

· 中药农业 ·

应用 GGE 双标图分析丹参杂种一代品系的稳定性和适应性[△]

陈萌, 魏建和, 金钺, 隋春, 杨成民*

(中国医学科学院 北京协和医学院 药用植物研究所 教育部重点实验室 濒危药材繁育国家工程实验室, 北京 100193)

[摘要] **目的:** 评估丹参杂种一代品系的稳定性和适应性。**方法:** 采用 GGE 双标图模型, 分析 5 个丹参杂种一代品系和 2 个生产对照种质开展一年多点试验数据, 评价了参试材料单根重和有效成分含量的表现及稳定性, 同时考察了 4 个试验点的区分力和代表性。**结果:** 在北京海淀, H4 的单根重和丹酚酸 B 适应性好, 稳定性高; 在北京密云, H4 和 H16 的单根重和有效成分的适应性好, 稳定性高; 在陕西商洛, H24 的单根重和有效成分适应性好, 稳定性高; 在河南方城, H24 的丹酚酸 B 含量高, 适应性好。通过分析环境的区分力和代表性可以确定丹参杂种一代的选育区及筛选区, 北京海淀和河南方城分别作为选育高产、高丹酚酸 B 含量为目标和高脂溶性成分为目标的选育地点。品系需要在具有区分力的环境作进一步淘汰, 在北京密云淘汰产量低的品系, 在河南方城淘汰脂溶性成分含量低的品系; 在陕西商洛淘汰脂溶性成分含量低的品系。**结论:** 应用 GGE 双标图评价分析方法可以较好地分析丹参杂种一代品系的稳定性和适应性, 可为确定筛选出优良品种、确定丹参选育试验地点和科学的建立丹参区域试验点提供科学参考。

[关键词] 丹参杂种一代品系; 区域试验; 适应性; 稳定性; GGE 双标图

GGE Biplots in Stability and Adaptation Evaluation for Hybrid F1 *Salvia miltiorrhiza* Lines

CHEN Meng, WEI Jianhe, JIN Yue, SUI Chun, YANG Chenmin*

(Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Ministry of Education Key Laboratory, National Engineering Laboratory of Endangered Medicinal Breeding, Beijing 100193, China)

[Abstract] **Objective:** To evaluate the stability and adaptation of single root weight and active compounds content of hybrid *Salvia miltiorrhiza* Bge F1 lines. **Methods:** GGE-biplot had been applied to analyze the stability of yield and quality traits, representativeness and discrimination of testing site, with 5 F1 hybrid lines and 2 production germplasm planted in four different testing sites. **Results:** H4 had better performance and stability at yield and salvianolic acid B content in Haidian of Beijing; H4 and H16 had better performance and stability at yield and active compounds content in Miyun of Beijing; H24 had better performance and stability at yield and active compounds content in Shangluo of Shanxi; H24 had better performance and stability at yield and lipophilic ingredients content in Fangcheng of Henan. The breeding region and selection region of *S. miltiorrhiza* F1 lines could be modified through the analysis of testing site's representativeness and discrimination. Through the analysis of testing site's representativeness, the breeding region of *S. miltiorrhiza* could be determined: Haidian of Beijing and Fangcheng of Henan had better representativeness at salvianolic acid B and lipophilic ingredients content, respectively. When planted in Miyun of Beijing cultivars with low yield could be eliminated, while Fangcheng of Henan and Shangluo of Shanxi could eliminate cultivar with low lipophilic ingredients content. **Conclusion:** GGE-biplot was a rational method for stability and adaptation evaluation of *S. miltiorrhiza* F1 lines, and could assist us to select good culture and suitable test site. It provides scientific basis for the establishment of breeding site and selection site of *S. miltiorrhiza*.

[Keywords] *Salvia miltiorrhiza* Bge hybrid F1 lines; regional trial; stability; adaptation; GGE-biplot

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.2017.6.015

[△] [基金项目] 国家自然科学基金(81303212); 高等学校博士学科点专项科研基金(20131106110033); 中组部“万人计划”科技领军人才(2015)

* [通信作者] 杨成民, 副研究员, 研究方向: 中药材栽培育种研究; E-mail: cmyang@implad.ac.cn

丹参为唇形科鼠尾草属多年生草本植物丹参 *Salvia miltiorrhiza* Bge. 干燥根及根茎^[1]。丹参中含有水溶性酚酸类和脂溶性丹参酮类等药效成分^[2], 具有活血化瘀、镇静安神、凉血消痈等功效, 尤其对心血管类疾病有显著的疗效^[3], 是我国种植面积和使用量最大的常用药材之一。但种质混杂、无良种、各产地产量和有效成分含量差异大是丹参生产上面临的主要问题。杨新杰等^[4]提出了丹参质量性状受到遗传和环境饰变的双重作用, 其中以遗传主导型为主, 环境饰变型为辅。因此, 选育品质优良的新品种可以从种质源头上保障丹参生产的稳产、高产、高含量, 目前已选育出 11 个新品种^[5]。新品种的稳定性评价一直是农作物审定和推广的重要依据, 我国的主要农作物新品种是通过国家级或省级区域试验站进行第三方评价^[6], 但药用植物新品种目前尚不具备这些条件。如何科学评价环境对药用植物新品种(或品系)的影响及药用植物新品种(或品系)产地适应性和稳定性, 发现适合丹参产区推广的优良品种或品系, 一直缺乏合理、规范、科学的分析方法。

基因型主效应及其与环境互作 (genotype main effect plus genotype-environment interaction, GGE) 双标图是研究基因型与环境互作以及不同环境下作物品种(或品系)产量、品质稳定性的新方法, 该模型采用环境中心化后数据, 结果中只含有与品种评价有关的 G(品种效应)和 GE(品种与环境互作效应), 是分析多点试验数据的理想工具。稳定性是基于品种与环境互作效应的大小做出的评价: 互作效应越大, 说明该品种对环境越敏感, 表现就越不稳定, 反之亦然^[7]。迄今, GGE 双标图法已应用于燕麦^[8-9]、烟草^[10]、棉花^[11]、小麦^[12]农作物品种或品系的区域试验中, 主要用于鉴别各地点的最佳品种及区域划分、品种的平均表现及稳定性、试验地点的区分能力和代表性等。并且 GGE 双标图法也可应用于一年多点试验数据分析, 同样达到较高的精确度^[13-15]。目前 GGE 双标图法尚未应用于药用植物的品种和品系分析中, 尤其对于易受环境影响的次生代谢产物的适应性和稳定性评价应更具意义。

课题组在丹参新品种选育过程中发现不同品系在不同产区的区域试验中的产量和有效成分含量存在显著差异, 受环境影响明显。本研究以 5 个丹参 F1 代品系及 2 个生产对照为材料, 应用 GGE-Biplot 软件, 采用 GGE 双标图模型分析了试验材料的表

现, 以揭示出一年多点试验不同杂种一代品系的产量和品质性状的表现及其稳定性, 同时评价试点的代表性和区分力, 为筛选出优良生态适合性的丹参杂种一代新品种, 以及确定丹参选育试验地点和建立丹参区域试验点提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

参试材料 H4、H24、H15、H16、H20, 均为中国医学科学院药用植物研究所选育的雄性不育系 DPS101 与 5 个四代自交系杂交得到的 F1 代品系, 其中 H4 和 H24 已于 2014 年分别被鉴定为新品种“中丹药植 1 号”和“中丹药植 2 号”^[16]。对照为河南和陕西的生产种质为 (HNCK 和 SXCK)。分别在北京海淀、北京密云、河南方城和陕西商洛设置试验地点。

2013 年 9 月在北京海淀中国医学科学院药用植物研究所实验基地统一育苗, 2014 年 3 月移栽到试验点; 随机区组设计, 三次重复, 每重复种植 30 株苗, 行距 60 cm, 株距 25 cm。2014 年 11 月中旬采挖。

1.2 调查方法

每重复随机取 15 株完整根系, 自然阴干后称重。所有样品粉碎后过 4 号筛, 采用文献中的方法^[17]测定丹酚酸 B、丹参酮 I、隐丹参酮和丹参酮 II A 的含量。

1.3 数据分析

1.3.1 GGE 双标图 研究基因型与环境互作及其不同环境下作物品种产量稳定性时, 某一性状的试验数据为表现型(P), 可以分解为 $P = M + E + G + GE$, 其中 M 为多点试验环境总体平均值, E 为环境主效应, G 为品种主效应, GE 为品种-环境互作效应。通过数据中心化, 可以从数据中移除 M、E, 形成一个环境中心化的两向表。再将双向表进行特征值分解, 得到各品种及环境的主成分表, 以第一主成分(PC1)为横坐标, 第二主成分(PC2)为纵坐标, 得到 GGE 双标图^[18]。

1.3.2 分析方法 参试品系的适应性分析: 将同一方向上距离原点最远的品系连接起来形成一个多边形, 其他品系也包括在该多边形内, 通过原点向各多边形的各边作垂线, 称为平均线, 把多边形分成了几个扇形, 位于顶点的品系是扇形区域内所有试

点表现最佳的品系。

参试品系的表现及其稳定性分析：以圆圈代表平均环境，带箭头的直线表示平均环境轴，所指的方向为品系在所有环境的近似平均表现；与平均环境轴垂直并通过原点的带双箭头的直线代表品种与环境的互作的倾向性，越偏离平均环境轴表示品系越不稳定。

试验点的代表性和区分力分析：图中连接原点和环境变量的直线称为向量，2个环境向量间夹角的余弦近似于它们之间的遗传相关系数，夹角小于90°表示正相关，大于90°表示负相关，接近90°表示无相关。正相关表明两环境对品系排序相似，负相关表明两环境对品系排序相左。环境向量的长度是试验点对品系区分能力的度量，图中的圆圈代表平均环境，它的位置取决于各试验环境坐标的平均值，带箭头的直线通过双坐标的原点和平均环境，试验点向量与平均环境向量的角度是其对目标环境的代表性的度量，角度越小，代表性越强。

1.3.3 数据处理 数据采用 Excel 和 SPSS 20 统计软件对数据进行平均值和方差分析。GGE 双标图构建采用软件 GGE biplot(<http://www.ggebiplot.com>)。

2 结果与分析

2.1 丹参参试材料的单根重和有效成分含量表现

2.1.1 丹酚酸 B 含量 从表 1 可知，丹酚酸 B 含量排名前 3 位的分别为 H24、H4 和 HNCK，显著高于其他样品。H24 和 H4 分别比 2 个对照的平均值分别提高 5.91% 和 5.62%。4 个试验点中 5 个品系进行均值分析表明北京密云丹酚酸 B 含量最高，其次为北京海淀。H15（在 4 个地区）和 H20（在北京海淀、密云）的丹酚酸 B 的含量小于 3.0%，未达到《中华人民共和国药典》标准。

2.1.2 丹参酮 I、隐丹参酮和丹参酮 II A 总含量

从表 1 可知，丹参酮 I、隐丹参酮和丹参酮 II A 总含量排名前 3 位的分别为 H24、H16 和 H4，其中 H24 显著高于其他样品。H24、H16 和 H4 比 2 个对照平均值分别提高 30.74%、8.40% 和 -0.02%。4 个试验点中 5 个品系进行均值分析表明北京密云平均含量最高，其次为北京海淀。在 4 个地区种植的样品均达到《中华人民共和国药典》的标准，即丹参酮 I、隐丹参酮和丹参酮 II A 的总量不得低于 0.25%^[1]。

表 1 丹参参试材料在各试点的有效成分含量

评价指标	品系	试验地点(%)				平均值(%)	超标优势(%)
		北京海淀	北京密云	河南方城	陕西商洛		
丹酚酸 B	H4	6.60	6.42	4.24	4.38	5.41 ^a	5.62
	H15	2.78	2.81	2.07	2.44	2.53 ^d	-50.64
	H16	5.29	5.86	3.94	3.69	4.70 ^b	-8.28
	H20	2.62	2.57	3.99	3.40	3.14 ^c	-38.60
	H24	5.96	6.05	5.43	4.25	5.42 ^a	5.91
	平均值	4.65	4.74	3.93	3.63	4.24	
	HNCK	5.91	5.65	4.49	—	5.35 ^a	
	SXCK	5.15	—	—	4.64	4.89 ^b	
丹参酮 I、隐丹参酮和丹参酮 II A 的总含量	H4	0.56	2.25	1.18	0.77	1.19 ^b	-0.02
	H15	0.50	0.61	0.33	0.79	0.56 ^c	-52.94
	H16	1.69	2.20	0.86	0.41	1.29 ^b	8.40
	H20	0.66	0.75	0.35	0.53	0.57 ^c	-51.87
	H24	2.10	1.90	1.12	1.09	1.56 ^a	30.74
	平均	1.10	1.54	0.77	0.72	1.03	
	HNCK	1.80	0.56	0.91	—	1.09 ^b	
	SXCK	1.71	—	—	0.86	1.28 ^b	

2.1.3 单根重 从表 2 可知，5 个材料的平均单根重显著高于 2 个对照。其中排名前 3 位的分别为 H16、H4 和 H24，比 2 个对照的平均值均增产 50.0% 以上。4 个试验点中，5 个品系进行均值分析表明北京海淀的平均单根重最高，其次为陕西商洛。

表 2 丹参参试材料在各试点的单根重

品系	试验地点/g				平均值/g	超标优势(%)
	北京海淀	北京密云	河南方城	陕西商洛		
H4	82.4	59.5	47.5	61.4	62.7 ^a	58.60
H15	77.5	41.0	56.2	49.3	56.0 ^a	41.72
H16	83.6	56.7	46.0	66.2	63.1 ^a	59.72
H20	81.8	47.4	44.9	61.2	58.8 ^a	48.78
H24	80.9	49.4	43.7	64.8	59.7 ^a	51.04
平均	81.2	50.8	47.6	60.6	60.1	
HNCK	53.1	40.6	28.8	—	40.9 ^b	
SXCK	42.0	—	—	34.2	38.1 ^b	

2.2 基于 GGE 双标图分析丹参参试材料的适应性和稳定性分析

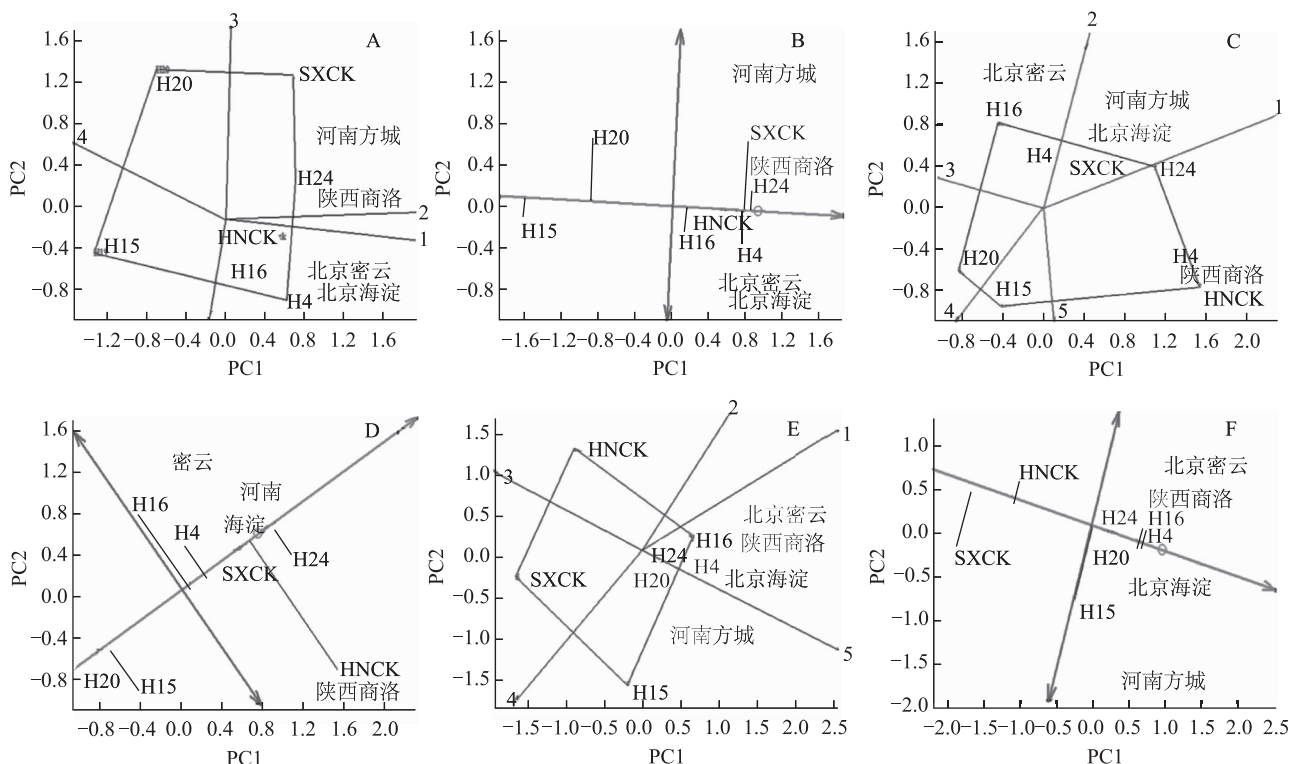
横坐标代表第一主成分(PC1)，纵坐标代表第二主成分(PC2)，两者表示双标图的拟合度，即两向表中总变异的百分数。PC1 + PC2 越大，拟合度越

高,表示双标图能更好的近似实际数据。当拟合度大于80%时,得到的关系或规律接近真实^[18]。以图1A为例解读拟合度信息:PC1解释了81.7%数据变异平方和,PC2解释了16.6%数据变异平方和。PC1和PC2一共解释了98.3%的数据平方和(Sum = 98.3%)。本实验中三个评价指标的拟合度均在80%以上。

2.2.1 丹酚酸B含量 从图1A适应性分析可知,GGE双标图将4个试验点分为两组,河南方城和陕西商洛为第一组;北京海淀和北京密云为第二组。第一组中H24、SXCK表现最好;第二组中H4表现最好,H15和H20在第二组中表现都不好。从图1B分析丹酚酸B含量,H24含量最高,其次是SXCK,

H20和H15的含量低于总体水平。稳定性看,HNCK、H24、H4、H16和H15的稳定性好,H20、SXCK稳定性差。

2.2.2 丹参酮I、隐丹参酮和丹参酮II A总含量 从图1C适应性分析可知,GGE双标图将4个试验点分为三组,北京海淀和河南方城为第一组;陕西商洛为第二组;北京密云为第三组。第一组无表现优良的品系;第二组H24和HNCK表现最好;第三组H16表现最好。H15和H20在各试验点表现都不好。从图1D可知,H24含量最高,其次是HNCK、SXCK、H4和H16,H15和H20的含量低于总体水平。从稳定性看,SXCK和H20稳定性最好,其次为H4和H24,其他材料稳定性差。



注: A. 丹参参试品系的适应性试验中丹酚酸B含量; B. 丹参参试品系的稳定性试验中丹酚酸B含量; C. 丹参参试品系的适应性试验中丹参酮I、隐丹参酮和丹参酮II A总含量; D. 丹参参试品系的稳定性试验中丹参酮I、隐丹参酮和丹参酮II A总含量; E. 丹参参试品系的适应性试验中单根重; F. 丹参参试品系的稳定性试验中单根重。

图1 GGE双标图分析丹参参试品系的生态适应性和稳定性

2.2.3 单根重 从图1E适应性分析可知,GGE双标图将4个试验点分为两组,北京密云、陕西商洛和北京海淀为第一组;河南方城为第二组。第一组H4和H16表现最好,H20和H24表现一般;第二组H15表现最好。HNCK和SXCK在各试验点表现都不好。从图1F可知,H4单根重最高,其次是H16、H24、H20和H15,HNCK和SXCK的产量低于总体

水平。从稳定性看,H20和H24的稳定性好,其他品系和对照的稳定性差。

从表3可知,在北京海淀H4的单根重和丹酚酸B适应性好,稳定性高,适合在该地区推广种植;在北京密云H4的单根重和有效成分的适应性好,稳定性高;在陕西商洛H24的单根重和有效成分适应性好,稳定性高;在河南方城H24适合该地区种植。

表 3 基于 GGE 双标图的各地区产量和有效成分含量的表现

评价指标	试验地点			
	北京海淀	北京密云	河南方城	陕西商洛
丹酚酸 B	H4 适应性高，含量高且稳定性好	H4 适应性高，含量高且稳定性好	H24 适应性高，含量高且稳定性好；SXCK 适应性高，含量高，稳定性差	H24 适应性高，含量高且稳定性好；SXCK 适应性高，含量高，稳定性差
丹参酮 I、隐丹参酮和丹参酮 II A 总含量	—	H16 适应性高，含量一般，稳定性差	—	H24 适应性高，稳定性好；HNCK 适应性高，稳定性差
单根重	H4 和 H16 适应性高，产量高，稳定性好	H4 和 H16 适应性高，产量高，稳定性好	H15 适应性高，稳定性差	H4 和 H16 适应性高，产量高，稳定性好
总结	H4 适合在北京海淀种植	H4、H16 适合在北京密云种植	H24 适合在河南方城种植	H24 适合在陕西商洛种植

2.3 基于 GGE 双标图分析试验点的区分力和代表性

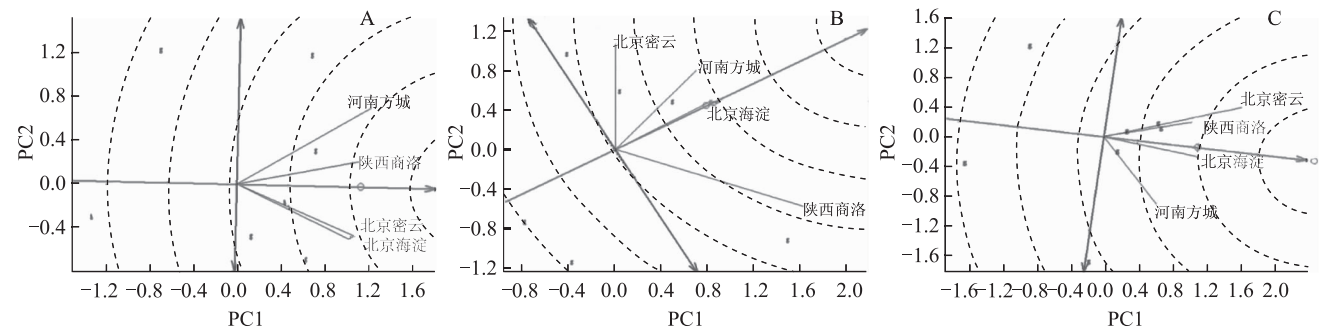
区分力和代表性是对试验点评价的重要指标，理想的试验地点应当具备两个条件，一是对参试品种有较强的区分能力，二是对目标生态区有较强的代表性。没有区分能力的试验点是无用的，有区分能力但没有代表性的试验点可用于淘汰不稳定的品种，但不能用于选择优良品种。只有既有区分力又有代表性的试验点才能用来有效的选择高产、高含量、稳产的品种。

2.3.1 丹酚酸 B 含量 从图 2A 可知，河南方城的区分力最强，其次为北京海淀。就代表性而言，4 个地区间存在正相关，其中北京密云和北京海淀为紧密正相关。陕西商洛的代表性最强，其次为北京海淀，河南方城的最差。综合而言，北京海淀的区分力和代表性都较好，可用于筛选优良品系，河南方城的区分力强，可用于淘汰低丹酚酸 B 含量

的品系。

2.3.2 丹参酮 I、隐丹参酮和丹参酮 II A 总含量 从图 2B 可知，陕西商洛的区分力最强，河南方城和北京密云相当，北京海淀最差。就代表性而言，除陕西商洛和北京密云间呈负相关外，其他两地区间呈正相关。北京海淀的代表性最强，陕西商洛最差。综合而言，河南方城的区分力和代表性都较好，可用于筛选优良品系，陕西商洛的区分力强，可用于淘汰低脂溶性成分的品系。

2.3.3 单根重 从图 2C 可知，北京密云的区分力最强，其他 3 个地区的区分力相当。就代表性而言，4 个地区间存在正相关，其中北京密云和陕西商洛为紧密正相关。北京海淀的代表性最强，河南方城最差。综合而言，北京海淀的区分力和代表性都较好，可用于筛选优良品系，北京密云的区分力强，可用于淘汰低产的品系。



注：A. 丹酚酸 B 含量；B. 丹参酮 I、隐丹参酮和丹参酮 II A 总含量；C. 单根重。

图 2 GGE 双标图分析试验点的代表性和区分力

3 讨论

GGE 双标图法和传统的算术平均值法的算法有所不同，相应的结果也有区别，如 SXCK 的丹酚酸

B 含量显著低于 H4、H24 和 HNCK(表 1)，而 GGE 分析结果则将 SXCK 排在第 2 位，仅次于 H24(图 1B)。同样的结果出现在水稻品系评价的试验中^[19]。这是由于双标图中的计算用到了参试品种在

实验点的所有数据,远远多于重复值的平均值的数据,GGE 双标图中给出的估算值使得品种在每一地点的平均产量或含量偏向该品种总的平均值,显得更加精确和可靠。

环境对农作物的影响主要体现在产量上,产量的影响高低不影响农作物的可用性。不同于农作物,药用植物是一种以有效成分为经济性状的特殊的作物,且含量容易受到环境的影响^[20]。有效成分含量是否达到《中华人民共和国药典》的标准,直接决定药材的可用性,因此对品系有效成分含量的评价要优先于对产量的评价。严威凯等^[18]特别指出(作物的)产量的稳定性只有和高产相结合才有意义。这提示我们在确定各地区适宜栽培品种时,应综合考虑各性状的适应性和稳定性,只关注适应性或只关注稳定性的做法是不可取的,如在河南方城和陕西商洛, SXCK 的丹酚酸 B 的适应性虽好(图 1A),但稳定性差(图 1B),说明该种质混杂度高;又如 H20 的脂溶性成分含量稳定性好(图 2D),但在 4 个试验点含量都不高(图 2C),不适合在这 4 个试验点作为优良品种种植。当 H4 和 H24 分别种植在北京密云和陕西商洛时,单根重和有效成分含量表现好,稳定性高,适合在当地推广种植。同时对那些在某一特定环境下,某些性状具有突出表现的品种,可以用于特殊用途的品种推广,如 H4 种植在北京海淀时,单根重和丹酚酸 B 的表现好,稳定性高,可用于水溶性成分的提取。

通过分析环境的区分力和代表性可以确定丹参选育区及区域筛选区,如选育高产、高丹酚酸 B 含量为目标,可以将北京海淀作为选育地点;如选育高脂溶性成分为目标,可以将河南方城作为选育地点。当选育的杂种一代新品系需要在具有代表性的环境作进一步淘汰不良品系时,在北京密云淘汰产量低的品系,在河南方城淘汰脂溶性成分含量低的品系;在陕西商洛淘汰脂溶性成分含量低的品系。值得注意的是目前的结论是基于一年多点的数据得出初步的提示性结果,由于品种生态划分的结论对原种和品种推荐有长期的影响^[21],要为在不同地区建立丹参选育基地或区域试验基地提供可靠的科学依据,还需进行多年试验数据方可确定。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2015:76-77.

- [2] Zhou L, Zuo Z, Chow MS. *Danshen*: an overview of its chemistry, pharmacology, pharmacokinetics and clinic use[J]. Journal of clinical pharmacology, 2005, 45 (12): 1345-1359.
- [3] Zhou R, He LF, Li YJ, et al. Cardioprotective effect of water and ethanol extract of *Salvia miltiorrhiza* in an experimental model of myocardial infarction [J]. Journal of ethnopharmacology, 2012, 139 (2): 440-446.
- [4] 杨新杰, 万德光, 林贵兵, 等. 不同种源丹参异地引种后质量分析[J]. 成都医学院学报, 2011, 6(4): 291-295.
- [5] 杨成民, 魏建和, 隋春, 等. 我国中药材新品种选育进展与建议[J]. 中国现代中药, 2012, 15(9): 727-737.
- [6] 张群远, 孔繁玲, 廖琴, 等. 作物品种区域试验的评价体系及其评价方法[J]. 农业系统科学与综合研究, 2000, 16(2): 81-86.
- [7] 严威凯, 盛庆来, 胡跃高, 等. GGE 叠图法-分析品种×环境互作模式的理想方法[J]. 作物学报, 2001, 27(1): 21-28.
- [8] 焦伟红, 刘景辉, 齐冰洁, 等. 用 GGE 双标图分析燕麦品种(系)农艺和品质性状[J]. 中国农业通报, 2011, 27(1): 24-29.
- [9] 张志芬, 付晓峰, 刘俊青, 等. 用 GGE 双标图分析燕麦区域试验品系产量稳定性及试点代表性[J]. 作物学报, 2010, 36(8): 1377-1385.
- [10] 赵洁宏, 谢升东, 王轶, 等. GGE 双标图在中间香型烟叶特色彰显度分析中的应用[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(4): 28-34.
- [11] 许乃银, 李健. 利用 GGE 双标图和综合选择指数划分棉花品种生态区[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(9): 1113-1121.
- [12] 杨进文, 朱俊刚, 王曙光, 等. 用 GGE 双标图及隶属函数综合分析山西小麦地方品种抗旱性[J]. 应用生态学报, 2013, 24(4): 1031-1038.
- [13] 王洁, 廖琴, 胡小军, 等. 北方稻区国家水稻品种区域试验精确度分析[J]. 作物学报, 2010, 36(11): 1870-1876.
- [14] 常磊, 韩凡香, 柴守玺, 等. 我国旱地小麦区域试验精确度及其环境综合评价[J]. 应用生态学报, 2013, 24(10): 2814-2820.
- [15] 罗俊, 张华, 邓祖湖, 等. 应用 GGE 双标图分析甘蔗品种(系)的产量和品质性状[J]. 作物学报, 2013, 39(1): 142-152.
- [16] Chen M, Yang CM, Sui C, et al. "Zhongdanyaozhi No. 1" and "Zhongdanyaozhi No. 2", are hybrid cultivars of *Salvia miltiorrhiza* with high yield and active compounds content[J]. PlosOne, 2016, 11(9): 0162691.

(下转第 838 页)

- 验研究[J]. 人参研究, 1992, 4(3): 5-12.
- [7] Wang Y P, Choi H K, Brinckmann J A, et al. Chemical analysis of *Panax quinquefolius* (North American ginseng): A review[J]. J Chromatogr A, 2015, 1426: 1-15.
- [8] Qi L W, Wang C Z, Yuan C S. Ginsenosides from American ginseng: chemical and pharmacological diversity [J]. Phytochemistry, 2011, 72(8): 689-699.
- [9] Stavro P M, Woo M, Heim T F, et al. North American ginseng exerts a neutral effect on blood pressure in individuals with hypertension. Hypertension, 2005, 46(2): 406-411.
- [10] Wang C Z, Zhang B, Song W X, et al. Steamed American ginseng berry: ginsenoside analyses and anticancer activities. J Agric Food Chem, 2006, 54(26): 9936-9942.
- [11] Jia L, Zhao Y. Current evaluation of the millennium phytomedicine--ginseng (I): etymology, pharmacognosy, phytochemistry, market and regulations. Curr Med Chem, 2009, 16(19): 2475-2484.
- [12] 董梁, 张翠英, 陈士林. 西洋参药材皂苷类成分 HPLC-UV-ELSD 特征图谱及模式识别研究[J]. 药学学报, 2011, 46(2): 198-202.
- [13] 刘伟灿, 张美萍, 李超生, 等. 西洋参各部位皂苷成分的 HPLC 测定[J]. 人参研究, 2010, 22(1): 20-23.
- [14] 毕福钧, 钟顺好, 顾利红. RRLC 法与 HPLC 法在红参和西洋参人参皂苷含量测定中的分析比较[J]. 药物分析杂志, 2010, 30(9): 1720-1724.
- [15] 李焘, 屈新运, 王喆之. 陕西留坝西洋参药材 HPLC 指纹图谱的建立[J]. 中药材, 2008, 31(8): 1146-1149.
- [16] 蔡艳, 郭文胜. HPLC-ELSD 测定西洋参中人参皂苷含量[J]. 陕西中医学院学报, 2009, 32(1): 64-65.
- [17] 王欢, 曾凡琳, 谢彩香. 西洋参 UPLC-UV-ELSD 指纹图谱研究[J]. 中草药, 2016, 47(1): 143-148.
- [18] 李波, 任焯, 杨正明, 等. 加拿大产西洋参茎中 9 种人参皂苷和 2 种拟人参皂苷的含量变化研究[J]. 华西药理学杂志, 2015, 30(1): 74-78.
- [19] Assinewe V A, Baum B R, Gagnon D, et al. Phytochemistry of wild populations of *Panax quinquefolius* L. (North American ginseng) [J]. J Agri Food Chem, 2003, 51(16): 4549-4553.
- [20] 黄艳菲, 刘永恒, 李艳丹, 等. HPLC-MSⁿ 法测定加拿大原产地西洋参不同入药部位的人参皂苷含量[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(11): 86-91.
- [21] 屈新运, 王喆之. 西洋参不同器官皂苷类成分的指纹图谱研究[J]. 现代生物医学进展, 2006, 6(2): 32-35.
- [22] 逢世峰, 李亚丽, 许世泉, 等. 西洋参不同器官人参皂苷类成分研究[J]. 中国林副特产, 2015, 135: 1-3, 9.
- [23] 朱秋. HPLC 法测定西洋参不同器官中人参皂苷含量[J]. 亚太传统医药, 2015, 11(19): 23-24.

(收稿日期 2016-10-10)

(上接第 814 页)

- [17] Lu LL, Hou S, Zheng TT, et al. Analysis and comparison of the levels of bioactive components in roots of *Salvia miltiorrhiza* Bunge from different germplasms by high-performance liquid chromatography[J]. Australian Journal of Crop Science. 2013, 7(1): 152-158.
- [18] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用[J]. 作物学报, 2010, 36(11): 1805-1819.
- [19] 王磊, 程本义, 鄂志国, 等. 基于 GGE 双标图的水稻区试品种丰产性、稳产性和适应性评价[J]. 中国水稻科学, 2015, 29(4): 408-416.
- [20] He CE, Wei JH, Jin Y, Chen SL, et al. Bioactive components of the root of *Salvia miltiorrhizae*: Changes release to harvest time and germplasm line[J]. Industrial Crops and Products, 2010, 32(3): 313-317.
- [21] 许乃银. 农作物品种试验数据管理与分析[M], 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016: 133.

(收稿日期 2016-11-17)