

国外紫花苜蓿种质资源表型性状与品质多样性分析

吴欣明¹, 郭璞¹, 池惠武¹, 方志红¹, 石永红¹, 王运琦¹, 刘建宁¹, 王赞², 王学敏²

(¹ 山西省农业科学院畜牧兽医研究所, 太原 030032; ² 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193)

摘要: 本研究旨在利用形态指标、农艺性状指标和品质性状指标探讨引进紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 种质资源的遗传多样性, 为紫花苜蓿品种改良和亲本选择提供科学依据。研究了不同地理来源的 75 份紫花苜蓿种质资源的 21 项指标, 并利用主成分分析和聚类分析方法分析其多样性。结果表明, 不同紫花苜蓿种质的各个特征存在广泛变异, 农艺性状变异最大, 其次是形态性状和品质性状; 主成分分析结果显示前 8 个主成分累计贡献率达到 82.7748%, 其中茎秆干重、单株干重、单株鲜重、叶干重 4 个性状是构成紫花苜蓿种质表型差异的主要因素; 以 21 个性状为基础的聚类分析将所研究的 75 份种质材料分为 5 类, 其中第 II 类群的 3 号材料和第 I 类群的 25、31 号材料农艺性状表现较好, 可以作为苜蓿新品种选育和改良的优异亲本材料。

关键词: 紫花苜蓿; 形态性状; 农艺性状; 品质性状; 变异分析

Diversity Analysis of Phenotypic Traits and Quality Characteristics of Alfalfa (*Medicago sativa*) introduced from abroad Germplasm Resources

WU Xin-ming¹, GUO Pu¹, CHI Hui-wu¹, FANG Zhi-hong¹, SHI Yong-hong¹,

WANG Yun-qi¹, LIU Jian-ning¹, WANG Zan², WANG Xue-min²

(¹ Animal Husbandry and Veterinary Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030032; ² Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193)

Abstract: The objective of this research is to explore the genetic diversity of alfalfa germplasm resources by morphological traits, agronomic traits, quality traits and to provide basis for variety improvement and parent choice. Total of 21 traits were investigated on 75 alfalfa accessions which were collected from different geographical areas. The 21 traits were analyzed by principal component analysis and cluster analysis. The results showed that there were extensive variations in morphological traits, agronomic traits, and quality traits in different alfalfa accessions. The most significant variance was agronomic traits, followed by morphological traits and quality traits. Principal component analysis showed that the additive contributing rate of first eight principal components was 82.7748%, four major discriminating characteristics were selected to reflect the comprehensive agronomic characters. Stem dry weight, leaf dry weight, plant fresh weight and plant dry weight were the main factors which produced morphological variation of 75 wild alfalfa accessions. Based on the 21 indexes, cluster analysis showed that all 75 accessions of alfalfa were divided into 5 groups. The No. 3 of the second group and No. 25, No. 31 accessions of the first group had better agronomic traits compared to others, which could be excellent parent materials for the breeding and improvement of *Medicago sativa* L.

Key words: alfalfa; morphological traits; agronomic traits; quality traits; diversity analysis

苜蓿属 (*Medicago* L.) 是全球范围内重要的栽培豆科牧草之一, 其适应性广、高产、稳产, 具有提高土

壤肥力和较高的饲用价值, 被誉为“牧草之王”。苜蓿属分布范围主要在北半球 30° ~ 60° N, 南半球

收稿日期: 2017-03-14 修回日期: 2017-07-12 网络出版日期: 2017-12-26

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20171226.1512.018.html>

基金项目: 国家国际科技合作专项 (2015DFR30570-4); 山西省农业科学院育种工程项目 (17yzgc113); 现代农业牧草产业技术体系建设专项 (CARS-35-25); 农作物种质资源保护与利用专项 (2016NWB036-30)

第一作者研究方向为牧草种质资源与育种。E-mail: wuxinming05@163.com

通信作者: 石永红, 主要从事牧草栽培与育种, E-mail: shiyhoo7@126.com

20°~45°S 的范围内,其中北美洲、欧洲中南部和亚洲的中国和前苏联南部是苜蓿主产区,南半球只有阿根廷、澳大利亚、新西兰等国家种植苜蓿^[1]。苜蓿属植物全世界约 60 多种^[2],为一年生或多年生草本植物,且多数为野生植物,少数引入栽培^[3]。卢欣石^[4]提出我国苜蓿属内的植物种数(包括亚种和变种)总计应为 46 个,其中我国苜蓿属野生多年生种数为 30 个(包含 12 个变种,1 个亚种),一年生种数 5 个,由国外引进的种数为 11 个。依据国家牧草种质资源库数据显示,截至 2013 年底收集到的紫花苜蓿品种及种质资源 1434 份,杂花苜蓿 963 份,黄花苜蓿 96 份,苜蓿属其他种 298 份,正是由于苜蓿栽培范围广、数量大,一直以来苜蓿属都是研究的热点。

目前,关于苜蓿种质资源遗传多样性的研究已有较多报道,主要是从形态资源方面和利用各种分子标记来分析评价国内外苜蓿野生种质及部分品种资源的遗传多样性。耿慧等^[5]将 17 个国内外苜蓿品种依据农艺性状和品质性状分为 5 类,国内品种农艺性状具有优势,但品质较差;而国外品种则在品质性状上表现更突出。武自念等^[6]对 12 份苜蓿种质资源 6 个农艺性状的主成分与聚类分析表明,一类材料适合南方条件种植,可进一步作为南方筛选苜蓿品种的基础,另两类材料仅某些方面可作为改良亲本。不同研究者主要依据农艺性状和品质性状对不同来源苜蓿品种进行分析,农艺性状是遗传研究的基础和筛选新品种的重要手段,具有操作简便实用,是有效培育苜蓿新品种的基本研究方法之一,对实现稳产和高质具有重要意义。魏臻武等^[7]在苜蓿基因组 SSR 和 ISSR 分析基础上,筛选出 8 对 SSR 引物和 12 个 ISSR 随机引物。在 55 个国内外苜蓿品种(系)中获得 126 个多态性位点,并将 55 个苜蓿种质划分为 4 个大类群和 7 个类型,为苜蓿引种、亲本选配和种质资源评价提供依据。尽管我国收集的苜蓿种质资源数量在逐年增加,但对其遗传多样性和不同资源群间的异同点尚缺乏足够的认识。本研究结合本课题组目前实施的牧草种质资源引进项目,从农艺性状和品质性状角度分析国外苜蓿种质遗传多样性特点,对于充分发掘和利用现有国外苜蓿种质资源,合理选配亲本、拓宽国内苜蓿品种遗传基础,构建苜蓿核心种质等均具有十分重要的意义,为后续苜蓿选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及试验地概况

1.1.1 试验材料 供试的 75 份野生紫花苜蓿材料

从全俄瓦维洛夫植物栽培研究所引进,其中包括来自哈萨克斯坦 48 份(编号为 8~19,40~75),俄罗斯 4 份(编号为 36~39),亚美尼亚 4 份(编号为 1~4),匈牙利 3 份(编号为 5~7),吉尔吉斯斯坦 10 份(编号为 20~29),葡萄牙 3 份(编号为 30~32),保加利亚 3 份(编号为 33~35),总计 75 份。所有种质材料均由中国农业科学院北京畜牧兽医研究所提供(表 1)。

1.1.2 试验地概况 试验地位于山西省农业科学院畜牧兽医研究所清徐实验基地,地理坐标为 112°46'E,37°59'N,海拔 780 m。土壤为弱碱性潮壤土,pH 8.13。 Cl^- 含量 0.631 g/kg, SO_4^{2-} 含量 1.020 g/kg, Na^+ 含量 0.566 g/kg。年降雨量 462 mm,年平均气温 9.6~10.2℃。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验采用随机区组设计,小区面积为 10 m²(5 m×2 m)。每小区经育苗移栽 50 棵单株,3 次重复。2013 年 7 月进行育苗,9 月初移栽进入大田,2014 年、2015 年 5-10 月进行数据采集。

1.2.2 性状调查测定 参照《苜蓿种质资源描述规范和数据标准》^[8-9]的方法对所有苜蓿种质的表型性状进行调查分析。现蕾期至开花初期对每份种质材料进行以下 21 项性状指标的观测,其中包括 8 项形态性状指标,分别为茎节数、茎直径、茎分枝、叶长、叶宽、花序长、花序宽、花数(枚/花序),且这 8 项指标采用计数和直尺或游标卡尺测量;7 项农艺性状指标,分别为单株鲜重、单株干重、株高、茎秆干重(单株)、叶干重(单株)、茎叶比、鲜干比,这 7 项指标用电子天平称重和卷尺测定;6 项品质性状指标,分别为干物质含量、粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、灰分,这 6 项指标采用常规养分分析方法^[10]计算。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 处理各性状的数据,并计算各性状的最大值、最小值、平均值和变异系数。各性状的遗传多样性采用 Shannon's 信息指数(H')进行评价^[11],计算见公式(1)。

$$H' = -\sum P_i \times \ln P_i \quad (1)$$

其中, P_i 表示第 i 种变异类型出现的频率,用所有相应性状 H' 的平均值表示一组或所有种质的遗传多样性程度^[12]。利用 DPS 16.5^[13]软件进行主成分分析;采用 UPGMA 法进行聚类分析,并绘制分类树状图。隶属函数计算见公式(2)。

$$R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

式中, X_i 为指标测定值; X_{\max} 、 X_{\min} 为所有参试材

料某一指标的最大值和最小值。

表 1 试验材料及来源地

Table 1 Experiment materials and origin

序号 Serial number	原始编号 Original number	来源地 Origin	序号 Serial number	原始编号 Original number	来源地 Origin	序号 Serial number	原始编号 Original number	来源地 Origin
1	4-10619	亚美尼亚	26	26-11458	吉尔吉斯斯坦	51	4-13614	哈萨克斯坦
2	4-10628	亚美尼亚	27	26-11463	吉尔吉斯斯坦	52	4-13621	哈萨克斯坦
3	4-10634	亚美尼亚	28	28-11505	吉尔吉斯斯坦	53	4-13630	哈萨克斯坦
4	4-10647	亚美尼亚	29	28-11519	吉尔吉斯斯坦	54	4-13636	哈萨克斯坦
5	6-10694	匈牙利	30	28-11523	葡萄牙	55	4-13648	哈萨克斯坦
6	6-10701	匈牙利	31	28-11529	葡萄牙	56	5-13657	哈萨克斯坦
7	6-10708	匈牙利	32	28-11541	葡萄牙	57	5-13675	哈萨克斯坦
8	12-10914	哈萨克斯坦	33	17-12624	保加利亚	58	5-13684	哈萨克斯坦
9	12-10942	哈萨克斯坦	34	17-12634	保加利亚	59	6-13689	哈萨克斯坦
10	15-11031	哈萨克斯坦	35	17-12654	保加利亚	60	6-13695	哈萨克斯坦
11	15-11041	哈萨克斯坦	36	18-12664	俄罗斯	61	6-13705	哈萨克斯坦
12	15-11058	哈萨克斯坦	37	18-12679	俄罗斯	62	6-13715	哈萨克斯坦
13	15-11066	哈萨克斯坦	38	18-12685	俄罗斯	63	6-13722	哈萨克斯坦
14	16-11068	哈萨克斯坦	39	18-12655	俄罗斯	64	7-13759	哈萨克斯坦
15	16-11094	哈萨克斯坦	40	1-13507	哈萨克斯坦	65	8-13762	哈萨克斯坦
16	17-11106	哈萨克斯坦	41	1-13519	哈萨克斯坦	66	8-13768	哈萨克斯坦
17	17-11120	哈萨克斯坦	42	1-13532	哈萨克斯坦	67	8-13777	哈萨克斯坦
18	17-11130	哈萨克斯坦	43	2-13544	哈萨克斯坦	68	8-13789	哈萨克斯坦
19	17-11139	哈萨克斯坦	44	2-13555	哈萨克斯坦	69	8-13797	哈萨克斯坦
20	25-11404	吉尔吉斯斯坦	45	2-13565	哈萨克斯坦	70	12-13924	哈萨克斯坦
21	25-11413	吉尔吉斯斯坦	46	2-13570	哈萨克斯坦	71	12-13930	哈萨克斯坦
22	25-11420	吉尔吉斯斯坦	47	3-13583	哈萨克斯坦	72	12-13939	哈萨克斯坦
23	25-11431	吉尔吉斯斯坦	48	3-13592	哈萨克斯坦	73	12-13948	哈萨克斯坦
24	26-11438	吉尔吉斯斯坦	49	3-13602	哈萨克斯坦	74	12-13955	哈萨克斯坦
25	26-11451	吉尔吉斯斯坦	50	3-13611	哈萨克斯坦	75	12-13961	哈萨克斯坦

2 结果与分析

2.1 苜蓿资源形态多样性分析 对 75 份紫花苜蓿种质资源 8 个形态性状的遗传多样性统计分析结果表明(表 2),紫花苜蓿种质资源表现出广泛的变异,在形态性状中变异系数大于 20% 的是茎分枝 34.2%,叶宽 24.59%。其余 6 个性状叶长、花数、花序宽、茎直径、花序长、茎节数的变异系数分别为 19.62%、18.75%、16.84%、15.74%、14.99%、13.98%。75 份材料中茎分枝数 45 以上的有 10 份,材料序号分别为 1、2、4、20 ~

23、46、50、53。多样性指数在 1.992 ~2.065 之间。

2.2 苜蓿资源农艺性状分析 7 个农艺性状的遗传多样性统计分析结果表明(表 2),茎秆干重变异系数最大,为 58.65%,其他依次为单株干重、单株鲜重和叶干重,茎叶比、鲜干比和株高变异较小。其中单株鲜重在 600 g 以上的有 14 份,分别来自亚美尼亚 3 份(材料序号 2、3、4),匈牙利 1 份(序号 6),哈萨克斯坦 5 份(序号 16、56、61、67、71),吉尔吉斯斯坦 4 份(序号 25、26、27、30),葡萄牙 1 份(序号 31)。单株干重大于 200 g 以上的有 6 份材料,分别来自于亚美尼亚 2 份(序号 2、3),

匈牙利 1 份(序号 6), 哈萨克斯坦 1 份(序号 16), 吉尔吉斯斯坦 1 份(材料序号 25), 葡萄牙 1 份(序号 31)。

表 2 75 份紫花苜蓿资源 21 项指标的基本参数表

Table 2 Results of basic statistics of 21 index in 75 alfalfa germplasm resources

分类	性状	最大值	最小值	平均值	标准差	变化幅度	变异系数(%)	多样性指数
Classification	Traits	Max.	Min.	Mean	SD	Change range	CV	H'
形态性状 Morphological traits	茎节数 SNN	27.600	14.600	20.819	2.911	13.000	13.98	2.065
	茎直径(mm)SD	5.500	2.420	4.083	0.643	3.080	15.74	2.050
	茎分枝 SB	65.200	15.500	32.748	11.200	49.700	34.20	1.992
	叶长(cm)LL	3.900	1.620	2.662	0.522	2.280	19.62	2.033
	叶宽(cm)LW	2.340	0.620	1.154	0.284	1.720	24.59	2.017
	花序长(cm)IL	5.660	2.680	3.725	0.559	2.980	14.99	2.008
	花序宽(cm)IW	2.340	1.160	1.690	0.285	1.180	16.84	2.062
农艺性状 Agronomic traits	花数(枚/花序)FN	47.400	17.400	28.720	5.386	30.000	18.75	2.000
	单株鲜重(g)PFW	1211.00	133.00	449.700	223.542	1078.000	49.71	1.939
	茎秆干重(g)SDW	163.700	12.500	54.365	31.884	151.200	58.65	1.757
	叶干重(g)LDW	144.900	19.700	50.149	24.659	125.200	49.17	1.773
	单株干重(g)PDW	308.600	32.200	104.515	55.505	276.400	53.11	1.793
	茎叶比 SLR	1.866	0.540	1.060	0.238	1.326	22.86	2.015
	鲜干比 FDR	5.278	2.281	4.336	0.596	2.996	13.75	1.989
品质性状 Quality trait	株高(cm)PH	104.300	46.500	80.918	11.483	57.800	14.19	2.052
	干物质含量(%)DM	96.760	92.047	94.271	1.336	4.713	1.42	2.020
	粗蛋白(%)CP	25.970	15.606	21.974	2.112	10.364	9.61	2.065
	粗脂肪(%)EE	4.794	0.045	2.048	1.158	4.749	56.55	1.847
	中性洗涤纤维(%)NDF	51.783	31.169	39.849	4.156	20.615	10.43	2.055
	酸性洗涤纤维(%)ADF	36.884	21.606	27.360	2.969	15.278	10.85	1.755
	灰分(%)ASH	11.485	7.510	9.349	0.969	3.975	10.37	2.035

SNN; Stem node number, SD; Stem diameter, SB; Stem branch, LL; Leaf length, LW; Leaf width, IL; Inflorescence length, IW; Inflorescence width, PFW; Plant fresh weight, SDW; Stem dry weight, LDW; Leaf dry weight, PDW; Plant dry weight, SLR; Stem leaf ratio, FDR; Fresh dry ratio, PH; Plant height, DM; Dry matter, CP; Crude protein, EE; Ether extract, NDF; Neutral detergent fiber, ADF; Acid detergent fiber, ASH; Ash. The same as below

茎秆干重大于 80 g 的有 10 份, 分别来自亚美尼亚 3 份(序号 2、3、4), 匈牙利 1 份(序号 6), 哈萨克斯坦 2 份(序号 16、61), 吉尔吉斯斯坦 3 份(序号 25、26、27), 葡萄牙 1 份(序号 31)。3 号、25 号和 31 号材料在单株产量等农艺性状方面具有优势。

2.3 苜蓿资源品质性状分析 6 个品质性状的遗传多样性统计分析结果表明(表 2), 粗脂肪变异系数最大, 达到 56.55%, 最大值 4.794%, 最小值 0.045%。其次是酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维、灰分、粗蛋白以及干物质含量, 其中酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维、灰分含量均在 10% 以上。粗蛋白含量最高为 25.970%, 最低为 15.606%。粗蛋白含量大于 23% 以上有 29 份材料, 分别来自于哈萨克斯坦 23 份(序号 10、12、17、19、40、42、44~48、51~55、57、60、63、66、68、70、71), 保加利亚和俄罗斯各 2 份(序号 33、35 和 37、39), 匈牙利和吉尔吉斯斯坦各 1 份(序号 7、23)。

2.4 苜蓿隶属函数分析 隶属函数分析更多立足于多元指标基础之上进行综合评价, 从而提高了其评价的准确性, 能更好地反应不同材料间的真实情况, 避免了评价出现偏颇。由表 3 可知, 75 份苜蓿材料的隶属函数均值介于 0.2~0.65 之间, 大于等于 0.55 的材料序号分别为 2、3、4、25、29、31, 其中 3 号材料最高为 0.63, 分析其原因这份材料在表型和农艺性状上均具有优势, 尤其是单株产量, 但蛋白质含量比较低。隶属函数均值介于 0.4~0.55 之间的材料有 35 份, 材料序号为 6、7、10~16、18、20~24、26~28、30、32、41、43、49、55、56、58、61、64、65、67~72。介于 0.3~0.4 之间的材料有 29 份, 材料序号为 1、5、9、17、18、33、35~40、42、45~48、51~54、57、59~60、63、66、70、73~74。0.2~0.3 之间的材料有 5 份, 材料序号为 8、34、44、50、62。这 5 份材料在农艺性状上不具有优势, 但蛋白含量较高。

表 3 75 份紫花苜蓿 21 项指标的隶属函数均值

Table 3 Subordinate function analysis of 21 index in 75 alfalfa germplasm resources

序号 No.	隶属函数均值 SF	序号 No.	隶属函数均值 SF	序号 No.	隶属函数均值 SF	序号 No.	隶属函数均值 SF
1	0.39	20	0.45	39	0.33	58	0.42
2	0.58	21	0.45	40	0.35	59	0.33
3	0.63	22	0.51	41	0.41	60	0.34
4	0.59	23	0.51	42	0.33	61	0.44
5	0.39	24	0.51	43	0.45	62	0.29
6	0.53	25	0.59	44	0.27	63	0.32
7	0.41	26	0.54	45	0.38	64	0.44
8	0.28	27	0.50	46	0.34	65	0.45
9	0.38	28	0.48	47	0.38	66	0.38
10	0.45	29	0.55	48	0.37	67	0.48
11	0.51	30	0.42	49	0.42	68	0.45
12	0.52	31	0.57	50	0.29	69	0.44
13	0.50	32	0.54	51	0.31	70	0.40
14	0.52	33	0.38	52	0.33	71	0.48
15	0.42	34	0.25	53	0.39	72	0.45
16	0.50	35	0.31	54	0.36	73	0.32
17	0.39	36	0.36	55	0.47	74	0.38
18	0.42	37	0.37	56	0.43	75	0.39
19	0.36	38	0.31	57	0.35		

2.5 主成分分析

以特征值大于 0.8 为标准提取主成分,结果显示(表 4)在 21 个主成分中,前 8 个主成分累积贡献率达 82.7748%,足以代表原始因子所代表的大部分信息。第 1 主成分贡献率为 32.0201%,作用最大的性状包括茎秆干重(0.3093)、单株干重(0.2917)、粗蛋白(−0.2836)、酸性洗涤纤维(0.3142)、中性洗涤纤维(0.2918);第 1 主成分主要反映的是 2 项农艺性状指标和 3 项品质性状指标。第 2 主成分贡献率为 13.3437%,作用最大的性状分别为单株鲜重(0.4148)、单株干重(0.3631)、叶干重(0.3828)和茎秆干重(0.3360);第 2 主成分主要反映的是 4 项农艺性状指标。第 3 主成分贡献率为 10.6874%,主要性状分别为茎分枝(0.4045)、花序宽(−0.3899)、茎叶比(0.3236)、鲜干比(0.3009)、株高(0.3168)和粗脂肪(−0.3553)。第 3 主成分反映的是 2 项形态性状指标、3 项农艺性状指标和 1 项品质性状指标。第 4 主成分贡献率为 7.6642%,作用最大的性状为叶长(0.3653)、叶宽(0.3215)、花序长(0.3714)和花数(0.4639);第 4 主成分反映的是 4 项形态指标。第 5

主成分贡献率为 5.4414%,作用最大的性状分别为茎直径(0.3486)、花数(−0.2992)、鲜干比(0.3586)、干物质(0.3836)、粗脂肪(0.3520)和中性洗涤纤维(0.3206);第 5 主成分反映的是 2 项形态指标、1 项农艺性状指标、3 项品质性状指标。第 6 主成分贡献率 5.2237%,作用最大的性状依次为茎节数(0.7161)、花数(−0.3136)、鲜干比(0.2902)、花序长(0.2813)、茎直径(−0.2165);第 6 主成分反映的是 4 项形态指标、1 项农艺性状指标。第 7 主成分贡献率为 4.4240%,作用最大的性状依次为花序长(0.5426)、茎节数(−0.3959)、茎直径(−0.3422)、鲜干比(0.2907)、灰分(−0.2847);第 7 主成分反映的是 3 项形态指标、1 项农艺性状指标和 1 项品质性状指标。第 8 主成分贡献率为 3.9698%,作用最大的性状依次为茎分枝(−0.5329)、茎直径(0.4466)、粗脂肪(−0.3223)、茎节数(0.3144)、茎叶比(0.2534);第 8 主成分反映的是 3 项形态指标、1 项农艺性状指标和 1 项品质性状指标。

表 4 紫花苜蓿种质资源的主成分分析

Table 4 The contribution rate of the principal component analysis of alfalfa germplasm resources

性状 Traits	主成分 Principal component							
	1	2	3	4	5	6	7	8
茎节数 SNN	0.0830	-0.1063	0.0945	-0.0864	-0.1300	0.7161	-0.3959	0.3144
茎直径 SD	0.1839	-0.0869	0.0014	0.1649	0.3486	-0.2165	-0.3422	0.4466
茎分枝 SB	0.1239	-0.0961	0.4045	-0.1557	-0.1118	0.1586	0.0418	-0.5329
叶长 LL	0.1879	-0.2852	0.1172	0.3653	-0.1431	0.1378	-0.1994	-0.1684
叶宽 LW	0.2298	-0.1814	0.1410	0.3215	-0.1925	-0.0939	-0.2395	-0.1390
花序长 IL	0.1070	-0.0591	-0.2109	0.3714	-0.1181	0.2813	0.5426	0.2117
花序宽 IW	0.1340	-0.2569	-0.3899	-0.2029	-0.1238	0.1969	0.1309	0.1600
花数(枝/花序)FN	0.0915	-0.1348	0.1017	0.4639	-0.2992	-0.3136	0.1546	0.1472
单株鲜重 PFW	0.2657	0.4148	-0.0309	0.0713	-0.0138	0.0936	0.0084	-0.0190
茎秆干重 SDW	0.3093	0.3360	-0.0591	-0.0213	-0.1297	0.0072	-0.0178	0.0069
叶干重 LDW	0.2566	0.3828	-0.1871	0.0601	-0.1218	0.0032	-0.1179	-0.1285
单株干重 PDW	0.2917	0.3631	-0.1171	0.0145	-0.1286	0.0055	-0.0626	-0.0531
茎叶比 SLR	0.2324	0.0193	0.3236	-0.2086	-0.0267	-0.0109	0.2270	0.2534
鲜干比 FDR	-0.0887	0.2115	0.3009	0.2743	0.3586	0.2902	0.2907	0.0375
株高 PH	0.2560	-0.1010	0.3168	-0.0288	0.1756	0.0761	0.1510	-0.0360
干物质 DM	0.2006	-0.1635	-0.2425	0.1845	0.3836	0.0960	-0.0877	-0.2284
粗蛋白 CP	-0.2836	0.1676	0.0067	0.2246	0.1312	0.1841	0.0823	-0.1063
粗脂肪 EE	0.1423	-0.1340	-0.3553	0.0603	0.3520	0.0708	0.0169	-0.3223
中性洗涤纤维 NDF	0.2918	-0.0731	0.0433	-0.1676	0.3206	-0.0936	0.1227	0.0555
酸性洗涤纤维 ADF	0.3142	-0.0423	0.1699	-0.1145	0.1769	-0.1226	0.0618	0.1106
灰分 ASH	-0.2207	0.2675	0.1497	0.2277	0.2046	0.0154	-0.2847	0.0930
特征值 Eigenvalue	6.72422	2.80219	2.24435	1.60957	1.14270	1.09700	0.92904	0.83366
贡献率(%) Contributive rate	32.0201	13.3437	10.6874	7.6646	5.4414	5.2237	4.4240	3.9698
累计贡献率(%) Cumulative contributive rate	32.0201	45.3638	56.0512	63.7158	69.1570	74.3810	78.8050	82.7748

2.6 聚类分析

聚类分析方法可较好地反映品种资源间的差异,同时将属性相似的归为同类。参与聚类的性状越多越能综合反映品种资源的客观实际^[14]。采用UPGMA法对供试的75份种质材料依据21个形态性状的欧氏距离进行聚类分析,并构建了树状图

(图1)。在欧式距离150处可将75份苜蓿种质材料聚为5大类群:第Ⅰ类群4份材料,分别来自于匈牙利、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、葡萄牙。第Ⅱ类群1份材料,为来自亚美尼亚的3号材料。第Ⅲ类群6份材料,分别来源于哈萨克斯坦2份,吉尔吉斯斯坦2份,其余2份来源于亚美尼亚。第Ⅳ类群27

份材料,23 份来源于哈萨克斯坦,4 份来源于吉尔吉斯斯坦。第Ⅴ类群有 37 份材料,分别来源于哈萨克斯坦 22 份,保加利亚 4 份,俄罗斯 3 份,吉尔吉斯斯坦 3 份,葡萄牙 2 份,匈牙利 2 份,亚美尼亚 1 份。对不同区域的资源进行分析,结果发现,同一地区资源并不在一个类群里,表明苜蓿资源相似性与地理来源关系不大。

从 5 个类群苜蓿资源的平均表现分析(表 5),第Ⅰ类群材料,形态性状中花序宽、花数高于其他 4 个类群;农艺性状中单株鲜重和茎秆干重仅次于第Ⅱ类群体,品质性状粗蛋白和灰分含量在 5 类群体中最低。第Ⅱ类群材料,形态性状中茎节数、茎直

径、茎分枝、小叶长宽较大;农艺性状中单株鲜重最高;品质方面相比第Ⅴ类较低;该类群在后续品系筛选需要重点关注。第Ⅲ类群材料,在茎节数、茎直径、茎分枝仅次于第Ⅱ类群。该类群农艺性状株高和品质性状中中性洗涤纤维含量达到最高,分别为 90.497、44.183。第Ⅳ类群表现在叶片尺寸偏小,茎秆较细,茎叶比在 1.073,蛋白含量仅次于第Ⅰ类群。第Ⅴ类群材料,植株较矮,分枝数少,小叶长宽较小,单株产量较低;品质方面:蛋白含量较高,中性洗涤纤维含量较低。其中蛋白含量最高为 26.1%,蛋白含量大于 23% 的占到 24 份。根据饲草营养品质评定标准^[15],此类群属于品质较高的一类。

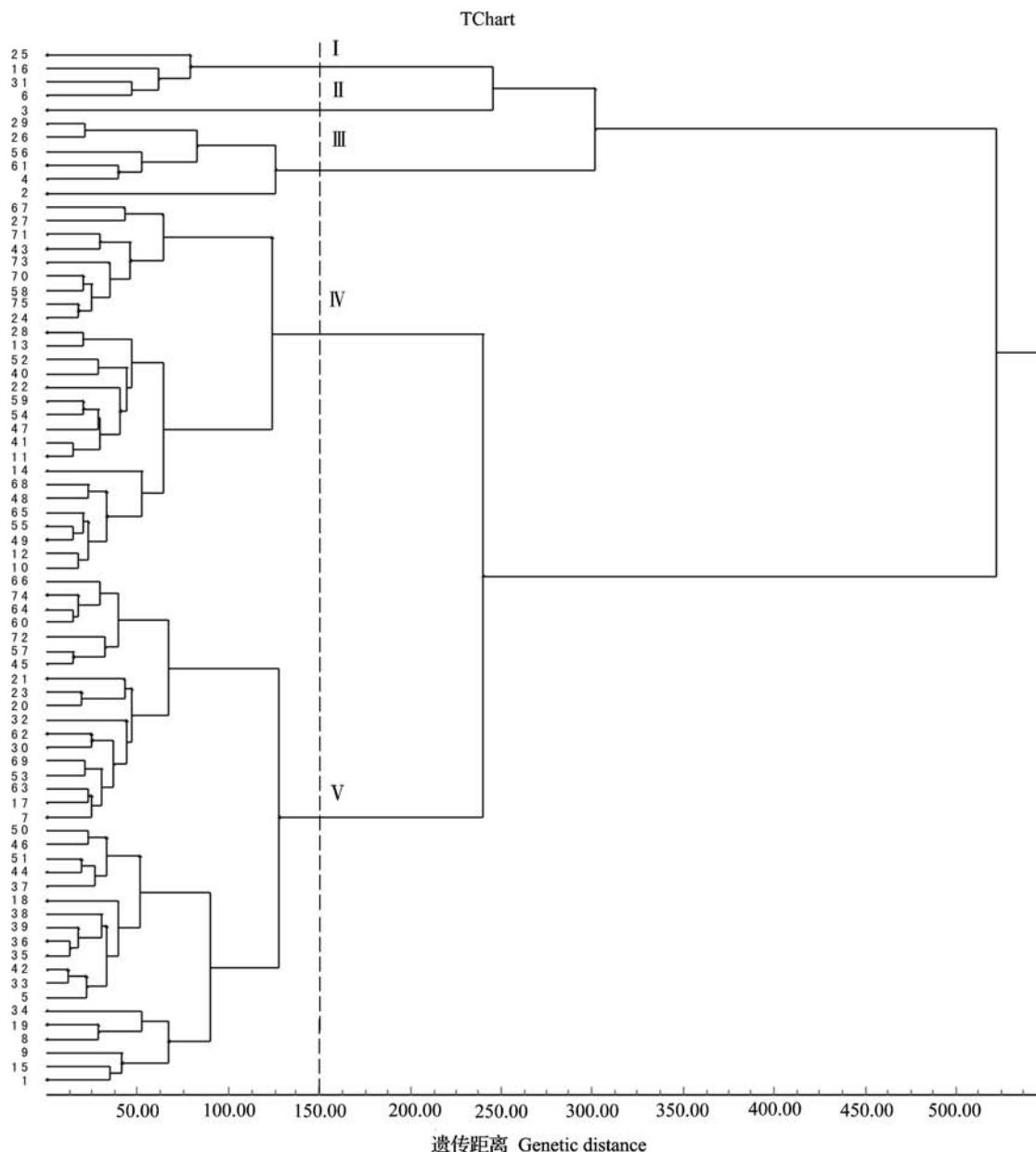


图 1 75 份紫花苜蓿种质资源性状聚类图

Fig. 1 The clustering graph of 75 alfalfa germplasm resources

表 5 5 类群 21 项性状均值

Table 5 The mean of 21 index in five groups

性状 Traits	均值 Mean				
	I	II	III	IV	V
茎节数 SNN	19.900	22.200	21.733	20.933	20.649
茎直径 SD	4.215	4.780	4.537	4.053	3.999
茎分枝 SB	30.200	43.600	40.600	30.881	32.819
叶长 LL	2.745	3.200	2.793	2.554	2.697
叶宽 LW	1.380	1.600	1.187	1.099	1.153
花序长 IL	4.065	4.260	3.857	3.710	3.664
花序宽 IW	1.865	1.780	1.780	1.638	1.691
花数(枚/花序) FN	30.550	23.200	27.067	29.163	28.616
单株鲜重 PFW	970.750	1211.000	752.267	510.430	279.414
茎秆干重 SDW	142.125	149.700	93.333	58.341	33.081
叶干重 LDW	121.950	129.700	69.633	54.904	33.608
单株干重 PDW	264.075	279.400	162.967	113.244	66.689
茎叶比 SLR	1.190	1.150	1.335	1.073	0.993
鲜干比 FDR	3.720	4.330	4.678	4.531	4.204
株高 PH	78.960	89.000	90.497	82.813	77.975
干物质 DM	95.150	95.900	94.650	94.337	94.027
粗蛋白 CP	19.975	20.600	20.217	22.278	22.284
粗脂肪 EE	3.150	1.500	2.283	2.144	1.824
中性洗涤纤维 NDF	41.500	43.700	44.183	40.552	38.357
酸性洗涤纤维 ADF	28.850	29.800	30.183	28.048	26.176
灰分 ASH	8.425	9.800	8.683	9.652	9.319

3 讨论

对苜蓿种质资源的形态性状进行调查和分析,既是种质资源研究的首要工作,也是苜蓿育种的基础工作^[16],同时也是一种简便有效的方法。本研究结合目前收集到的国外紫花苜蓿种质资源,从表型性状的角度进行了系统分析,为有效利用这些资源提供理论依据。由于苜蓿受到不同环境的影响,致使对农艺性状和形态性状影响较大,本试验将 75 份材料全部栽种到土壤环境一致的大田中,避免环境因素影响测定数据。通过对 75 份紫花苜蓿形态、农艺和品质变异分析,农艺性状变异最大,其次是形态性状和品质性状。在形态性状和农艺性状中变异系数较大的是茎秆干重、单株干重、单株鲜重、叶干重和茎分枝,而这 5 项指标是培育高产苜蓿新品种首要考量的指标,这与于林清^[17]研究结果一致。变异系数大的性状说明从该群体中选出具有该性状的优良个体的几率大^[18]。品质性状中粗蛋白质

(9.61%)和干物质含量(1.42%)变异系数最小。粗脂肪含量变异系数较大,这项指标在其他文献未曾有报道,为后续的选育研究提出了新的角度。

利用主成分分析将 21 个性状指标综合成 8 个独立的成分,这 8 个成分反映了原有变量信息的 82.7748%,其中第 1、2 主成分以农艺性状包括茎秆干重、单株干重、叶干重为主要因子。第 3、4 主成分以形态性状为主,包括茎分枝、茎叶比、叶长、叶宽。第 5、6 主成分主要反映的是 6 项品质性状指标,5 项形态性状指标和 2 项农艺性状指标。第 7、8 主成分主要反映形态性状指标,兼有其他性状指标。纵观以上分析,以产量作为苜蓿选育首选目标时,其农艺性状和形态性状是第一要素,在这两项中,农艺性状中又尤以单株鲜重和株高为主要衡量指标,在形态性状中以分枝数为主要衡量指标。通过以上分析,在主成分分析中第 1、2 主成分和第 3、4 主成分已涵盖这些指标。这一结论与我国在现行常规苜蓿育种应用所选指标基本吻合。

利用隶属函数和聚类方法对 75 份材料分析可见,在利用两种方法来得出的结论中,来自于亚美尼亚的 3 号材料在农艺性状和形态性状上均具有优势,此材料可作为后续选育亲本材料之一。来自吉尔吉斯斯坦的 25 号和葡萄牙的 31 号材料在单株产量等农艺性状方面紧随其后。第 4、5 类群数量占到全部数量的 85%,这部分材料主要特点是茎秆纤细,低矮,但其粗蛋白含量具有较高优势。因此,在苜蓿育种工作中,依据苜蓿的育种目标,选配亲本材料应依据主成分的指标排序,再具体分析与全面评价每份亲本材料综合指标的优劣,以便尽快育出理想的苜蓿新品种。本研究仅针对引进的紫花苜蓿种质资源的主要形态、农艺和品质性状进行分析评价,今后还有待从分子生物学角度进行深入研究,以期更加客观地对引进紫花苜蓿种质资源进行综合评价,为紫花苜蓿核心群的构建和选育提供科学依据。

参考文献

- [1] 杨青川,康俊梅,张铁军,等. 苜蓿种质资源的分布、育种与利用[J]. 科学通报,2016,61(2):261-270
- [2] Rosenstock S S, Stevens R. Herbivore effects on seeded alfalfa at four pinyon-juniper sites in central Utah[J]. J Range Manage, 1989,35(1):84-86
- [3] 毕玉芬. 论苜蓿属植物遗传资源多样性及其保护问题[J]. 国外畜牧学—草原与牧草,1997(4):1-5
- [4] 卢欣石. 中国苜蓿属植物遗传资源分类整理探究[J]. 中国草地学报,2009,31(5):17-22
- [5] 耿慧,徐安凯,刘卓,等. 国内外苜蓿品种性状分析与评价研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(33):16289-16291
- [6] 武自念,魏臻武,雷艳芳,等. 12 份苜蓿农艺性状的主成分及聚类分析[J]. 草原与草坪,2011,31(1):50-53
- [7] 魏臻武,符昕,耿小丽,等. 苜蓿遗传多样性和亲缘关系的 SSR 和 ISSR 分析[J]. 草地学报,2007,15(2):118-123
- [8] 李鸿燕,王宗礼. 苜蓿种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2007
- [9] 李志勇,李鸿雁,师文贵,等. 苜蓿属(*Medicago* L.) 种质资源描述规范和数据标准的制定及应用[J]. 植物遗传资源学报,2009,10(1):81-85
- [10] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京:中国农业大学出版社,2007:53-80
- [11] 陈俊华,文吉富,王国良,等. Excel 在计算群落生物多样性指数中的应用[J]. 四川林业科技,2009,30(3):88-90,60
- [12] Stepansky A, Kovalski I, Perl-Treves R. Intraspecific classification of melons(*Cucumis melo* L.) in view of their phenotypic and molecular variation [J]. Plant Syst Evol, 1999, 217 (3-4): 313-332
- [13] 唐启义,唐睿. DPS 数据处理系统第二卷现代统计及数据挖掘[M]. 北京:科学出版社,2016:649-655
- [14] 要燕杰,高翔,吴丹,等. 小麦农艺性状与品质特性的多元分析与评价[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(1):38-47
- [15] 卢德勋,张吉鹏,王旭,等. GB/T 23387-2009 饲草营养品质评定 GI 法[S]. 北京:中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2009
- [16] 胡建斌,马双武,李建吾,等. 国外甜瓜种质资源形态性状遗传多样性分析[J]. 植物学报,2013,48(1):42-51
- [17] 于林清. 苜蓿种质资源系统评价与多样性分析[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2009
- [18] 陈艳丽,田承华,田怀东. 国内外高粱种质资源形态性状与农艺性状的多样性分析[J]. 山西农业科学,2015,43(4):378-382