



土壤因子对药用白菊花活性成分含量影响研究

王艳茹, 郭巧生*, 邵清松, 张志远
(南京农业大学 中药材研究所, 江苏 南京 210095)

[摘要] 目的: 研究土壤因子对药用白菊花活性成分的影响, 筛选主导因子。方法: 测定不同产地药用白菊花中水溶性浸出物、黄酮类化合物、酚类化合物和矿质元素含量, 分析相应土壤化学性状和矿质元素含量, 应用相关分析、逐步回归分析、通径分析、灰色关联等统计方法探讨土壤因子对药用白菊花活性成分含量的影响。结果: 土壤化学性状中对药用白菊花活性成分总体影响最大的为速效磷和速效钾, 其次为脲酶、磷酸酶、蔗糖酶活性和有机质; 药用白菊花中矿质元素与土壤矿质元素具有良好的相关性, 其中对元素磷(P)、钾(K)的富集能力较强, 其次是镉(Cd)、钙(Ca)、锌(Zn)、铜(Cu), 影响药用白菊花活性成分含量的土壤矿质元素主要为磷(P)和钾(K), 其次是铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn)。结论: 土壤因子是影响药用白菊花活性成分含量的重要因素。

[关键词] 药用白菊花; 活性成分; 土壤因子; 通径分析; 灰色关联

药用白菊花 *Chrysanthemum morifolium* Ramat. 为菊科多年生草本植物, 以干燥头状花序入药, 是我国传统大宗药材, 具有散风清热、平肝明目的功效^[1]。有关药用白菊花化学成分的研究国内外已有较多报道, 其活性成分主要包括黄酮类化合物、绿原酸、挥发油成分等^[2-3], 其中大部分为植物次生代谢产物。次生代谢物是植物在长期进化过程中与环境相互作用的结果, 其产生和变化比初生代谢产物与环境有着更强的相关性和对应性^[4]。目前已有关于药用植物的活性成分与其生长环境的关系研究^[4-6], 而对药用白菊花的研究报道较少。本文拟利用5个产地药用白菊花中水溶性浸出物、黄酮类化合物(总黄酮、槲皮素、木犀草素、芹菜素、刺槐素)、酚类化合物(绿原酸与咖啡酸)等主要活性成分含量, 与相应土壤化学性状及矿质元素含量进行多元统计分析, 探讨药用白菊花活性成分含量与土壤因子、药材中矿质元素之间的量化关系, 以期揭示影响药用白菊花活性成分含量的主导因子, 为药用白菊花的规范化栽培管理以及适宜生长区的确定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料分别采自江苏盐城、淮安, 安徽阜阳、

滁州及浙江桐乡的药用白菊花样地。土壤样品采用随机多点采样法, 取植株根系外围 020 cm 及 2040 cm 层次的土壤, 分别混合风干备用。药材样品由南京农业大学中药材研究所郭巧生教授鉴定为红心白菊栽培类型。

黄酮对照品芦丁纯度 $\geq 95\%$, 批号 15724AH, Sigma-Aldrich; 槲皮素纯度 $\geq 98\%$, 批号 87K0744, Sigma-Aldrich; 木犀草素纯度 $\geq 98\%$, 批号 116K4078, Sigma; 芹菜素纯度 $\geq 95\%$, 批号 11006KH, Aldrich; 刺槐素, 纯度 $\geq 97\%$, 批号 14707294, Fluka)。绿原酸纯度 $\geq 95\%$, 批号 27K2019, Sigma; 咖啡酸纯度 $\geq 98\%$, 批号 047K1609, Sigma。

1.2 方法

1.2.1 水溶性浸出物含量测定 按照《中国药典》2005年版中的方法测定^[1]。

1.2.2 总黄酮含量测定 参照文献[7]的方法。

1.2.3 槲皮素、木犀草素、芹菜素和刺槐素含量测定 采用 HPLC 同时测定。条件与方法: ZOBAX Eclipse XDB-C₁₈ 柱(4.6 mm × 250 mm, 5 μm); 流动相 A 为甲醇, B 为 0.2% 磷酸溶液, 线性梯度洗脱; 检测波长 350 nm; 柱温 25 °C; 流速 1.0 mL · min⁻¹; 进样量 20 μL。

1.2.4 绿原酸与咖啡酸含量测定 参照吴明侠^[8]方法测定。条件与方法: Shim-pack C₁₈ 柱(4.6 mm × 250 mm); 流动相 A 为乙腈, B 为 0.5% 磷酸水溶液, 015 min, A 84%; 1620 min, A 从 84% 0; 2130

[收稿日期] 2009-09-13

[基金项目] 国家科技攻关计划项目(2004BA721A20); 国家"十一五"科技支撑计划项目(2006BAI06A12-11)

[通信作者] * 郭巧生, Tel: (025)84396591, E-mail: gqs@njau.edu.cn



min, A 0; 3132 min, A 从 0.84% ; 3335 min, A 16% ; 检测波长 323 nm; 柱温 25 ℃。流速 1.0 mL · min⁻¹; 进样量 100 μL。

1.2.5 土壤化学性状分析 土壤肥力指标测定参考《土壤农业化学分析方法》^[9], 其中土壤有机质采用硫酸-重铬酸钾法, 碱解氮采用碱解扩散法, 速效磷采用碳酸氢钠法, 速效钾采用乙酸铵提取-火焰光度法。土壤酶活性测定参考《土壤酶及其研究法》^[10], 其中磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法; 蔗糖酶采用硝基水杨酸比色法; 脲酶采用苯酚钠比色法。

1.2.6 土壤和植株中矿质元素含量测定 参考《农业化学手册》^[11]。

1.2.7 统计分析方法 运用 SPSS 16.0 软件进行相关、回归分析。应用 DPS 软件进行通径分析和灰色关联分析。按灰色系统理论要求, 本研究将药用白菊花的活性成分含量视为母因素, 将各地土壤元素富集系数视为子因素。

2 结果与分析

2.1 土壤化学性状对药用白菊花活性成分含量的影响

2.1.1 土壤化学性状与药用白菊花活性成分含量的相关性分析 药用白菊花活性成分含量与土壤化学性状均具有一定的相关性, 见表 1, 2。其中, 020 cm 土壤有机质与槲皮素呈显著正相关, 相关系数 r 为 0.844 1; 速效磷与总黄酮、木犀草素、绿原酸、咖啡酸呈显著或极显著正相关, r 分别为 0.956 2, 0.904 0, 0.952 8, 0.970 4; 速效钾与木犀草素呈显著负相

关, 相关系数为 -0.820 1。2040 cm 土壤碱解氮与水溶性浸出物显著正相关, r 为 0.846 2; 速效磷与木犀草素、绿原酸、咖啡酸均呈显著或极显著正相关, r 分别为 0.889 4, 0.965 3, 0.975 2; 速效钾与水溶性浸出物显著正相关, r 为 0.911 9; 磷酸酶与槲皮素显著正相关, r 为 0.853 9。

2.1.2 影响药用白菊花活性成分含量的主导土壤化学性状筛选 分别以药用白菊花各活性成分含量作因变量 (Y), 以 8 个土壤主要化学性状 pH (X_1)、有机质 (X_2)、碱解氮 (X_3)、速效磷 (X_4)、速效钾 (X_5)、磷酸酶 (X_6)、蔗糖酶 (X_7)、脲酶 (X_8) 作自变量, 应用多变量逐步回归剔除对药用白菊花各活性成分含量影响较小的因子, 建立药用白菊花各活性成分含量与主导因子的回归方程 (表 3)。结合 020 cm 与 2040 cm 2 个采样层次的回归方程可以得出, 影响水溶性浸出物含量的主导因子为土壤速效钾、磷酸酶、蔗糖酶, 影响总黄酮含量的主导因子为碱解氮、速效磷、蔗糖酶、脲酶, 影响槲皮素含量的主导因子为有机质、磷酸酶、脲酶, 影响木犀草素含量的主导因子为速效磷、蔗糖酶、脲酶, 影响芹菜素含量的主导因子为速效磷、速效钾、磷酸酶, 影响刺槐素含量的主导因子为 pH、速效钾、蔗糖酶、脲酶, 影响绿原酸含量的主导因子为有机质、速效磷、脲酶, 影响咖啡酸含量的主导因子为碱解氮、速效磷、脲酶。0-20 cm 与 2040 cm 土壤中, 影响药用白菊花各活性成分含量的主导因子基本一致, 且后者主导因子数目较少、决定系数 R^2 较小, 但影响不同成分的主导因子有所不同。

表 1 药用白菊花活性成分含量与 020 cm 土壤化学性状相关性分析

项目	pH	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾	磷酸酶	蔗糖酶	脲酶	水溶性浸出物	总黄酮	槲皮素	木犀草素	芹菜素	刺槐素	绿原酸	咖啡酸
pH	1.000 0															
有机质	0.347 2	1.000 0														
碱解氮	-0.399 9	0.619 2	1.000 0													
速效磷	0.458 5	-0.115 0	-0.306 2	1.000 0												
速效钾	-0.611 5	0.124 3	0.252 6	-0.768 9	1.000 0											
磷酸酶	0.235 9	0.987 7 ²⁾	0.693 7	-0.085 8	0.163 4	1.000 0										
蔗糖酶	0.862 5 ¹⁾	0.416 0	-0.413 0	0.019 6	-0.148 9	0.285 6	1.000 0									
脲酶	0.068 3	-0.370 2	-0.503 2	-0.604 7	0.239 1	-0.484 4	0.382 0	1.000 0								
水溶性浸出物	0.251 4	0.559 8	-0.011 2	-0.525 0	0.607 7	0.494 0	0.678 4	0.356 5	1.000 0							
总黄酮	0.400 8	0.107 0	-0.018 8	0.956 2 ²⁾	-0.733 2	0.155 3	-0.057 5	-0.783 7	-0.515 7	1.000 0						
槲皮素	0.522 1	0.844 1 ¹⁾	0.302 5	-0.367 7	0.146 6	0.755 4	0.728 1	0.169 9	0.761 3	-0.247 3	1.000 0					
木犀草素	0.479 7	-0.441 8	-0.617 6	0.904 0 ¹⁾	-0.820 1 ¹⁾	-0.452 1	0.082 0	-0.229 0	-0.579 0	0.754 8	-0.488 6	1.000 0				
芹菜素	0.269 1	0.266 6	0.334 6	-0.277 1	-0.366 1	0.183 7	0.186 1	0.285 2	-0.091 0	-0.177 8	0.477 4	-0.194 8	1.000 0			
刺槐素	0.377 5	-0.477 2	-0.486 6	0.082 0	-0.616 9	-0.582 4	0.222 1	0.581 2	-0.366 8	-0.066 1	-0.095 5	0.431 0	0.604 7	1.000 0		
绿原酸	0.259 0	-0.253 0	-0.372 2	0.952 8 ²⁾	-0.567 4	-0.196 9	-0.111 5	-0.604 8	-0.500 1	0.878 7 ¹⁾	-0.539 1	0.861 6 ¹⁾	-0.542 9	-0.080 5	1.000 0	
咖啡酸	0.463 2	-0.245 7	-0.506 9	0.970 4 ²⁾	-0.687 2	-0.227 1	0.090 6	-0.460 4	-0.440 5	0.863 9 ¹⁾	-0.425 5	0.938 3 ²⁾	-0.417 2	0.103 1	0.969 4 ²⁾	1.000 0

注: ¹⁾ $P < 0.05$, ²⁾ $P < 0.01$ (表 2, 6 同)。

表 2 药用白菊花活性成分含量与 2040 cm 土壤化学性状相关性分析

项目	pH	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾	磷酸酶	蔗糖酶	脲酶	水溶性浸出物	总黄酮	槲皮素	木犀草素	芹菜素	刺槐素	绿原酸	咖啡酸
pH	1.000 0															
有机质	0.693 4	1.000 0														
碱解氮	0.283 8	0.811 0	1.000 0													
速效磷	0.262 8	0.405 8	-0.032 9	1.000 0												
速效钾	0.479 6	0.860 1 ¹⁾	0.916 3 ¹⁾	-0.060 3	1.000 0											
磷酸酶	0.715 7	0.326 9	0.163 3	-0.381 7	0.480 5	1.000 0										
蔗糖酶	-0.903 5 ¹⁾	-0.695 7	-0.173 4	-0.648 0	-0.310 1	-0.386 6	1.000 0									
脲酶	-0.213 4	0.133 7	0.605 8	-0.414 5	0.297 5	-0.227 1	0.352 9	1.000 0								
水溶性浸出物	0.522 5	0.703 8	0.846 2 ¹⁾	-0.362 4	0.911 9 ¹⁾	0.634 6	-0.223 6	0.471 1	1.000 0							
总黄酮	0.420 7	0.068 7	-0.516 8	0.763 9	-0.356 2	0.014 0	-0.685 4	-0.810 7	-0.515 7	1.000 0						
槲皮素	0.690 2	0.344 5	0.340 0	-0.500 4	0.478 3	0.853 9 ¹⁾	0.325 4	0.247 3	0.761 3	-0.247 3	1.000 0					
木犀草素	0.144 6	0.093 9	-0.293 8	0.889 4 ¹⁾	-0.415 6	-0.522 6	-0.528 9	-0.290 3	-0.579 0	0.754 8	-0.488 6	1.000 0				
芹菜素	-0.001 7	-0.573 0	-0.444 0	-0.594 0	-0.490 9	0.216 5	0.222 4	0.234 3	-0.091 0	-0.177 8	0.477 4	-0.194 8	1.000 0			
刺槐素	-0.237 4	-0.386 5	-0.255 3	0.008 3	-0.575 9	-0.530 3	0.141 9	0.489 8	-0.366 8	-0.066 1	-0.095 5	0.431 0	0.604 7	1.000 0		
绿原酸	0.229 7	0.247 4	-0.246 2	0.965 3 ²⁾	-0.199 3	-0.314 6	-0.609 6	-0.628 7	-0.500 1	0.878 7 ¹⁾	-0.539 1	0.861 6 ¹⁾	-0.542 9	-0.080 5	1.000 0	
咖啡酸	0.329 0	0.303 3	-0.191 5	0.975 2 ²⁾	-0.198 1	-0.316 3	-0.699 3	-0.487 2	-0.440 5	0.863 9 ¹⁾	-0.425 5	0.938 3 ²⁾	-0.417 2	0.103 1	0.969 4 ²⁾	1.000 0

表 3 土壤化学性状与药用白菊花活性成分含量的逐步回归分析

采样层次/cm	活性成分	回归方程	r
020	水溶性浸出物	$Y = 4.318 + 0.079X_5 + 5.004X_6 + 1.047X_7$	1.000 0
	总黄酮	$Y = 2.575 + 0.002X_3 + 0.034X_4 + 0.006X_7$	1.000 0
	槲皮素	$Y = -0.005 + 0.049X_2 - 0.306X_6 + 0.009X_8$	1.000 0
	木犀草素	$Y = 0.030 + 0.084X_4 - 0.036X_7 + 0.326X_8$	0.999 8
	芹菜素	$Y = 0.617 - 0.010X_4 - 0.003X_5 + 0.144X_6$	0.994 5
	刺槐素	$Y = 2.601 - 0.073X_1 - 0.013X_5 + 0.368X_8$	0.995 6
	绿原酸	$Y = -1.875 + 0.277X_4$	0.952 8
	咖啡酸	$Y = 0.055 - 0.000 1X_3 + 0.000 8X_4 - 0.003X_8$	1.000 0
	2040	水溶性浸出物	$Y = 26.346 + 0.102X_5$
总黄酮		$Y = 3.594 - 0.180X_8$	0.810 7
槲皮素		$Y = -0.015 + 0.660X_6 + 0.010X_8$	0.966 6
木犀草素		$Y = -0.370 + 0.097X_4$	0.889 4
芹菜素		$Y = 0.310 - 0.007X_4$	0.594 0
刺槐素		$Y = 2.511 - 0.014X_5 - 0.020X_7 + 0.364X_8$	0.999 8
绿原酸		$Y = -1.896 - 0.384X_2 + 0.431X_4 - 0.489X_8$	1.000 0
咖啡酸		$Y = 0.031 + 0.002X_4$	0.975 2

2.1.3 土壤化学性状与药用白菊花活性成分含量的通径分析 为进一步分析以上主导因子与药用白菊花活性成分含量间的量化关系及作用效应,进行通径分析(表 4,5)。结合表 4,5 的通径系数可知,对水溶性浸出物含量直接作用较大的是蔗糖酶和速效钾;对总黄酮含量直接作用较大的是速效磷和脲酶;对槲皮素含量直接作用较大的是有机质和磷酸酶;对木犀草素含量直接作用较大的是速效磷;对芹菜素含量直接作用较大的是速效钾和速效磷;对刺槐素含量直接作用较大的是速效钾和脲酶;对绿原酸含量直接作用较大的是速效磷;对咖啡酸含量直

接作用较大的是速效磷。说明土壤中的速效养分对药用白菊花活性成分含量具有很大影响。020 cm 与 2040 cm 土壤中,对药用白菊花各活性成分含量直接作用较大的主导因子基本一致,且后者直接通径系数较小。

2.2 土壤矿质元素对药用白菊花活性成分含量的影响

2.2.1 药用白菊花内矿质元素与土壤矿质元素的相关性分析 药用白菊花与其土壤中矿质元素存在一定的相关性,见表 6。其中,与 020 cm 土壤相关性中,P 的相关性最好,呈显著相关,相关系数为



表 4 药用白菊花活性成分含量与 020 cm 土壤化学性状的通径系数

因子	水溶性浸出物		总黄酮		槲皮素		木犀草素		芹菜素		刺槐素		绿原酸		咖啡酸	
	直接	间接	直接	间接	直接	间接	直接	间接	直接	间接	直接	间接	直接	间接	直接	间接
pH													-0.286 8	0.664 2		
有机质					2.439 8	-1.595 6										
碱解氮			0.328 2	-0.346 9												-0.455 5 -0.051 3
速效磷			1.055 6	-0.099 4			1.276 4	-0.372 5	-1.396 5	1.119 4			0.952 8			0.652 5 0.317 9
速效钾	0.688 4	-0.080 7							-1.490 2	1.124 0	-0.992 6	0.375 8				
磷酸酶	0.172 5	0.321 5			-1.482 5	2.237 8			0.307 4	-0.123 7						
蔗糖酶	0.731 6	-0.053 2	0.057 3	-0.114 8			-0.176 1	0.258 1								
脲酶					0.355 1	-0.185 2	0.610 2	-0.839 2					0.838 1	-0.256 9		-0.295 1 -0.165 4

表 5 药用白菊花活性成分含量与 2040 cm 土壤化学性状的通径系数

因子	水溶性浸出物		总黄酮		槲皮素		木犀草素		芹菜素		刺槐素		绿原酸		咖啡酸	
	直接	间接	直接	间接	直接	间接	直接	间接	直接	间接	直接	间接	直接	间接	直接	间接
pH																
有机质													-0.084 0	0.331 5		
碱解氮																
速效磷							0.889 4		-0.594 0				0.897 7	0.067 6	0.975 2	
速效钾	0.911 9												-1.030 3	0.454 3		
磷酸酶					0.959 5	-0.105 7										
蔗糖酶													-0.523 8	0.665 7		
脲酶			-0.810 7		0.465 2	-0.217 9							0.981 2	-0.491 4	-0.245 4	-0.383 3

0.895, 其次为 K, Ca, Cu; 与 2040 cm 土壤相关性中, P 呈极显著相关, 相关系数为 0.967, 其次为 Mn, K,

Ca, Zn; 药用白菊花与 2 个土层中 Mg, Pb 的相关性均较低。

表 6 药用白菊花与土壤中矿质元素的相关系数

采样层次/cm	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd
020	0.895 0 ¹⁾	0.845 4 ¹⁾	0.657 9	-0.040 4	0.130 4	0.208 2	-0.610 4	0.153 6	0.049 9	-0.570 0
2040	0.967 2 ²⁾	0.766 6	0.626 8	-0.077 1	-0.295 0	0.834 9 ¹⁾	-0.361 5	0.520 0	0.043 4	-0.253 3

随着生长环境的改变, 药用白菊花对土壤中矿质元素的选择吸收和富集能力也发生了一定改变, 见表 7。从各矿质元素的平均富集系数可知, 药用白菊花对大量营养元素 P, K 具有较强的富集能力; 其次是 Cd, Ca, Zn, Cu; 对 Fe 的富集系数最低。其

中, 盐城的药用白菊花对 Ca 的富集能力较弱, 而对 Pb 的富集能力较强; 淮安的药用白菊花对 Cd 的富集性较差; 滁州种植的药用白菊花对各个元素均具有较高的富集能力。药用白菊花对 2040 cm 土层和 020 cm 土层各矿质元素富集性趋势基本一致。

表 7 不同产地药用白菊花中矿质元素的富集系数

采样层次/cm	产地	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd
020	盐城	5.21	1.61	0.14	0.24	0.00	0.02	0.56	0.52	0.15	1.97
	淮安	5.45	1.56	0.63	0.29	0.00	0.03	0.31	0.43	0.06	0.38
	阜阳	5.97	1.63	0.69	0.35	0.00	0.04	0.32	0.37	0.08	1.28
	滁州	5.93	1.87	0.92	0.63	0.00	0.21	0.70	0.76	0.11	2.83
	桐乡	6.04	1.61	0.67	0.37	0.00	0.06	0.46	0.40	0.06	1.57
	均值	5.72	1.66	0.61	0.38	0.00	0.07	0.47	0.50	0.09	1.61
	2040	盐城	5.40	1.73	0.13	0.24	0.01	0.02	0.56	0.52	0.17
淮安		6.80	1.54	0.74	0.27	0.00	0.03	0.28	0.41	0.07	0.39
阜阳		6.83	1.61	0.69	0.39	0.00	0.04	0.34	0.54	0.09	1.40
滁州		8.43	1.88	0.87	0.55	0.00	0.16	0.63	0.66	0.12	2.52
桐乡		5.73	1.62	0.72	0.38	0.00	0.07	0.47	0.45	0.07	1.58
均值		6.64	1.68	0.63	0.37	0.00	0.06	0.46	0.52	0.10	1.59



2.2.2 药用白菊花对土壤矿质元素富集系数与其活性成分含量的灰色关联分析 为进一步探究土壤,药用白菊花中矿质元素与药用白菊花活性成分含量之间的关系,进行灰色关联分析,见表 8。020 cm 土壤矿质元素中,影响水溶性进出物含量的主要元素为 K($r=0.752$),P($r=0.713$),影响总黄酮含量的主要元素为 P($r=0.767$),K($r=0.747$),影响槲皮素含量的主要元素为 P($r=0.447$),K($r=0.432$),影响木犀草素含量的主要元素为 Fe($r=0.667$),Cu($r=0.560$),影响芹菜素含量的主要元素为 P($r=0.629$),Zn($r=0.621$),影响刺槐素含量的主要元素为 P($r=0.645$),K($r=0.584$),影响绿原酸含量的主要元素为 Cu($r=0.479$),Fe($r=0.451$),影响咖啡酸含量的主要元素为 P($r=0.701$),K($r=0.694$);2040 cm 土壤矿质元素

中,影响水溶性进出物含量的主要元素为 K($r=0.659$),Zn($r=0.625$),P($r=0.621$),影响总黄酮含量的主要元素为 K($r=0.749$),Zn($r=0.533$),影响槲皮素含量的主要元素为 Fe($r=0.452$),Ca($r=0.413$),影响木犀草素含量的主要元素为 Pb($r=0.516$),Cu($r=0.493$),影响芹菜素含量的主要元素为 Zn($r=0.571$),K($r=0.562$),影响刺槐素含量的主要元素为 Zn($r=0.556$),Mg($r=0.539$),K($r=0.536$),影响绿原酸含量的主要元素为 Cu($r=0.448$),Zn($r=0.402$),影响咖啡酸含量的主要元素为 K($r=0.683$),Zn($r=0.502$)。综上,020 cm 与 2040 cm 土壤矿质元素中,影响药用白菊花活性成分含量的主要元素为 P 和 K,其次为 Fe,Cu,Zn,且后者与活性成分含量的关联度较前者小。

表 8 药用白菊花对 020 cm 土壤元素富集系数与其活性成分的灰色关联度

采样层次/cm	活性成分	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	
020	水溶性浸出物	0.713	0.752	0.497	0.490	0.400	0.297	0.462	0.491	0.383	0.432	
	总黄酮	0.767	0.747	0.501	0.539	0.474	0.275	0.478	0.554	0.415	0.448	
	槲皮素	0.447	0.432	0.417	0.320	0.390	0.239	0.404	0.396	0.424	0.415	
	木犀草素	0.454	0.480	0.324	0.476	0.667	0.274	0.560	0.428	0.508	0.437	
	芹菜素	0.629	0.590	0.441	0.435	0.362	0.333	0.469	0.621	0.440	0.392	
	刺槐素	0.645	0.584	0.446	0.482	0.438	0.281	0.504	0.468	0.414	0.390	
	绿原酸	0.385	0.387	0.275	0.378	0.451	0.325	0.479	0.431	0.359	0.405	
	咖啡酸	0.701	0.694	0.483	0.519	0.539	0.261	0.447	0.552	0.413	0.416	
	2040	水溶性浸出物	0.621	0.659	0.436	0.456	0.332	0.271	0.375	0.625	0.348	0.393
		总黄酮	0.518	0.749	0.388	0.490	0.346	0.342	0.481	0.533	0.396	0.434
槲皮素		0.388	0.382	0.413	0.313	0.452	0.191	0.393	0.382	0.405	0.338	
木犀草素		0.349	0.474	0.287	0.393	0.478	0.287	0.493	0.432	0.516	0.408	
芹菜素		0.486	0.562	0.347	0.398	0.421	0.224	0.378	0.571	0.387	0.328	
刺槐素		0.379	0.536	0.350	0.539	0.446	0.369	0.470	0.556	0.371	0.350	
绿原酸		0.276	0.363	0.224	0.311	0.372	0.258	0.448	0.402	0.311	0.328	
咖啡酸		0.467	0.683	0.456	0.407	0.424	0.305	0.413	0.502	0.404	0.402	

3 讨论

本研究结果表明,影响药用白菊花中不同活性成分的主导因子各不相同,其中出现最多的影响因子为速效磷和速效钾,其次为脲酶、磷酸酶、蔗糖酶活性和有机质,这与郭巧生^[6]等对怀菊的研究结果类似。土壤中的速效养分可以被植物直接吸收利用,以提高自身的产量和品质,而土壤酶在土壤生态系统的物质循环和能量转化中起着很重要的作用,其活性大小可以作为评价土壤肥力质量的重要生物指标^[12]。

矿质元素对植物体有着重要的生理作用^[13],但对药用植物中微量元素的药效评价仍存在争论^[14],而通过研究矿质元素对药用植物活性成分的影响,

探讨两者的相关性具有重要意义。本文利用灰色关联分析方法研究了土壤矿质元素对药用白菊花活性成分含量的影响,克服了相关回归分析的不足和局限性,简易准确的衡量因素间的关联程度,目前该分析方法已用于中药质量的评价^[15]及环境因子对药用植物品质影响的研究^[16-17]。从研究结果可以看出,药用白菊花内大部分矿质元素与土壤具有良好的相关性,其中对元素 P,K 的富集能力较强,其次是 Cd,Ca,Zn,Cu,而影响药用白菊花不同活性成分含量的主要矿质元素有所不同,但主要集中于 P 和 K,其次是 Fe,Cu,Zn。有研究表明,适宜的磷肥可以使银杏叶黄酮的量增加 23.57%^[19];施用磷肥能使金银花叶和花中绿原酸分别提高 8.68%,



14.44%^[20];施钾能够提高杭白菊叶片中总黄酮和绿原酸含量^[18]。

此外,020 cm层次与2040 cm层次的土壤化学性状及矿质元素对药用白菊花活性成分含量的主要影响基本一致,但020 cm层次影响程度较大。说明土壤养分具有空间的异质性^[21],随着土层深度的增加,土壤养分逐渐减少,植物根系的觅食反应使得药用白菊花的根系主要分布于020 cm土层中以获取更多养分,从而与该层次土壤因子的相关性较大。

[参考文献]

- [1] 中国药典. 一部[S]. 2005:218.
- [2] 贾凌云,孙启时,黄顺旺. 八大品种菊花中不同成分的含量比较[J]. 中草药,2004,35(10):1180.
- [3] 张清华,张玲. 菊花化学成分及药理作用的研究进展[J]. 食品与药品,2007,9(2):60.
- [4] 李卫建,李先恩. 连翘有效成分含量与土壤养分的量化关系研究[J]. 中国中药杂志,2005,30(20):1577.
- [5] 伍庆,王兴宁,夏品华. 土壤养分因子对杜仲有效成分含量影响研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(25):11002.
- [6] 郭巧生,梁迎暖,张重义,等. 土壤因子对怀菊质量影响研究[J]. 中国中药杂志,2008,33(2):123.
- [7] 郭巧生,汪涛,程俐陶,等. 不同栽培类型药用菊花黄酮类成分比较分析[J]. 中国中药杂志,2008,33(7):756.
- [8] 吴明侠,张贵君. HPLC法测定野菊花70%乙醇提取物中两种有机酸类药效组分的含量[J]. 中医学报,2007,35(6):33.
- [9] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社,2000:106.
- [10] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:143.
- [11] 鲁如坤,史陶钧. 农业化学手册[M]. 北京:科学出版社,1982:32.
- [12] 刘建新. 不同农田土壤酶活性与土壤养分相关关系研究[J]. 土壤通报,2004,35(4):523.
- [13] 王懿萍,张小荣,杨巧艳,等. 中药微量元素与药效的关系[J]. 陕西中医,2006,27(12):1573.
- [14] 赵杨景,陈四宝,高光耀,等. 不同产地丹参的无机元素含量及其生长土壤的理化性质[J]. 中国中药杂志,2004,29(9):844.
- [15] 沈文英,陈铭华,胡明辉. 中药黄芪元素谱的灰色关联分析[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2000,39(6):813.
- [16] 吴庆生,朱仁斌,宛志沪,等. 西洋参有效成分与气候生态因子的关系[J]. 生态学报,2002,22(5):779.
- [17] 褚必海,毛善国,丁小余,等. 泽泻有效成分与生态因子的关系[J]. 南京师大学报:自然科学版,2007,30(2):98.
- [18] 刘伟. 氮钾营养对抗白菊次生代谢产物调控的生理生化基础[D]. 武汉:华中农业大学,2007.
- [19] 吴家胜,应叶青,曹福亮,等. 施磷对银杏叶产量及黄酮含量的影响[J]. 东北林业大学学报,2003,31(1):17.
- [20] 徐凌川,张永清,王绪平,等. 施肥对忍冬生长发育及体内化学成分含量的影响[J]. 中草药,1997,28(10):620.
- [21] 王庆成,程云环. 土壤养分空间异质性与植物根系的觅食反应[J]. 应用生态学报,2004,15(6):1063.

Effects of soil factors on active component content of *Chrysanthemum morifolium*

WANG Yanru, GUO Qiaosheng*, SHAO Qingsong, ZHANG Zhiyuan

(Institute of Chinese Medicinal Materials, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

[Abstract] **Objective:** To study the effects of soil factors on the active component content of *Chrysanthemum morifolium* and screen out the leading factors. **Method:** The active component of water soluble extracts, flavonoids, phenolic compounds and mineral elements were determined and chemical properties and mineral elements of soil were analyzed for studying the effects on *Ch. morifolium* through correlation, stepwise regression, path and grey correlation analysis. **Result:** Soil available P and K were the most important factors that affected the active component content of *Ch. morifolium*, followed by urease, phosphatase and invertase activities and organic matter. The mineral elements in *Ch. morifolium* and in soil correlated well, P and K were enriched in the plant mostly, followed by Cd, Ca, Zn, Cu. The main leading factors of mineral elements in soil were P and K, followed by Fe, Cu and Zn. **Conclusion:** Soil was one of the important factors which affected the active component content of *Ch. morifolium*.

[Key words] medicinal *Chrysanthemum morifolium*; active component; soil factors; path analysis; grey correlation analysis

doi: 10.4268/cjmm20100603

[责任编辑 吕冬梅]