

文章编号:2095-6134(2013)04-0478-07

# 陇西栽培蒙古黄芪生物学性状的多元统计分析\*

谢小龙<sup>1,2</sup>, 李毅<sup>2†</sup>

(1 河南中医学院药学院, 郑州 450046; 2 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008)

(2012 年 9 月 17 日收稿; 2012 年 12 月 10 日收修改稿)

Xie X L, Li Y. Multivariate analyses on biological characters of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* Hsiao cultivated in Longxi county [J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2013, 30(4):478-484.

**摘要** 为了探测陇西栽培蒙古黄芪的表型多样性及自然类型, 对该地栽培蒙古黄芪的 11 个主要生物学性状进行了主成分分析和 Q 型聚类分析. 多元统计分析表明, 陇西栽培蒙古黄芪在生物学性状上存在较大的变异, 尤其在果荚颜色、种子花纹及茎色等性状上显著分化, 形成了红色类型、红荚绿茎类型和绿色类型等 3 个主要蒙古黄芪自然类型, 因而该地栽培的蒙古黄芪是一个复杂的异质群体.

**关键词** 蒙古黄芪; 主成分分析; 聚类分析; 自然类型

**中图分类号**: R284.1; S567 **文献标志码**: A **doi**: 10.7523/j.issn.2095-6134.2013.04.008

## Multivariate analyses on biological characters of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* Hsiao cultivated in Longxi county

XIE Xiao-Long<sup>1,2</sup>, LI Yi<sup>2</sup>

(1 School of Pharmacy, Henan University of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China;

2 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

**Abstract** To detect morphological diversity and morphotypes in *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* cultivated in Longxi county, 11 main biological characters of 210 individuals were investigated and subjected to principle component analysis and cluster analysis. Multivariate analyses showed that the tested individuals of *A. membranaceus* var. *mongholicus* have been divergent in some biological characters, especially in pod colour, seed maculation, and stem colour, which resulted in 3 main morphotypes, namely R type, RG type, and G type. It is suggested that the population of *A. membranaceus* var. *mongholicus* in Longxi county is heterogenous.

**Key words** *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*; principle component analysis; cluster analysis; morphotype

\* “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAD64B04)、“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAI06B02)和河南中医学院博士科研基金(BSJJ2009-30)资助

† 通信作者, E-mail: liyi@nwipb.cas.cn

蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao 为豆科 (Leguminosae) 黄芪属 (*Astragalus*) 多年生草本植物,其干燥根为临床常用中药黄芪 (*Astragali Radix*),具有补气升阳、固表止汗、利水消肿、生津养血、行滞通痹、托毒排脓和敛疮生肌等功效<sup>[1-2]</sup>。随着黄芪药用范围的不断拓宽,其需求量也越来越大。因此根据市场需求,发展黄芪种植产业,对发展医疗卫生和保健事业以及提高药农经济收入均具有重要意义<sup>[3]</sup>。

甘肃省陇西县是黄芪的地道产区,有“中国黄芪之乡”的美称,所产黄芪量大质优<sup>[4-5]</sup>。然而,野外调查和室内研究表明,该地栽培蒙古黄芪存在严重的混杂情况,从而导致近年来黄芪病虫害的增加和产量、品质的下降;另一方面,混杂的群体中也必然存在丰富的遗传多样性,从而为筛选优良黄芪类型提供了遗传资源<sup>[6-7]</sup>。本文通过对

陇西栽培蒙古黄芪生物学性状进行调查分析,旨在初步确定该地蒙古黄芪存在的主要类型,为进一步选育黄芪良种提供基本素材。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

在访问调查和实地考察后,2004年6月初至7月中旬在甘肃省陇西县首阳镇下河社选定一块长势较好、开花较多的2年生蒙古黄芪栽培大田(900 m<sup>2</sup>),在其中随机选取210株开花植物个体作为田间观察材料。采收每一观察对象的成熟果荚,并于8月5—6日将其根部挖出,一同带回实验室进行观察、测量。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 生物学性状的调查

野外调查和室内考察的生物学性状指标及其标准见表1。

表1 蒙古黄芪生物学性状调查项目及标准

Table 1 Investigation items and respective standards of biological characters of *A. membranaceus* var. *mongholicus*

性状	性状代号	记载标准
株高/cm	x1	从地面至植株生长点高度
茎粗/mm	x2	植株基部直径(对于具2个以上分株的植株,则以最粗的分株基部直径计)
分株数	x3	同一植株的分蘖株数
主茎分枝数	x4	测量株高和茎粗的分株,其主茎上的分枝数
茎色	x5	0 = 植株茎蔓纯绿色;1 = 植株茎蔓上多少具红色斑纹
花色	x6	0 = 蝶形花的旗瓣先端淡黄色;1 = 蝶形花的旗瓣先端为深浅不尽相同的红色
果荚颜色	x7	0 = 果荚成熟干燥前纯绿色;1 = 果荚成熟干燥前多少具红色斑纹
种子花纹	x8	1 = 无纹;2 = 同一植株内,部分种子具纹,部分种子无纹;3 = 全部种子具纹
根重/g	x9	根自然风干后的重量
根粗/mm	x10	根自然风干后,基部2个垂直方向上直径的平均值
节间距	x11	节间距 = (最后分枝高度 - 第一分枝高度) / (分枝数 - 1)

#### 1.2.2 统计方法

非数值性状按表1的标准赋值后,制成210 × 11(210为供试植株数,11为生物学性状变量数)原始数据矩阵表,然后用SPSS11.0统计软件进行主成分分析和Q型聚类分析<sup>[8]</sup>。

主成分分析:求算原始变量之间的相关矩阵(表2),用该矩阵进行提取主成分的分析。用回归法计算前3个主成分得分,并利用主成分得分作210个植株的散点图。

Q型聚类分析:采用Z分数法对原始数据进行标准化处理,计算两两样品之间欧氏距离系数,在这个系数下用组间连接(between-groups linkage)进行Q型聚类,得出树状图。

## 2 结果与分析

### 2.1 蒙古黄芪生物学性状的主成分分析

主成分分析是一种降维的统计方法,通过该方法可把观测的11个蒙古黄芪生物学性状指标

转化为少数几个综合指标即主成分,降低观测空间的维数,以获取最主要的信息.根据主成分得分绘制的散点图(图 1),反映了各供试蒙古黄芪

植株在二维平面和三维空间的分布情况,因而可以直观地判断出各样本的远近关系和分化状况.

表 2 蒙古黄芪 11 个生物学性状之间的 Pearson 相关矩阵

Table 2 Pearson correlation matrix of 11 biological characters of *A. membranaceus* var. *mongholicus*

性状代号	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
x1	1.000										
x2	0.330 **	1.000									
x3	0.032	-0.450 **	1.000								
x4	0.158 *	0.378 **	-0.239 **	1.000							
x5	0.017	0.016	0.000	-0.031	1.000						
x6	-0.082	-0.125 *	0.039	0.011	0.195 **	1.000					
x7	-0.083	0.032	-0.036	-0.025	0.779 **	0.181 **	1.000				
x8	-0.037	0.028	-0.031	-0.003	0.675 **	0.171 **	0.837 **	1.000			
x9	0.382 **	0.442 **	0.083	0.264 **	0.012	-0.113	-0.001	0.038	1.000		
x10	0.319 **	0.350 **	0.189 **	0.197 **	-0.041	-0.126	-0.006	0.029	0.641 **	1.000	
x11	0.307 **	-0.036	0.192 **	-0.386 **	0.077	0.014	0.043	0.054	0.091	0.105	1.000

注:性状代号同表 1. \*表示在 0.05 水平上相关显著,\*\*表示在 0.01 水平上相关显著(双尾检验).

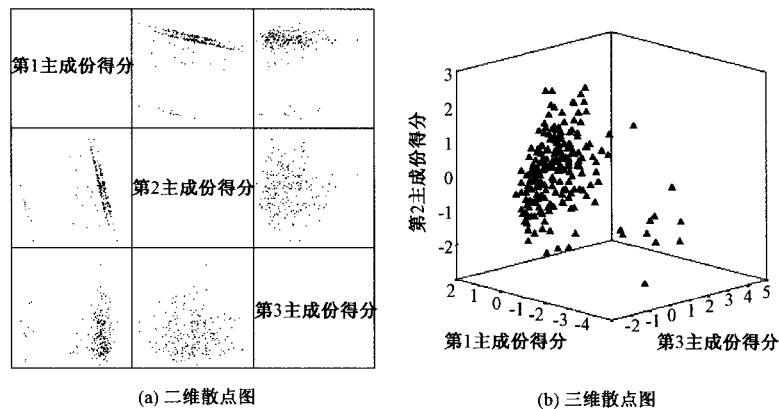


图 1 蒙古黄芪植株的主成分得分散点图

Fig. 1 Scatter plots of principal component analysis scores derived from the tested plants of *A. membranaceus* var. *mongholicus*

陇西栽培蒙古黄芪生物学性状的主成分分析(表 3)表明,前 4 个主成分的特征值均大于 1,但第 4 个主成分的贡献率小于 10%,分析价值不大,因而提取前 3 个主成分进行分析.

由表 4 可知,第 1 主成分中,负荷量绝对值较大的分量从大到小依次有果荚颜色、种子花纹和茎色.这 3 项指标的内容均与植株器官斑纹特征有关,因而第 1 主成分反映的是植株的斑纹分布情况.所有分量的值都为正值,说明这些指标的变化都与主成分一致.结合性状之间的关系矩阵

(表 2)、主成分得分散点图(图 1)及原始数据可以看出,所有供试蒙古黄芪植株性状的变化表现为 2 个不同的方向.一个方向表现为植株茎蔓及果荚纯绿色,种子上无花纹;另一个方向表现为植株茎蔓、果荚上多少具有红色斑纹,种子上具有花纹.第 1 主成分的分量中,果荚颜色具有最大的正向负荷量,对栽培蒙古黄芪形态类型的划分起主导作用,栽培黄芪自然类型识别过程中,应以此性状作为识别的主要依据.该主成分的 3 个负荷量较大的分量性状之间存在很大的正相关性,因

而在蒙古黄芪未结荚之前或果荚成熟后,可依据茎色和种子花纹对其进行初步鉴定识别。

表3 蒙古黄芪生物学性状主成分分析的特征值和贡献率

Table 3 Eigenvalues and contributive percentages based on the principal component analysis of biological characters of *A. membranaceus* var. *mongholicus*

主成分	特征值	贡献率/(%)	累计贡献率/(%)
1	2.6115	23.74	23.74
2	2.4613	22.38	46.12
3	1.7200	15.64	61.75
4	1.0779	9.80	71.55
5	0.9329	8.48	80.03
6	0.6650	6.05	86.08
7	0.4160	3.78	89.86
8	0.3562	3.24	93.10
9	0.3286	2.99	96.09
10	0.2952	2.68	98.77
11	0.1355	1.23	100.00

表4 11个生物学性状在前3个主成分中的负荷量

Table 4 Information loadings of 11 biological characteristics in the first 3 principal components

形态性状	第1主成分	第2主成分	第3主成分
株高	-0.1962	0.5809	0.3247
茎粗	-0.1680	0.7343	-0.3393
分株数	0.0156	-0.1604	0.7153
主茎分枝数	-0.1668	0.4833	-0.5640
茎色	0.8531	0.2324	0.0163
花色	0.3498	-0.1244	-0.0343
果荚颜色	0.9130	0.2409	-0.0407
种子花纹	0.8651	0.2702	-0.0188
根重	-0.1932	0.7861	0.2175
根粗	-0.2020	0.7070	0.3165
节间距	0.0817	0.0832	0.7202

第2主成分中负荷量绝对值较大的分量指标则包括根重、茎粗、根粗和株高。其中根重是直接的药材产量指标,根粗是构成药材产量的主要因素,株高和茎粗则分别是构成地上生物量的主要因素,因而第2主成分的实际意义是蒙古黄芪的生物量。这4个分量的负荷量也均为正值,说明

它们均与主成分的变化一致。结合这些性状的相关矩阵(表2)及主成分得分散点图(图1)可知,供试蒙古黄芪在这些性状上有较大变异幅度,有向2个方向分化的倾向。一是倾向于产量较低,植株矮小方向;一是倾向于产量较高,植株粗壮高大方向。农业生产实践最关心的是药材产量,同时根重分量具有绝对值最大的负荷量,因而根重是第2主成分的主要因子。由于这4个分量性状之间存在有显著的正相关性,因而在生产中可依据地上茎蔓的生长情况来推测该植株的地下药材生长情况;同时由于茎粗分量有仅次于根重的负荷量,故将茎粗作为该成分中的基本指标。

第3主成分中节间距、分株数和主茎分枝数等3个分量的负荷量绝对值较大,其中节间距具有最大的负荷量,而主茎分枝数和分株数也影响到分枝之间的距离,因而节间距是该成分所代表的实际意义。3个分量中,除主茎分枝数分量为负值外,其他2个分量均为正值,这是因为主茎分枝越多,其节间距越小。但节间距容易受栽培密度的影响,主茎分枝数则受生长时期的影响,而分株数受外界环境影响较小;同时在3个分量中,该性状也具有较大的负荷量,因而将植株分株的多少作为该成分的基本指标。

## 2.2 基于生物学性状的聚类分析

通过对210株栽培蒙古黄芪生物学性状资料进行Q型聚类分析(图2),结果在 $L_1$ 处把全部供试材料划分为A和B两大组群,其中组群A包括200个植株个体,占供试植株总数的95.24%;组群B仅包括10个植株个体,占供试植株总数的4.76%。由表5可知,组群A和组群B在茎色、果荚颜色、种子花纹及花色等性状上存在明显区别。组群B植株茎蔓及果荚纯绿色,种子上无花纹,蝶形花的旗瓣先端为淡黄色。组群A中97%植株的茎蔓上多少具有深浅不尽相同的红色斑纹,3%的植株茎蔓为纯绿色,无红色斑纹;果荚上分布有面积不等的红斑,至少其果柄为红色;95%的植株其所有种子上具有花纹,4%的植株同一植株内部分种子有花纹,部分种子无花纹,1%的植株其种子上无纹;41.5%植株的蝶形花旗瓣先端为淡黄色,58.5%植株的蝶形花旗瓣先端为红色。但2个组群在株高、茎粗、分株数、主茎分枝数、根重、根粗及节间距等性状上几乎不存在差别。可见,该2个组群的划分是以植株上斑纹的分布情

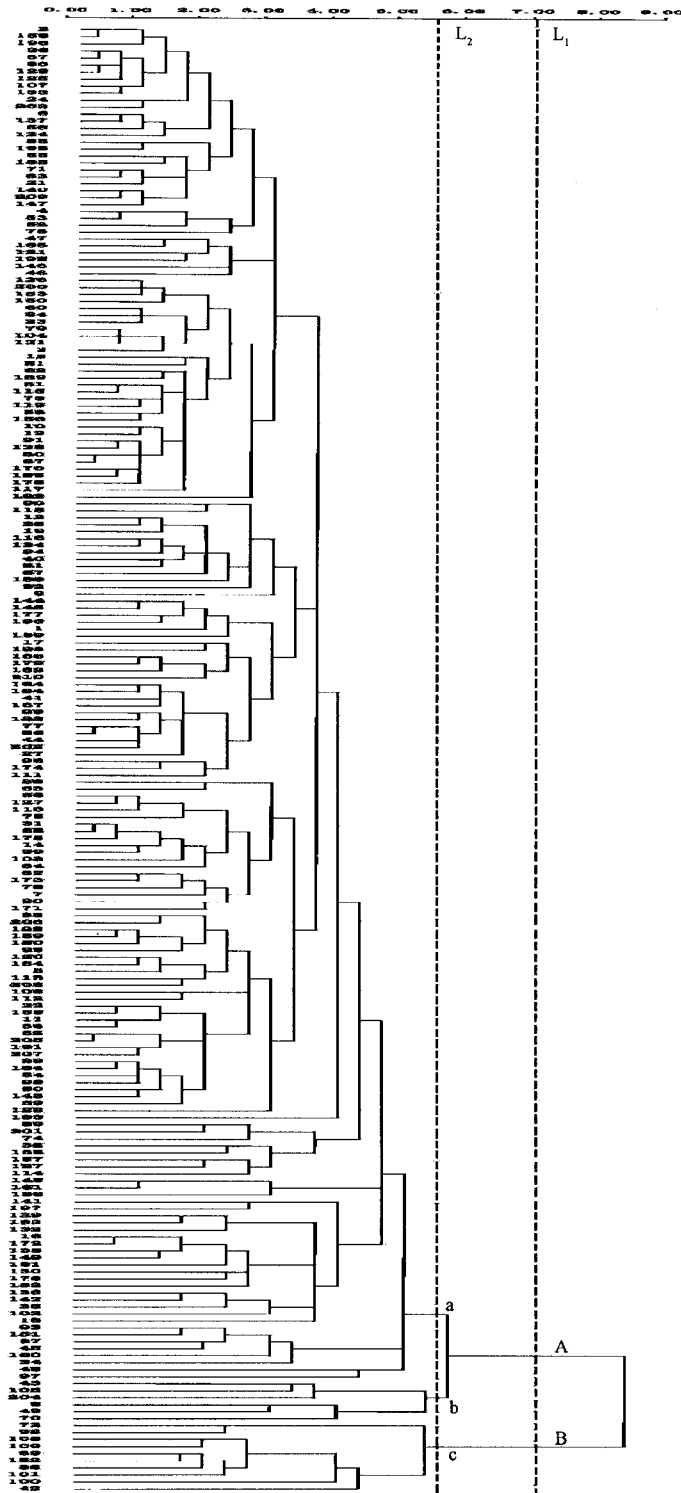


图 2 蒙古黄芪供试植株聚类树状图

Fig. 2 Dendrogram of 210 tested individuals of *A. membranaceus* var. *mongholicus*

况作为依据的,尤其是以果荚颜色作为主要依据.

在  $L_2$  处可将组群 A 进一步划分成 a 和 b 2 个亚组群,亚组群 a 包括 194 个植株个体,占供试植株总数的 92.38%,亚组群 b 仅包括 6 个植株

个体,占供试植株总数的 2.86%. 亚组群 a 植株茎蔓及果荚多少具有深浅不尽相同的红色斑纹;仅有 1.03% 的植株其种子上不具花纹,3.61% 的植株同一植株内部分种子有花纹,部分种子无花

纹,其余 95.36% 的植株其种子上分布有花纹; 42.27% 植株的蝶形花先端为红色,57.73% 植株的蝶形花先端为淡黄色. 亚组群 b 植株茎蔓为纯绿色,无红色斑纹;果荚上多少具有红色斑纹;除 1 个植株的部分种子有纹,部分种子无纹外,其余

植株的所有种子上均分布有花纹;蝶形花先端淡黄色或红色. 2 个亚组群在其他数量性状上仍不存在显著差异(表 5). 可见,这 2 个亚组群的划分仍是以斑纹性状作为依据,但以茎蔓颜色作为区别的主要依据.

表 5 各组群及亚组群的形态性状的统计结果

Table 5 Statistic data of biological characters of each group or subgroup of *A. membranaceus* var. *mongholicus*

组群及亚组群	株高	茎粗	分株数	主茎分枝数	茎色	花色	果荚颜色	种子花纹	根重	根粗	节间距
A	36.47	4.69	1.50	10.40	0.97	0.42	1.00	2.94	9.87	8.05	1.49
B	38.71	4.58	1.60	10.70	0.00	0.00	0.00	1.00	9.89	8.59	1.47
a	36.61	4.69	1.50	10.39	1.00	0.42	1.00	2.94	9.89	8.04	1.49
b	32.13	4.75	1.33	10.67	0.00	0.17	1.00	2.83	9.41	8.50	1.35
c	38.71	4.58	1.60	10.70	0.00	0.00	0.00	1.00	9.89	8.59	1.47

从生物学性状间相关矩阵(表 2)可知,果荚颜色、种子花纹、茎色等质量性状同其他数量性状如株高、茎粗、分株数、主茎分枝、根重、根粗及节间距等之间几乎不存在相关关系,因而以斑纹性状作为依据所划分出的组群及亚组群间在以上数量性状上不存在明显差异.

主成分分析和聚类分析均表明,陇西栽培蒙古黄芪在生物学性状上具有较大的变异性,尤其在果荚颜色、种子花纹及茎色等性状上具有显著分化,因而该地栽培蒙古黄芪是一个复杂的异质群体.

### 3 讨论

主成分分析及 Q 型聚类分析证明,陇西栽培蒙古黄芪在生物学性状上已明显变异,并向不同方向分化,进一步说明该地蒙古黄芪存在较为严重的混杂情况,这与前期的研究结果相一致<sup>[6-7]</sup>.

本文通过聚类分析,将蒙古黄芪划分成不同的组群或亚组群,各组群或亚组群在形态性状上具有各自的特点,并与其他组群或亚组群之间有明显区别特征,因而可将各组群或亚组群作为蒙古黄芪的自然类型. 因亚组群 a 植株茎蔓及果荚均或多或少具有红色斑纹,亚组群 b 植株茎蔓纯绿色不具红色斑纹而果荚有红色斑纹,亚组群 c 植株茎蔓及果荚均为纯绿色不具红色斑纹,故将亚组群 a 植株命名为红色类型,以 R 表示;将亚组群 c 植株命名为绿色类型,以 G 表示;将亚组

群 b 植株命名为红荚绿茎类型,以 RG 表示;而将亚组群 a 和 b 组成的组群 A 命名为红色果荚型,以 RP 表示.

主成分分析表明,陇西栽培蒙古黄芪在药材产量上有分化的倾向,因而可能在当地蒙古黄芪中选育出高产类型. 同时由于根重、根粗等产量相关指标都和果荚颜色、种子花纹、茎色等斑纹性状无关(表 2),因而以这些斑纹相关性状划分出的 3 种主要自然类型中不存在高产类型,但每个自然类型中均有进一步选育出高产类型的可能.

白效令等<sup>[9-10]</sup>发现蒙古黄芪在茎杆上存在红色与绿色之分,种子上有黑、棕、绿 3 种颜色,均是利用蒙古黄芪某种单一性状对其种内变异进行类型划分. 本文通过多元统计方法对陇西栽培蒙古黄芪多种生物学性状进行综合分析,使得划分出的各自然类型内的植株个体在多种性状上具有一致性或相似性,避免了单一性状划分的笼统性,同时也使得对划分出的自然类型的认识更加全面,从而更加有利于对陇西栽培蒙古黄芪进行优质种质的选育.

### 参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 42 卷,第一分册)[M]. 北京:科学出版社,1993:131-133.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 2010 年版(一部)[S]. 北京:中国医药科技出版社,2010:283-284.
- [3] 徐良. 中国名贵药材规范化栽培与产业化开发新技术[M]. 北京:中国协和医科大学出版社,2001:169.

- [4] Liang W. Qualitative investigation on different areas and medicinal parts of Radix Astragali [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2008, 19(2):432-433 (in Chinese).  
梁伟. 不同产地黄芪及其药用部位的质量考察[J]. 时珍国医国药, 2008, 19(2):432-433.
- [5] Lin L, Yang F D, Li S, et al. Quality comparison of Radix Astragali from seven regions of Gansu [J]. Journal of TCM Univ of Hunan, 2009, 29(4):24-26 (in Chinese).  
林丽, 杨扶德, 李硕, 等. 甘肃 7 个不同产地蒙古黄芪质量的比较研究[J]. 湖南中医药大学学报, 2009, 29(4):24-26.
- [6] Xie X L, Wang X S, Zhao L, et al. Morphotype diversity of *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2004, 32(6):1203-1204 (in Chinese).  
谢小龙, 王溪森, 赵利, 等. 陇西栽培蒙古黄芪原植物形态多样性研究[J]. 安徽农业科学, 2004, 32(6):1203-1204.
- [7] Xie X L, Hu Y P, Zhao X D, et al. Numerical analysis of esterase isozymes in seeds of *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao cultivated in Longxi county [J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2007, 24(4):525-529 (in Chinese).  
谢小龙, 胡延萍, 赵旭东, 等. 陇西栽培蒙古黄芪酯酶同工酶数量分析[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(4):525-529.
- [8] 卢纹岱 主编. SPSS for Windows 统计分析软件[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2002:311-374.
- [9] Bai X L, Zhang L, Qiao Y X, et al. On the ultrastructure of Mongolian Milkvetch (*Astragalus mongholicus*) and a comparison of their isozymes and lipase [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 1994, 25(9):479-481 (in Chinese).  
白效令, 张莉, 乔燕祥, 等. 黄芪超微结构观察及其脂酶同工酶比较[J]. 中草药, 1994, 25(9):479-481.
- [10] 白效令, 倪娜, 屈静, 等. 蒙古黄芪种子间差异的研究[C] // 山西省植物学会, 山东省植物学会, 河北省植物学会, 等. 北方植物学研究(第一集). 天津: 南开大学出版社, 1993:40-45.

(上接第 453 页)

类似地, 根据定理 2.1 和引理 2.3, 可得到如下定理.

**定理 2.2** 设  $A, B \in B(H)$ , 则对任意的  $K \in \kappa(H \oplus H)$ , 且对任意的  $C \in B(H)$ ,  $M_C + K \in (SVEP)$  当且仅当下述条件同时成立:

- 1) 对任意的  $K \in \kappa(H)$ , 有  $A + K \in (SVEP)$ ,  $B + K \in (SVEP)$ ;
- 2)  $\rho_{SF}(A) \cap \rho_{SF}(B)$  连通.

### 参考文献

- [1] Aiena P. Fredholm and Local spectral theory, with applications to multipliers[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [2] Laursen K B, Neumann M M. An introduction to Local spectral theory[M]. New York: The Clarendon Press, 2000.
- [3] Finch J K. The single valued extension property on a Banach space[J]. Pacific Journal of Mathematics, 1975, 58: 61-69.
- [4] Harte R E. Invertibility and singularity for bounded linear operators[M]. New York: Dekker, 1988.
- [5] Harte R E. Fredholm, weyl and browder theory [J]. Proceedings of the Royal Irish Academy, 1985, 85A(2): 151-176.
- [6] Tian J H, Cao X H. Perturbations of the spectra of upper triangular operator matrices [J]. Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition, 2009, 37(2): 6-12 (in Chinese).  
田俊红, 曹小红. 上三角算子矩阵的谱扰动[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2009, 37(2): 6-12.
- [7] Dai L, Cao X H. The single valued extension property and generalized property ( $\omega$ ) [J]. Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition, 2011, 39(2): 17-22 (in Chinese).  
戴磊, 曹小红. 单值延拓性质与广义( $\omega$ )性质[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2011, 39(2): 17-22.
- [8] Zhu S, Li G L. SVEP and compact perturbations[J]. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 2011, 380(1): 69-75.
- [9] Herrero D A. Approximation of Hilbert space operators[M]. Harlow: Longman Scientific and Technical, 1989.