VB₆, Vitamin B₆; VB₇, Vitamin B₇; VB, B-vitamins; Duncan multiple comparisons was conducted, and different letters in the same column mean significant difference at $P \leq 0.05$. The same as below.

其中以洛南双关村和磨子沟的总黄酮含量较高, 分别为 34.77 和 $34.41 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 鄢邑区 4 个采样地的总黄酮含量无显著差异, 但显著高于大荔县 4 个采样地的总黄酮含量; 大荔 4 个样地的 B 族维生素含量及总量明显高于其他样地的含量。大荔南堡的 VB_1 和 VB_{12} 含量显著高于其他样地, 都为 $2.55 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 鄢邑区洪庵村和大荔冯村的 VB_2 含量显著高于其他样地, 都为 $7.83 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 洛南磨子沟 VB_2 的含量最低, 为 $4.32 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 大荔示范园 VB_6 和 B 族维生素的总量显著高于其他样地, 分别为 3.26 和 $15.25 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 洛南双关村的 VB_6 、 VB_{12} 和 B 族维生素总量最低, 分别为 1.75 、 0.76 和 $9.57 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。通过比较分析, 不同采样地白背三七各成分均存在较大的变异, 以总黄酮变异系数 (82.42%) 最大, 其次为 VB_{12} 含量变化, 变异系数为 34.94% , VB_6 的变异系数最小, 为 16.79% , 这显示出不同产地白背三七之间的多样性分化。

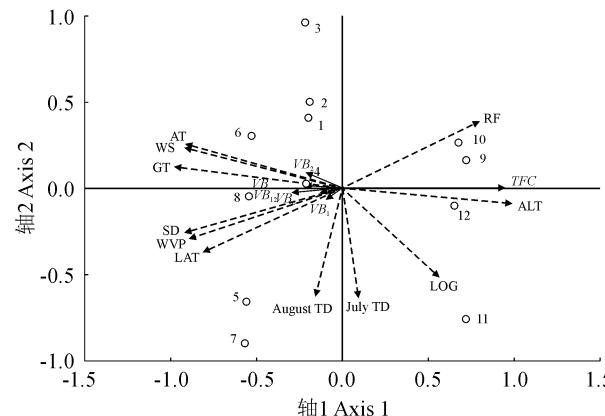
2.2 白背三七药用成分间的相关性分析

白背三七活性成分含量的相关性分析结果(表 3)表明, 白背三七总黄酮和 B 族维生素之间存在不同程度的相关性。总黄酮含量与 B 族维生素各成分含量之间存在负相关, 其中与 VB_2 、 VB_{12} 及 B 族维生素总量呈极显著负相关, 相关系数分别为 -0.847 、 -0.871 和 -0.857 , 与 VB_1 无显著相关性。B 族维生素各成分含量之间也存在不同程度的正相关, B 族维生素总量与 VB_2 、 VB_6 及 VB_{12} 均呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.910 、 0.805 和 0.971 , 与 VB_1 呈显著正相关。 VB_1 、 VB_2 与 VB_6 均无显著相关关系。

2.3 白背三七总黄酮及 B 族维生素含量与生态因子的关系

不同样地白背三七总黄酮及 B 族维生素含量与 RDA 排序(图 1)结果显示, 第一和第二主轴分别

解释了白背三七药用成分的 94.4% 和 2.2% 的方差。图中箭头越长, 表示对总黄酮和 B 族维生素的解释量越大。箭头间角度的余弦值表示了变量之间的相关性。白背三七总黄酮含量与海拔($F=130.909, P=0.002$)、降雨量($F=15.611, P=0.004$)呈显著正相关关系, 与平均地温($F=94.036, P=0.002$)、平均风速($F=42.652, P=0.002$)、日照时数($F=40.187, P=0.002$)、平均气温($F=36.715, P=0.002$)、水蒸汽压($F=31.199, P=0.002$)、纬度($F=16.350, P=0.004$)呈显著负相关关系, 与经度($F=4.720, P=0.068$)、8 月平均温差($F=0.424, P=0.578$)、7 月平均温差($F=0.287, P=0.632$)相关性不显著。B1、B2、B6、B12 和 B 族维生素总量对生态



第一和第二主轴分别解释了白背三七药用成分变 94.4% 和 2.2% 的方差。图中虚线箭头为生态因子, 实线箭头为总黄酮和 B 族维生素成分含量

图 1 白背三七活性成分含量与生态因子 RDA 排序图

The first and second Axis, Axis 1 and Axis 2, explain 94.4% and 2.2% of the variance in the data, respectively. The dashed arrows represent environmental variables and solid arrows represent the flavonoid and B Vitamins contents

Fig. 1 RDA analysis for the contents of active components in *G. divaricata* and ecological factors

表 3 白背三七活性成分含量间的相关分析

Table 3 Correlation analysis for the contents of active components in *G. divaricata*

相关系数 Correlation coefficient	TFC	VB_1	VB_2	VB_6	VB_{12}
VB_1	-0.312				
VB_2	-0.847^{**}	0.302			
VB_6	-0.622^*	0.497	0.569		
VB_{12}	-0.871^{**}	0.646^*	0.814^{**}	0.836^{**}	
VB	-0.857^{**}	0.596^*	0.910^{**}	0.805^{**}	0.971^{**}

注: * 和 ** 分别表示差异显著水平为 0.05 和 0.01

Note: * and ** mean significant difference at 0.05 and 0.01 levels

因子的响应与黄酮总体相反,与海拔和降雨呈显著负相关关系。

3 讨 论

大量的植物化学研究表明,白背三七茎叶中含有有益于人体健康的黄酮以及维生素等活性物质,尤其是黄酮类物质具有极强的降血压、降血脂、抑制糖尿病等奇特功效,是“药食同源”的植物。本研究通过对3个引种地区12个采样地的白背三七总黄酮及B族维生素含量分析显示,不同采样地白背三七总黄酮含量变化最大,在洛南种植的白背三七茎叶中总黄酮含量较高,说明产地不同会造成白背三七在化学组成上存在着差异,地理位置和环境影响着白背三七的总黄酮含量。刘茹等^[15]的研究也表明了不同产地对柴胡中总黄酮的含量也有显著影响。因此,从白背三七最主要的活性成分总黄酮的获得量来考察,洛南是白背三七适宜的引种适生区。

通过对各成分的相关性分析,旨在揭示各成分间密切关联程度,在对于植物中某一成分进行选择时,就可以预测到该成分的筛选可能对其他成分产生的影响。庆军等^[16]的研究表明杜仲叶片中总黄酮除与异槲皮苷含量和绿原酸含量呈极显著正相关关系外,与其他成分均无显著相关性;刘茹等^[15]的研究也表明柴胡总黄酮含量与Mg、Cu呈显著正相关。目前关于白背三七活性成分之间的相关性还未有相关报道,本研究的相关性分析表明,白背三七总黄酮含量与B族维生素各成分含量之间存在负相关性,其中与VB₂、VB₁₂及B族维生素总量呈极显著负相关,B族维生素各成分含量之间也存在不同程度的正相关。这表明了白背三七茎叶中总黄酮含量越高,B族维生素各成分含量就越低,与不同采样地白背三七活性成分检测结果相一致。

地理位置和环境因素,如气候和光照能够决定植物的生长,并影响着植物体内活性物质的含量^[17-18]。本研究采用冗余分析统计方法探索了12个试验样点白背三七总黄酮和B族维生素对8个生态因子的响应,明确了影响白背三七总黄酮含量的因素依次为海拔、7~8月平均降雨量、平均地温、

平均风速、日照时数、平均气温、水蒸汽压、纬度;B族维生素对生态因子的响应与黄酮总体相反。海拔是一个影响植物生长发育和分布的间接因素,随着海拔的升高,气候逐渐恶劣,平均气温降低,降雨量增加,辐射增强,其中以水分、温度等生态因子对植物生长发育影响最为显著^[19]。本研究的结果表明,海拔对植物体内黄酮的累积起着重要的作用,白背三七总黄酮含量与海拔呈显著正相关关系,高海拔地区白背三七茎叶中富含较多的黄酮;降雨量的多少决定着土壤蒸发量和植物蒸腾作用的强弱,充足的水分供给是保障植物正常生长发育和生理活动的重要因素,也是植物次生代谢物质累积的前提条件^[20],充足的降水有益于白背三七黄酮类物质的累积;温度的高低都影响着白背三七的生长发育,进而影响着黄酮类物质的累积,这些都是限制因素。多个温度因子(平均气温、平均地温)对白背三七黄酮的含量表现出较强的负相关性,说明温度在白背三七的主要活性成分黄酮类形成中起着决定性的作用,适度低温有利于白背三七黄酮的累积。温度越高,会促使植物消耗较多的碳水化合物用于生殖生长,进而减少次生代谢物质的前提物质。RDA排序表明,白背三七黄酮累积效应显著的生态因子以海拔和降雨量占主导,这与李小伟^[20]和苏锦松^[21]的研究结果相一致。

综上所述,通过对12个试验样地白背三七活性成分的相关性和冗余分析发现,不同产地白背三七活性成分存在着多样性分化,且以总黄酮的变异系数(82.42%)最大,总黄酮含量与B族维生素各成分含量之间存在负相关关系;地理位置和环境因子对白背三七活性物质分化具有影响,白背三七总黄酮含量与海拔、降雨量呈显著正相关关系;与平均风速、日照时数、水蒸汽压及温度因子呈显著负相关关系;B族维生素各成分对生态因子的响应与黄酮总体相反,说明高海拔地区有利于白背三七茎叶中黄酮的富集。研究结果可为白背三七引种栽培及其资源可持续利用提供了依据,研究认为以洛南为代表的秦巴山区是陕西栽培白背三七较适宜的生态区。

参考文献:

- [1] 李小军,覃欢,刘欢.菊三七属植物的民族药用和食用价值[J].中南民族大学学报(自然科学版),2015,34(4):62-67.
- LI X J, QIN H, LIU H. Ethnic medicinal and edible value of *Gynura Cass.* [J]. *Journal of South-central University for*

Nationalities (Nat. Sci. Edi.), 2015, 34(4): 62-67.

- [2] 何立巍,徐晓芳,刘爱林,等.白背三七现代研究进展[J].中国民族医药杂志,2014,(10):61-65.
- HE L W, XU X F, LIU A L, et al. Advances in studies on *Gynura davaricata* (L.) DC [J]. *Journal of Medicine &*

- Pharmacy of Chinese Minorities*, 2014, (10): 61-65.
- [3] 朱影, 屠洁, 赵静, 等. 硫酸酯化修饰对白背三七多糖抗氧化性能的影响[J]. 中国食品添加剂, 2017, (11): 64-70.
ZHU Y, TU J, ZHAO J, et al. Effects of sulfating modification on antioxidative activities of polysaccharides from *Gynura davaricata*(L.)DC [J]. *China Food Additives*, 2017, (11): 64-70.
- [4] 姜曼花, 胡剑卓, 邱文高, 等. 白背三七多糖和黄酮降血糖及耐缺氧作用[J]. 中国医院药学杂志, 2009, 29(13): 1 074-1 076.
JIANG M H, HU J Z, QIU W G, et al. Hypoglycemic and anti-anoxia effect of polysaccharide and flavonoids in *Gynura davaricata*(L.)DC [J]. *Chinese Journal of Hospital Pharmacy*, 2009, 29(13): 1 074-1 076.
- [5] 胡勇, 李维林, 林厚文, 等. 白背三七地上部分降血糖作用研究[J]. 西南林学院学报, 2007, 27(1): 55-58.
HU Y, LI W L, LIN H W, et al. Study on effect of the above-ground organs of *Gynura divaricata* on reducing blood sugar content [J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2007, 27(1): 55-58.
- [6] 俞浩, 毛斌斌, 周国梁, 等. 白背三七总黄酮对糖尿病大鼠的降血糖作用[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 295-298.
YU H, MAO B B, ZHOU G L, et al. Hypoglycemic effect of total flavonoids from *Gynura divaricata* roots and rhizomes in diabetic rats[J]. *Food Science*, 2013, 34(15): 295-298.
- [7] 李磊, 孙平, 冯成强. 气象因子对唐古特大黄蒽醌类成分含量的影响分析[J]. 中国药房, 2010, 21(43): 4 105-4 107.
LI L, SUN P, FENG C Q. Effect of climate factors on the contents of anthraquinones in *Rheum tanguticum*[J]. *China Pharmacy*, 2010, 21(43): 4 105-4 107.
- [8] 齐国亮, 苏雪玲, 郑国琦, 等. 气象因子对宁夏枸杞果实生长及多糖含量的影响[J]. 植物学报, 2016, 51(3): 311-321.
QI G L, SU X L, ZHENG G Q, et al. Effect of meteorological factor on fruit growth and accumulation of polysaccharides in *Lycium barbarum*[J]. *Chinese Bulletin Botany*, 2016, 51(3): 311-321.
- [9] 陈铁柱, 文飞燕, 张涛, 等. 华重楼皂苷类化学成分与生态因子的相关性[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(9): 46-51.
CHEN T Z, WEN F Y, ZHANG T, et al. Correlation between saponins and ecological factors of *Paris polyphylla* var. *chinensis*[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2018, 24(9): 46-51.
- [10] 黄林芳, 李文涛, 王珍, 等. 濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7 667-7 678.
HUANG L F, LI W T, WANG Z, et al. Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Nopterygii rhizoma* Et Radix of endangered plateau plant[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(24): 7 667-7 678.
- [11] 贾光林, 黄林芳, 索风梅, 等. 人参药材中人参皂苷与生态因子的相关性及人参生态区划[J]. 植物生态学报, 2012, 36(4): 302-312.
JIA G L, HUANG L F, SUO F M, et al. Correlation between ginsenoside contents in *Panax ginseng* roots and ecological factors, and ecological division of ginseng plantation in china[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(4): 302-312.
- [12] 谢彩香, 索风梅, 贾光林, 等. 人参皂苷与生态因子的相关性[J]. 生态学报, 2011, 31(24): 7 551-7 563.
XIE C X, SUO F M, JIA G L, et al. Correlation between ecological factors and ginsenosides[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(24): 7 551-7 563.
- [13] 朱亚松, 许伟, 邵荣, 等. 响应面法优化白背三七多糖的提取工艺[J]. 中国药科大学学报, 2016, 47(3): 359-362.
ZHU Y S, XU W, SHAO R, et al. Optimization of microwave extraction condition of *Gynura divaricata* polysaccharide by response surface analysis[J]. *Journal of China Pharmaceutical University*, 2016, 47(3): 359-362.
- [14] 王忠震, 张钱钱, 吴霞, 等. 白子草多糖的分离、纯化及初步分析[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(8): 1 497-1 502.
WANG Z Z, ZHANG Q Q, et al. Isolation, Purification and identification of polysaccharides from *Gynura divaricata*[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2015, 40(8): 1 497-1 502.
- [15] 刘茹, 余马, 舒晓燕, 等. 不同产地三种柴胡总黄酮及微量元素含量分析[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(3): 670-672, 677.
LIU R, YU M, SHU X Y, et al. The content analyses on total flavonoids and trace elements of three kinds of *Bupleurum* L. from different produced-area[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2016, 55(3): 670-672, 677.
- [16] 庆军, 魏艳秀, 王鼎涵, 等. 杜仲叶片6种主要活性成分的遗传变异研究[J]. 西北植物学报, 2018, 38(2): 316-323.
QING J, WEI Y X, et al. Study on genetic variation of main active components in leaves of *Eucommia ulmoides*[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2018, 38(2): 316-323.
- [17] KSOURI R, MEGDICHE W, FALLEH H, et al. Influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of *Tunisian halophytes*[J]. *Comptes rendus-Biologies*, 2008, 331(11): 865-873.
- [18] MURAI Y, TAKEMURA S, TAKEDA K, et al. Altitudinal variation of UV-absorbing compounds in *Plantago astatica*[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2009, 37: 378-384.
- [19] 祝青林, 于贵瑞, 蔡福, 等. 中国紫外辐射的空间分布特征[J]. 资源科学, 2005, 27(1): 108-113.
ZHU Q L, YU G R, CAI F, et al. Spatialization research on ultraviolet radiation in China [J]. *Resources Science*, 2005, 27(1): 108-113.
- [20] 李小伟, 张宏涛, 张泽婧. 西藏沙棘叶片黄酮含量与生态因子的相关性[J]. 生态环境学报, 2018, 27(2): 239-245.
LI X W, ZHANG H T, ZHANG Z J. The relation between contents of flavonoids in leaves of *Hippophae tibetana* Schlecht. and ecological factors[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2018, 27(2): 239-245.
- [21] 苏锦松, 赵彩云, 文检, 等. 中国沙棘叶黄酮类成分与生态因子相关性及其生态适宜性研究[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(10): 1 865-1 870.
SU J S, ZHAO C Y, WEN J, et al. Correlation between flavonoids contents in *Hippophae rhamnoides* subsp. *inensis* leaf and ecological factors, and ecological suitability analysis of *H. rhamnoides* subsp. *sinensis*[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2017, 42(10): 1 865-1 870.