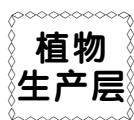


DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2015-0026

王虹,师尚礼.紫花苜蓿多元杂交后代优良株系的评价与筛选[J].草业科学,2015,32(11):1838-1846.

WANG Hong, SHI Shang-li. Evaluation and selection of excellent lines after polycross of alfalfa[J]. Pratacultural Science, 2015, 32(11): 1838-1846.



紫花苜蓿多元杂交后代优良株系的评价与筛选

王 虹,师尚礼

(甘肃农业大学草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/
中—美草地畜牧业可持续研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:通过连续两年大田对比试验,分析比较甘农3号(*Medicago sativa* cv. Gannong No. 3)、甘农5号(*M. sativa* cv. Gannong No. 5)和游客(*M. sativa* L. Eureka)紫花苜蓿以及多元杂交后代选育的16个株系的生产性能和品质性状的差异。采用AHP层次分析法,构造综合评价模型对供试材料的综合评价,筛选出白花1#和速生12#为最理想的优良株系,其干草产量分别为16.45、14.02 t·hm⁻²,生长高度分别为100.40、102.37 cm,分枝数分别为26、27个,生长速度分别为1.61、1.70 cm·d⁻¹,茎叶比分别为0.98、0.96;粗蛋白含量分别为23.15%、21.25%,相对饲用价值分别为154.72%、145.23%。其次,速生11#、白花2#和速生15#植株高大、分枝能力强;速生5#和白花3#干草产量高、茎叶比小、粗蛋白含量丰富,以上株系综合评价结果良好,均可作为较好的苜蓿育种材料。

关键词:生产性能;品质性状;层次分析;株系筛选

中图分类号:S816;S541⁺.151

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2015)11-1838-09*

Evaluation and selection of excellent lines after polycross of alfalfa

WANG Hong, SHI Shang-li

(Pratacultural College of Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecosystem of Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-US Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In the present study, the production performance and quality traits of 3 alfalfa cultivars (Gannong No.3, Gannong No.5 and Eureka) and their offspring after polycross were evaluated by two consecutive year sfield test. White flower 1# and Fast-growing 12# were the best lines with the hay yield of 16.45 and 14.02 t·ha⁻¹, plant height of 100.40 and 102.37 cm, branch numbers of 26 and 27, growth rates of 1.61 and 1.70 cm per day, stem-leaf ratio of 0.98 and 0.96, crude protein of 23.15% and 21.25%, and relative feeding value of 154.72% and 145.23%, respectively. Fast-growing 11#, White flower 2# and Fast-growing 15# had higher plant height and better branching ability and Fast-growing 5# and White flower 3# had higher hay yield, smaller stem-leaf ratio and rich crude protein. The lines mentioned above were better which can be used for further alfalfa breeding after comprehensive evaluation.

Key words: production performance; quality traits; Analytic Hierarchy Process; select strains

Corresponding author: SHI Shang-li E-mail: shishl@gsau.edu.cn

* 收稿日期:2015-01-12 接受日期:2015-03-25

基金项目:农业部“牧草种质资源保种繁殖项目”(NB2130135)

第一作者:王虹(1989-),女,甘肃兰州人,硕士,研究方向为草种质资源及育种。E-mail:740666573@qq.com

通信作者:师尚礼(1962-),男,甘肃会宁人,教授,博士,研究方向为草种质资源及育种。E-mail:shishl@gsau.edu.cn

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)是多年生优质豆科牧草,其产量高、营养价值丰富、用途广泛,素有“牧草之王”的美誉^[1]。紫花苜蓿作为我国西部地区最重要的豆科栽培牧草,在调整种植业结构、生态治理和发展畜牧业方面有十分重要的价值和地位。近年来,随着国内外市场对苜蓿草产品的巨大需求,苜蓿种植面积逐年增大,并逐步向产业化、集约化方向发展,而产业化的关键是综合改善苜蓿的产量和品质^[2]。然而,我国西部地区的大多数苜蓿品种产量低,质量差,严重制约了其在生产中的推广和应用^[3]。因此,选育出高产、优质的紫花苜蓿新品种是促进西部草业产业化发展急需解决的问题。

苜蓿新品种的选育和筛选评价是促进苜蓿产业化发展的前提条件。长期以来,各国学者通过选择杂交等育种方法,培育了许多优质品种^[4]。国内对苜蓿的研究主要集中在品种比较和引种适应性等方面,如王运涛等^[5]在冀西北对6个苜蓿品种的生产性能进行比较,筛选出优良品种中苜1号;曹宏等^[6]在陇东地区进行了苜蓿品种引种研究,认为先行者苜蓿可作为当地推广品种。然而,关于苜蓿品种选育和良种繁育的基础研究仍然比较薄弱。苜蓿产量和品质性状的选择常采用多元杂交法,在其杂交后代筛选优良单株,进行多代轮回选育,可选择出具有超亲性状或综合性状突出的苜蓿种质材料。已审定登记的苜蓿品种甘农3号(*Medicago sativa* cv. Gannong No. 3)、图牧2号就是采用该方法育成的。因此,本研究以直立丰产型甘农3号、高秋眠8~9级优质型抗薊马甘农5号(*M. sativa* cv. Gannong No. 5)、中度秋眠5~6级速生型游客紫花苜蓿(*M. sativa* L. Eureka)为亲本进行多元杂交,选择16个后代株系为研究材料,通过连续两年大田比较试验,结合AHP层次分析法,对16个后代株系的产量和品质性状进行分析和评价,筛选综合性状优良的株系,以为培育紫花苜蓿新品种提供基础数据和种质材料。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

试验在甘肃农业大学兰州牧草试验站进行,试验站位于兰州市西北部,地处黄土高原西端,海拔为

1 517.3 m,属温带半干旱大陆性气候,年降水量600~800 mm,年蒸发量1 664 mm,年均日照2 770 h,年均气温9.7℃,最热月平均气温29.1℃,最冷月平均气温-14.9℃,区内地势平坦,肥力均匀,土壤类型为黄绵土,黄土层较薄,土壤有机质含量0.84%,pH 7.5,土壤含盐量0.25%,有效氮95.05 mg·kg⁻¹,有效磷7.32 mg·kg⁻¹,有效钾182.8 mg·kg⁻¹^[7]。

1.2 材料来源与试验设计

选取灌区直立丰产型甘农3号紫花苜蓿、中度秋眠5~6级速生型游客紫花苜蓿和高秋眠8~9级速生抗薊马甘农5号紫花苜蓿为亲本材料,2008年7月,三亲本种子以1:1:1的比例在甘肃农业职业技术学院榆中农场(周边无苜蓿)混合播种,2009年隔离外源花粉,群体开放授粉,收获第1代种子;于当年7月中旬种植收获的第1代杂交种子^[8]。2010年通过大田表型选择,筛选优良单株,建立无性繁殖系,分株收种。2011年春季种植成株系行,2012年针对产量和品质初选出19个株系进行下一步的株系筛选研究(表1)。

19个苜蓿株系材料和3个亲本对照材料,采用随机区组设计,于2012年4月18日在甘肃农业大学牧草试验站内播种,播量15 kg·hm⁻²,均为条播,每个株系各种植两行,行距0.3 m,行长3.5 m,重复3次。田间管理包括中耕锄草、适时浇水。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 草产量 在每茬初花期,每个株系的两行各取1 m样段,并做好标记,齐地刈割后称重量,由行距算出1 m²的鲜草重量,重复3次,取平均值,根据鲜干比计算干草产量。测产时,每个株系称鲜草200 g,自然风干后称重,计算鲜干比。2012年测定两茬,2013年测定3茬,年度产量为各茬草产量之和。

1.3.2 株高 每年第1茬初花期测产前,每个株系随机选择10株,测量其自然高度,3次重复,取平均值。

1.3.3 分枝数 每年第1茬初花期测产前,测定从根茎直接长出的分枝,3次重复,取平均值。

1.3.4 茎叶比 在第1茬鲜草测产时,每个株系分别取有代表性的鲜草样200 g,茎叶分离,测定茎质

表 1 供试苜蓿材料名称及来源

Table 1 Name and origin of 19 alfalfa germplasms in this study

编号 No.	株系名称 Germplasm name	来源 Origin	编号 No.	株系名称 Germplasm name	来源 Origin
1	速生 Fast-growing 1 #	杂交后代 Hybrid progeny	11	白花 White flower 1 #	杂交后代 Hybrid progeny
2	速生 Fast-growing 5 #	杂交后代 Hybrid progeny	12	白花 White flower 2 #	杂交后代 Hybrid progeny
3	速生 Fast-growing 7 #	杂交后代 Hybrid progeny	13	白花 White flower 3 #	杂交后代 Hybrid progeny
4	速生 Fast-growing 11 #	杂交后代 Hybrid progeny	14	大叶 Big leaf 1 #	杂交后代 Hybrid progeny
5	速生 Fast-growing 12 #	杂交后代 Hybrid progeny	15	大叶 Big leaf 2 #	杂交后代 Hybrid progeny
6	速生 Fast-growing 15 #	杂交后代 Hybrid progeny	16	大叶 Big leaf 3 #	杂交后代 Hybrid progeny
7	速生 Fast-growing 19 #	杂交后代 Hybrid progeny	17	甘农 3 号 Gannong No.3	亲本,甘肃农大 Parents GSAU
8	速生 Fast-growing 20 #	杂交后代 Hybrid progeny	18	甘农 5 号 Gannong No.5	亲本,甘肃农大 Parents GSAU
9	速生 Fast-growing 22 #	杂交后代 Hybrid progeny	19	游客 Eureka	亲本,荷兰 Parents Holland
10	多叶 Leafy 1 #	杂交后代 Hybrid progeny			

量和叶质量,计算茎叶比(茎质量/叶质量),3 次重复,取平均值。

1.3.5 生长速度 第 1 茬草从分枝期开始,每个株系随机选取 10 个单株,做好标记,每隔 7 d 测定 1 次生长高度,直到初花期,生长速度=生长高度/生长天数,3 次重复,取平均值。

1.3.6 营养品质 2013 年对第 1 茬苜蓿进行了初花期的营养品质测定。第 1 茬苜蓿获得干草产量后,取部分干草,粉碎过 0.2 mm 筛并保存。粗蛋白(CP, crude Crude Protein, CP)采用凯氏定氮法(GB/T6432—94)测定,中性洗涤纤维(Neutral Detergent Fiber,NDF)和酸性洗涤纤维(Acid Detergent Fiber,ADF)分别按 Roberston 中性洗涤剂法和 Van Soest 酸性洗涤剂法测试^[9]。相对饲用价值(Relative Feeding Value,RFV)以干物质 100%为基础计算,相对饲用价值=(消化性干物质×干物质采食量)/1.29,消化性干物质(Digestible Dry Matter,DDM)=88.9—0.779×酸性洗涤纤维(干物质的百分数),干物质采食量(Dry Matter Intake,DMI)=120/中性洗涤纤维(干物质的百分数)^[10]。

1.4 供试材料产量性状和品质性状综合评价

参考卢欣石等^[11]、王德利和祝廷成^[12]、张鸭关等^[13]的研究结果,建立不同苜蓿株系产量和品质性状综合评价层次分析 AHP 模型。评价时,先将定量数据按照苜蓿株系最高值与最低值数差,以 1~9 级标度确定划分等级,最优为 9 分,最差为 1 分^[14],其中茎叶比

是平均值越小,得分越高;其他指标是平均值越高,得分越高。最后对 19 个株系综合表现的加权得分值进行排序,确定出不同株系综合表现的优劣顺序。

1.5 数据处理

将 2012、2013 年所得试验数据在 Excel 2003 中作基本处理,获得各项目性状参数后,采用 SPSS 17.0 软件对所得数据统计分析,并用 Duncan 法对各性状进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 株高和生长速度

19 份苜蓿材料生长高度存在显著差异($P < 0.05$)(表 2)。其中,2012 年生长高度表现优异的是速生 11 #、速生 12 #、白花 2 #,为 98.15~101.03 cm,2013 年生长高度表现优异的是速生 12 #,速生 11 #、白花 1 #,为 103.37~105.44 cm。两年平均株高最高的是速生 11 #,达 103.23 cm,分别高出亲本甘农 3 号 9.05 cm(9.61%),甘农 5 号 12.49 cm(13.76%),游客 9.47 cm(10.10%)。速生 12 # 和白花 1 # 次之,分别为 102.37、100.40 cm。后代株系中两年平均株高均高于 3 个亲本的是速生 11 #、速生 12 #、白花 1 #、白花 2 #、速生 19 #、大叶 3 #、大叶 1 # 和白花 3 #。从生长速度看,2012 年,速生 1 # 较快,速生 11 # 和速生 12 # 次之;2013 年,速生 1 # 仍然较快,速生 19 # 和白花 1 # 次之;两年平均,速生 1 # 最快,为 2.23 cm·d⁻¹,较甘农 3 号高 0.69 cm·d⁻¹(44.81%),较甘

表 2 供试材料 2012 和 2013 年的株高和生长速度
Table 2 The plant height and growth rate of tested alfalfa germplasms in 2012 and 2012

苜蓿材料 Germplasm name	株高 Plant height/cm			生长速度 Growth rate/cm · d ⁻¹		
	2012	2013	平均 Average	2012	2013	平均 Average
速生 Fast-growing 1 #	81.47±0.15fg	97.37±1.08bcd	89.42±0.60gh	1.75±0.02a	2.71±0.07a	2.23±0.04a
速生 Fast-growing 5 #	87.23±0.82ef	92.81±1.30defg	90.02±1.04fgh	1.27±0.01fg	1.45±0.07g	1.36±0.04ij
速生 Fast-growing 7 #	78.33±0.19g	90.07±1.35fg	84.20±0.77i	1.22±0.11g	1.44±0.01g	1.33±0.06j
速生 Fast-growing 11 #	101.03±0.76a	105.42±0.89a	103.23±0.81a	1.67±0.05a	1.68±0.04cde	1.67±0.05b
速生 Fast-growing 12 #	99.30±2.55ab	105.44±1.77a	102.37±2.15a	1.67±0.02a	1.74±0.07cd	1.70±0.05b
速生 Fast-growing 15 #	89.67±1.21cde	93.03±1.28defg	91.35±1.24defgh	1.37±0.02cdef	1.62±0.01cdef	1.50±0.01efgh
速生 Fast-growing 19 #	95.80±3.57abc	96.87±0.83bcd	96.33±2.20bcd	1.39±0.04bcdef	1.91±0.05b	1.65±0.05bc
速生 Fast-growing 20 #	78.47±0.98g	88.31±2.58g	83.39±1.77i	1.41±0.03bcde	1.57±0.09efg	1.49±0.06efgh
速生 Fast-growing 22 #	77.35±2.05g	89.27±0.43fg	83.31±1.23i	1.46±0.12bcd	1.54±0.02efg	1.50±0.07defg
多叶 Leafy 1 #	89.67±0.52cde	89.23±1.65fg	89.45±1.07gh	1.52±0.01b	1.56±0.02efg	1.54±0.01cdef
白花 White flower 1 #	97.43±4.28ab	103.37±0.72a	100.40±2.50ab	1.45±0.05bcd	1.77±0.03c	1.61±0.04bcde
白花 White flower 2 #	98.15±1.10ab	101.47±0.66ab	99.81±0.86abc	1.28±0.01efg	1.65±0.036cedf	1.47±0.02fghi
白花 White flower 3 #	93.73±0.72bcde	95.80±1.27cde	94.77±0.94def	1.34±0.02defg	1.60±0.03defg	1.47±0.02fghi
大叶 Big leaf 1 #	94.68±2.99abcd	96.30±3.84cde	95.49±1.79cde	1.43±0.04bcd	1.59±0.01defg	1.51±0.02defg
大叶 Big leaf 2 #	88.28±3.69de	89.43±1.64fg	88.86±2.67h	1.47±0.01bcd	1.62±0.02cdef	1.55±0.01cdef
大叶 Big leaf 3 #	95.63±3.09abc	95.77±0.33cde	95.70±1.68bcde	1.35±0.02defg	1.46±0.01g	1.41±0.01ghij
甘农 3 号 Gannong No.3	89.80±0.45cde	98.56±2.13bc	94.18±1.21defg	1.51±0.03bc	1.58±0.10efg	1.54±0.07cdef
甘农 5 号 Gannong No.5	90.33±0.98cde	91.15±1.05efg	90.74±1.01efgh	1.48±0.01bcd	1.77±0.02c	1.63±0.02bcd
游客 Eureka	93.55±0.96bcde	93.97±1.35cdef	93.76±1.15defgh	1.22±0.03g	1.52±0.02fg	1.37±0.03hij

注:同列不同小写字母表示不同株系间差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters within the same column mean significant difference among different germplasms at 0.05 level. The same below.

农 5 号高 0.60 cm · d⁻¹ (36.81%),较游客高 0.86 cm · d⁻¹ (62.77%),两年平均生长速度均高于 3 个亲本的是速生 1 #、速生 11 #、速生 12 #、速生 19 #,其生长速度为 1.65~2.23 cm · d⁻¹。

2.2 分枝数和茎叶比

所有供试材料分枝数差异显著($P<0.05$),从整体趋势看,绝大多数株系 2013 年的分枝数较 2012 年有所增加(表 3)。其中,两年平均单株分枝数最多的是白花 2 #,为 27.3 个,分别多于甘农 3 号、甘农 5 号、游客苜蓿 4.4 个(19.21%)、4.5 个(19.74%)、6.5 个(31.25%)。其次是速生 12 #、白花 1 #、速生 11 #,其单株分枝数都超过了 25 个,而且均高于 3 个亲本。单株分枝数最少的是速生 22 #,为 15.3 个,其分枝能力相对其他株系较弱。除甘农 5 号,所有株系的茎叶比均出现逐年下降的趋势(表 3)。其中,两年平均茎叶比最小的是多叶 1 #,为 0.85,分别较甘农 3 号低 0.17(16.67%)、甘农 5 号低 0.34 (28.57%)、游客苜蓿低 0.31

(26.72%)。后代株系中两年平均茎叶比均低于 3 个亲本的是多叶 1 #、速生 22 #、速生 5 #、速生 12 #、白花 1 #、速生 11 # 和白花 3 #,其茎叶比为 0.85~1.01。

2.3 鲜草产量和干草产量

各苜蓿材料鲜草产量差异显著($P<0.05$)(表 4),其中速生 5 #、白花 1 #、速生 15 #和速生 12 #两年平均鲜草产量表现较好,为 69.65~73.22 t · hm⁻²,显著高于 3 个亲本和其余株系($P<0.05$)。随着生长年限的增加,不同苜蓿株系干草产量呈增加趋势。其中,2012 年,速生 15 #最高,速生 12 #和速生 5 #次之;2013 年,白花 1 #最高,速生 5 #和速生 15 #次之;两年平均,白花 1 #最高,为 16.45 t · hm⁻²,分别较甘农 3 号高 3.95 t · hm⁻² (31.60%)、较甘农 5 号高 4.33 t · hm⁻² (35.73%)、较游客苜蓿高 5.67 t · hm⁻² (52.60%)($P<0.05$)。两年平均干草产量均大于 3 个亲本的有白花 1 #、速生 5 #、速生 15 #、白花 3 #、速生 12 #、速生 11 #和白花 2 #。

表 3 供试材料 2012 和 2013 年的分枝数和茎叶比

Table 3 The branch number and stem-leaf ratio of tested alfalfa germplasms in 2012 and 2013

苜蓿材料 Germplasm name	分枝数 Branch number			茎叶比 Stem-leaf ratio		
	2012	2013	平均 Average	2012	2013	平均 Average
速生 Fast-growing 1 #	17.0±1.2bcd	27.7±0.9de	22.3±1.0cd	1.23±0.01cd	0.99±0.01f	1.11±0.01de
速生 Fast-growing 5 #	23.7±1.5a	25.3±1.5ef	24.5±1.4abc	0.91±0.02i	0.85±0.01i	0.88±0.02i
速生 Fast-growing 7 #	17.3±0.3bc	17.0±1.5h	17.2±0.9e	1.49±0.08a	1.06±0.01d	1.27±0.04a
速生 Fast-growing 11 #	17.3±1.5bc	33.7±2.3abc	25.5±1.9abc	1.06±0.01fg	0.92±0.01g	0.99±0.01fgh
速生 Fast-growing 12 #	16.3±0.9bcde	36.7±0.9a	26.5±0.9ab	1.01±0.03gh	0.90±0.01gh	0.96±0.01h
速生 Fast-growing 15 #	15.7±0.3bcde	19.3±1.5gh	17.5±0.9e	1.24±0.02cd	0.97±0.01f	1.10±0.01de
速生 Fast-growing 19 #	15.7±1.3bcde	32.7±1.5bc	24.2±1.4abcd	1.27±0.02bc	1.22±0.01a	1.25±0.01a
速生 Fast-growing 20 #	18.7±0.9b	27.3±0.7de	23.0±0.8bcd	1.34±0.02b	0.93±0.01g	1.13±0.01cd
速生 Fast-growing 22 #	13.0±0.6e	17.7±0.3h	15.3±0.4e	0.95±0.01hi	0.78±0.01j	0.87±0.01i
多叶 Leafy 1 #	13.7±0.9de	18.7±0.9gh	16.2±0.7e	0.94±0.01hi	0.76±0.01j	0.85±0.01i
白花 White flower 1 #	16.0±1.0bcde	35.7±0.9ab	25.8±0.9abc	1.08±0.01fg	0.88±0.01hi	0.98±0.01gh
白花 White flower 2 #	18.0±0.6bc	36.7±1.5a	27.3±1.0a	1.12±0.02ef	1.02±0.01e	1.07±0.01e
白花 White flower 3 #	18.7±0.3b	31.0±0.6cd	24.8±0.4bc	1.05±0.01fg	0.96±0.01f	1.01±0.01fg
大叶 Big leaf 1 #	16.3±0.7bcde	25.3±0.9ef	20.8±0.7d	1.31±0.01b	1.24±0.01a	1.28±0.01a
大叶 Big leaf 2 #	13.7±0.9de	33.0±1.0abc	23.3±0.9bcd	1.21±0.02cd	1.04±0.01de	1.12±0.01cd
大叶 Big leaf 3 #	23.7±0.9a	23.7±0.9ef	23.7±0.9bcd	1.20±0.03cd	1.05±0.01de	1.13±0.01cd
甘农 3 号 Gannong No.3	23.3±1.5a	22.0±1.5fg	22.9±1.3bcd	1.18±0.02de	0.87±0.01hi	1.02±0.01f
甘农 5 号 Gannong No.5	22.0±2.1a	23.7±1.2ef	22.8±1.6cd	1.19±0.01cde	1.19±0.01b	1.19±0.01b
游客 Eureka	14.7±0.7cde	27.0±1.5e	20.8±1.1d	1.17±0.02de	1.15±0.02c	1.16±0.02bc

表 4 供试苜蓿材料 2012 和 2013 年的草产量

Table 4 The fresh yield and hay yield of tested alfalfa germplasms in 2012 and 2013

t · hm⁻²

苜蓿材料 Germplasm name	鲜草产量 Fresh yield			干草产量 Hay yield		
	2012	2013	平均 Average	2012	2013	平均 Average
速生 Fast-growing 1 #	39.87±0.08h	55.67±1.71g	47.77±0.86h	8.42±0.02j	11.76±0.36hi	10.09±0.18k
速生 Fast-growing 5 #	58.94±1.56c	87.50±0.56a	73.22±0.76a	13.15±0.35c	19.52±0.12b	16.34±0.17a
速生 Fast-growing 7 #	55.12±0.49d	56.34±0.95g	55.73±0.66fg	11.42±0.10e	11.67±0.20hi	11.55±0.14i
速生 Fast-growing 11 #	64.58±1.09b	68.75±0.31d	66.66±0.66d	13.07±0.22d	13.91±0.06ef	13.49±0.13e
速生 Fast-growing 12 #	67.98±0.18a	71.32±0.27c	69.65±0.22c	13.68±0.04b	14.35±0.05d	14.02±0.04d
速生 Fast-growing 15 #	64.32±1.06b	77.14±1.29b	70.73±0.20bc	14.27±0.23a	17.11±0.29c	15.69±0.05b
速生 Fast-growing 19 #	44.42±1.19g	42.71±0.34i	43.56±0.72i	9.08±0.24i	8.73±0.07l	8.90±0.15l
速生 Fast-growing 20 #	28.79±0.93j	46.55±0.49h	37.67±0.71j	6.07±0.20l	9.81±0.10k	7.94±0.15m
速生 Fast-growing 22 #	29.67±0.36j	47.78±0.27h	38.72±0.32j	7.49±0.09k	12.06±0.07h	9.78±0.08k
多叶 Leafy 1 #	30.90±0.35j	56.87±0.37g	43.88±0.36i	6.23±0.07l	11.46±0.07ij	8.84±0.07l
白花 White flower 1 #	53.74±0.61d	88.98±0.86a	71.36±0.73b	12.39±0.14d	20.51±0.20a	16.45±0.17a
白花 White flower 2 #	55.64±0.69d	63.92±0.31e	59.78±0.50e	12.02±0.15d	13.81±0.07f	12.92±0.11f
白花 White flower 3 #	51.20±0.54e	69.08±0.24d	60.14±0.39e	12.49±0.13d	16.85±0.06c	14.67±0.09c
大叶 Bigleaf 1 #	55.54±1.11d	64.28±0.37e	59.91±0.74e	11.04±0.22ef	12.78±0.07g	11.91±0.15h
大叶 Bigleaf 2 #	51.28±0.53e	57.35±0.57g	54.32±0.53g	10.01±0.10h	11.20±0.11j	10.61±0.10j
大叶 Bigleaf 3 #	50.26±0.07ef	67.35±0.12d	58.80±0.09e	10.35±0.01gh	13.87±0.02ef	12.11±0.02h
甘农 3 号 Gannong No.3	48.32±0.19f	64.40±0.39e	56.36±0.29f	10.71±0.04fg	14.28±0.09de	12.50±0.06g
甘农 5 号 Gannong No.5	51.52±0.67e	61.76±0.54f	56.64±0.57f	11.02±0.14ef	13.21±0.12g	12.12±0.12h
游客 Eureka	36.67±0.77i	56.75±0.39g	46.71±0.39h	8.46±0.18j	13.10±0.09g	10.78±0.09j

2.4 品质性状

19 个参试的苜蓿材料粗蛋白含量不同(表 5), 其中多叶 1 号粗蛋白含量最高, 为 24.44%, 高于甘农 3 号 30.00%、甘农 5 号 23.19%、游客 27.56%。速生 22 号、白花 1 号、速生 5 号、速生 12 号、白花 3 号、速生 11 号、白花 2 号、速生 15 号次之, 分别为 20.23%~23.76%, 且这些株系的粗蛋白含量均高于 3 个亲本。所有供试材料中, NDF 和 ADF 含量差异显著($P<0.05$)。其中, 速生 22 号的 NDF 和 ADF 含量均为最低, 分别为 36.63%和 31.45%。其 NDF 含量较甘农 3 号、甘农 5 号、游客分别低 8.31%、12.49%、11.50%; 其 ADF 含量较甘农 3 号、甘农 5 号、游客苜蓿分别低 15.50%、4.06%、12.10%。NDF 含量均低于 3 个亲本的是速生 22 号、多叶 1 号和白花 1 号。ADF 含量均低于 3 个亲本的是速生 22 号和多叶 1 号。相对饲用价值最大的是速生 22 号, 达到 163.58%, 分别高于甘农 3 号、

甘农 5 号、游客苜蓿 17.26%、16.13%、19.23%。其次表现较好的是白花 1 号、多叶 1 号、速生 12 号、速生 11 号、白花 3 号、速生 15 号, 其 RFV 含量为 141.36%~154.72%, 均高于 3 个亲本。

2.5 供试材料产量性状和品质性状综合评价

应用 AHP 层次分析法, 选用 3 个层次指标对 3 亲本杂交后代株系的产量和品质性状进行综合评价。第 1 层(目标层)为株系的综合性状; 第 2 层(准则层)主要包括产量性状、品质性状两个指标; 第 3 层(因素层)包括 7 个指标, 其中产量评价选用年均干草产量、株高、分枝数和生长速度 4 个指标; 品质评价采用茎叶比、粗蛋白含量和相对饲用价值 3 个指标。根据此 AHP 模型作判断矩阵, 计算各因素权重值。表 6 为各评价指标的评分标准, 表 7 是各株系评价指标无量纲处理得分、各指标总权重系数以及综合加权得分值和排序^[15]。

表 5 供试苜蓿材料的品质性状值
Table 5 The quality character value of tested alfalfa germplasms

苜蓿材料 Germplasm name	粗蛋白 Crude protein/%	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber/%	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber/%	相对饲用价值 Relative feeding value/%
速生 Fast-growing 1 号	18.62±0.25efg	41.67±0.79def	34.44±0.48cdef	138.62±1.83def
速生 Fast-growing 5 号	22.86±0.67abc	43.11±0.22bcd	37.05±0.71ab	129.55±0.73hi
速生 Fast-growing 7 号	18.01±0.43fgh	40.70±0.23fgh	35.34±0.51bcde	140.30±1.72cde
速生 Fast-growing 11 号	20.35±0.44def	39.98±0.42gh	35.24±0.60bcde	142.99±0.67cd
速生 Fast-growing 12 号	21.25±0.68bcd	39.97±0.52gh	34.05±0.60cdef	145.23±2.49c
速生 Fast-growing 15 号	20.23±0.46def	41.20±0.57efg	33.77±0.34efg	141.36±1.82cde
速生 Fast-growing 19 号	18.39±0.69fg	41.68±0.55def	35.93±0.69bc	135.97±1.96efg
速生 Fast-growing 20 号	15.17±0.43i	42.33±0.22cde	36.58±0.30b	132.76±0.25ghi
速生 Fast-growing 22 号	23.76±0.33a	36.63±0.34i	31.45±0.34h	163.58±2.10a
多叶 Leafy 1 号	24.44±0.33a	39.46±0.48h	31.97±0.87gh	150.88±2.00b
白花 White flower 1 号	23.15±1.16ab	37.34±0.54i	34.43±0.55cdef	154.72±2.58b
白花 White flower 2 号	20.34±0.69def	42.03±0.49def	32.82±0.32fgh	140.20±1.19cdef
白花 White flower 3 号	20.92±0.85cde	40.93±0.18efg	33.89±0.56defg	142.07±1.43cd
大叶 Big leaf 1 号	16.07±0.92hi	43.74±0.14b	32.90±0.88fgh	134.54±1.23fgh
大叶 Big leaf 2 号	17.36±1.15gh	45.86±0.15a	38.55±0.85a	119.39±0.95j
大叶 Big leaf 3 号	17.37±0.90gh	43.59±0.74bc	36.60±0.62b	128.97±2.71i
甘农 3 号 Gannong No.3	18.80±0.76efg	39.95±0.25gh	37.22±0.76ab	139.50±1.60cdef
甘农 5 号 Gannong No.5	19.84±0.90def	41.86±0.56def	32.78±0.53fgh	140.86±2.37cde
游客 Eureka	19.16±0.25defg	41.39±0.38efg	35.78±0.21bcd	137.20±1.22defg

表 6 苜蓿综合性状评价指标评分标准

Table 6 Comprehensive character synthetic evaluation target grading standard of alfalfa

分数	干草产量	株高	分枝数	生长速度	茎叶比	粗蛋白	相对饲用价值
Score	Hay yield	Plant height	Branch number	Growth rate	Stem-leaf ratio	Crude protein	RFV
1	7.94~8.89	83.31~85.51	15.3~16.62	1.33~1.42	1.233~1.28	15.17~16.20	119.39~124.29
2	8.90~9.85	85.52~87.72	16.63~17.95	1.43~1.52	1.186~1.233	16.21~17.24	124.30~129.20
3	9.86~10.81	87.73~89.93	17.96~19.28	1.53~1.62	1.138~1.185	17.25~18.28	129.21~134.11
4	10.82~11.77	89.94~92.14	19.29~20.61	1.63~1.72	1.090~1.137	18.29~19.32	134.12~139.02
5	11.78~12.73	92.15~94.35	20.62~21.94	1.73~1.82	1.042~1.089	19.33~20.36	139.03~143.93
6	12.74~13.69	94.36~96.56	21.95~23.27	1.83~1.92	0.994~1.041	20.37~21.40	143.94~148.84
7	13.70~14.65	96.57~98.77	23.28~24.60	1.93~2.02	0.946~0.993	21.41~22.44	148.85~153.75
8	14.66~15.61	98.78~100.98	24.61~25.93	2.03~2.12	0.898~0.945	22.45~23.48	153.76~158.66
9	15.62~16.56	100.99~103.23	25.94~27.30	2.13~2.23	0.850~0.897	23.49~24.52	158.67~163.58

表 7 苜蓿材料评价指标无量纲得分、对总目标的权重系数及综合得分和排序

Table 7 Appraisal target zero dimension score to total goal weight coefficient and final score and sorting of alfalfa gemplasms

苜蓿材料 Germplasm name	干草产量 Hay yield	株高 Plant height	分枝数 Branch number	生长速度 Growth rate	茎叶比 Stem-leaf ratio	粗蛋白 Crude protein	相对饲 用价值 RFV	总分 Final score	排序 Rank	分类等级 Classified rank
速生 Fast-growing 1 #	3	3	6	9	4	4	4	3.98	13	3
速生 Fast-growing 5 #	9	4	7	1	9	8	3	6.63	3	1
速生 Fast-growing 7 #	4	1	2	1	1	3	5	2.96	18	4
速生 Fast-growing 11 #	6	9	8	4	7	5	5	6.23	5	2
速生 Fast-growing 12 #	7	9	9	4	7	6	6	6.98	2	1
速生 Fast-growing 15 #	9	4	2	2	4	5	5	5.69	7	2
速生 Fast-growing 19 #	2	6	7	4	1	4	4	3.84	15	3
速生 Fast-growing 20 #	1	1	6	2	4	1	3	1.78	19	4
速生 Fast-growing 22 #	2	1	1	2	9	9	9	4.28	10	3
多叶 Leafy 1 #	1	3	1	3	9	9	7	4.12	12	3
白花 White flower 1 #	9	8	8	3	7	8	8	7.99	1	1
白花 White flower 2 #	6	8	9	2	5	5	5	5.97	6	2
白花 White flower 3 #	8	6	8	2	6	6	5	6.47	4	1
大叶 Big leaf 1 #	5	6	5	2	1	1	4	3.87	14	3
大叶 Big leaf 2 #	3	3	7	3	4	3	1	3.14	17	4
大叶 Big leaf 3 #	5	6	7	1	4	3	2	4.28	11	3
甘农 3 号 Gannong No.3	5	5	6	3	6	4	5	4.77	9	3
甘农 5 号 Gannong No.5	5	4	6	4	2	5	5	4.78	8	3
游客 Eureka	3	5	5	1	3	4	4	3.71	16	3
权重系数 Weight coefficient	0.329 3	0.165 1	0.083 0	0.061 3	0.027 9	0.222 2	0.111 1			

干草产量与粗蛋白的权重系数最大,对整个评价模型贡献率较高,符合高产、优质的筛选目标(表7)。加权值反映牧草综合性状评价的好坏,加权值越大,说明该牧草的综合性状越好^[16]。根据表7综合得分排序,按照极差法,可将19个苜蓿材料分为4个等级。第1等级:白花1#、速生12#、速生5#和白花3#,总评分加权值在6.47~7.99,可视为综合性状好的优良株系,继续参与下一步的常规杂交育种。第2等级:速生11#、白花2#和速生15#,总评分为5.69~6.23,综合性状良好,可作为潜力株系。第3等级:甘农5#、甘农3#、速生22#、大叶3#、多叶1#、速生1#、大叶1#、速生19#和游客,总评分为3.71~4.78,可视为一般株系,但是其中多叶1#的粗蛋白含量最高,速生22#的相对饲用价值最高,因此,可以利用株系的某个突出性状来发挥株系优势。第4等级:大叶2#、速生7#和速生20#,属较差株系,尤其是在干草产量、株高、粗蛋白质和相对饲用价值这4个特性上表现较差,建议重点考察,慎重选择。

3 讨论

本研究以干草产量、株高、分枝数、生长速度、茎叶比、粗蛋白质和相对饲用价值为指标来比较19份苜蓿材料的生产性能和品质。方差分析结果显示,不同株系材料各年限的生产性能和品质构成因子均存在显著差异($P < 0.05$)。苜蓿的株高与草产量呈正相关^[17],生长速度快的牧草耐牧,耐刈割^[18]。结果表明,速生11#、速生12#的株高、鲜草产量和生长速度表现出高度一致而且特别优异。因此,在实际种植利用过程中,可以通过株高来预测苜蓿的生产潜力。速生11#和速生12#可作为刈割草地的理想株系,通过增加刈割次数可以获得更大的经济效益。草产量作为衡量一个品种生产性能优劣的重要指标,在苜蓿的综合评价中具有十分重要的地位^[19]。供试苜蓿材料中,白花1#的干草产量最高,为 $16.45 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,而多叶1#的干草产量最低,仅为 $8.84 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,二者的产量差异如此之大,除了材料自身遗传因素,还与外界的环境因素如气候条件、田间管理和病虫害发生有关系。所以,想要获得高而稳定的产草量,必须具有高产品种及相应的栽培管理措施和适宜的环境条件^[20]。本研究中,所有苜蓿株系的茎叶比有逐年下降的趋势,与田玉民和何

丽涛^[21]的研究结果不一致,可能是因为两年间苜蓿的茎叶比变化较大,而且这只是一个初步的结论,还需做进一步的研究和分析。王亚玲等^[22]和柳茜等^[23]的研究结果表明,分枝数是提高生物产量的决定因素,白花2#和速生12#的分枝数与草产量呈显著正相关,因此通过栽培技术手段来增加分枝数是提高产量水平的一个重要改进方面。粗蛋白是苜蓿营养成分中最有价值的部分^[24],多叶1#和速生22#的粗蛋白含量高,但其株高、草产量却相对最低,这与王彦华等^[25]关于苜蓿粗蛋白含量与株高、干物质产量呈负相关的研究结果一致。苜蓿的中性洗涤纤维含量(NDF)和酸性洗涤纤维含量(ADF)越低,牧草适口性越好,消化率越高,而RFV是一种根据NDF和ADF建立的粗饲料质量评定指数,其值越大,则粗饲料品质越好^[26-27]。据分析,速生22#的NDF和ADF含量均最低,RFV值最高。多叶1#和速生22#的粗蛋白质和相对饲用价值均最高,但其产量很低,由此可见,苜蓿的产量性状和品质性状很难同时兼顾。

苜蓿的育种工作中,高产和优质始终是苜蓿育种的目标和发展方向,然而选择高产品种时品质无法保证,而在以粗蛋白质和相对饲用价值等主要品质性状为培育目标时常使产量受到影响^[2]。因此,将产量与品质结合,选用多指标评价可以克服单一指标评价的缺点。本研究应用层次分析法,根据高产、优质的选育目标确定权重,人为构造判断矩阵,并通过一致性检验,得出合理科学的权重值。本研究中权重排序为干草产量>粗蛋白质>株高>相对饲用价值>分枝数>生长速度>茎叶比,根据各指标的权重值对供试材料的产量性状和品质性状进行综合评价,筛选出最理想的优良株系白花1#、速生12#,其特点是干草产量高,植株高大,分枝数多,叶量丰富,生长速度快,粗蛋白含量和相对饲用价值均较好。速生5#、白花3#、速生11#、白花2#和速生15#这5个株系可作为有潜力的株系。其中,速生11#、白花2#和速生15#植株高大、分枝能力强;速生5#和白花3#干草产量高、茎叶比小、粗蛋白质含量丰富。本研究结果表明,采用AHP层次分析法,对19个苜蓿株系进行综合评估,其结果较为合理可信,能够较全面地反映苜蓿株系综合生产性能的优劣,筛选出的株系均符合高产、优质的选育目标。

参考文献

- [1] 吕林有,何跃,赵立仁.不同苜蓿品种生产性能研究[J].草地学报,2010,18(3):365-371.
- [2] 高永革,李黎,刘祥,李和平,朱伟然,王磊,王彦华.黄河滩区紫花苜蓿生产性能比较研究[J].草业科学,2008,25(7):59-64.
- [3] 牛小平,呼天明,杨培志,王栋,郑红梅.22个紫花苜蓿品种生产性能比较研究[J].西北农林科技大学学报,2006,34(5):45-49.
- [4] 王雪,李志萍,孙建军,冯长松,李绍钰.中国苜蓿品种的选育与研究[J].草业科学,2014,31(3):512-518.
- [5] 王运涛,杨志敏,李广有,王文涛,刘建成,马弋斐.6个苜蓿品种在冀西北地区的生产性能[J].草业科学,2014,31(6):1141-1146.
- [6] 曹宏,马生发,韩雍,陈正武.5个紫花苜蓿品种在陇东地区的引进筛选试验[J].草业科学,2014,31(9):1761-1766.
- [7] 寇江涛,师尚礼,胡桂馨,周万海,姚拓.紫花苜蓿对蓟马危害的光合生理响应[J].中国农业科学,2013,46(12):2459-2470.
- [8] 王虹,师尚礼,刘正璟.紫花苜蓿多元杂交后代形态学特征及变异分析[J].草原与草坪,2014,34(5):21-25.
- [9] 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,2003:45-79.
- [10] 张吉鹏,卢德勋,刘建新,包赛娜,邹庆华,刘庆华.粗饲料品质评定指数的研究现状及其进展[J].草业科学,2004,21(9):55-61.
- [11] 卢欣石,申玉龙,江玉林,梁丽娜.AHP模型对苜蓿农艺性状的综合评定与应用[J].中国草地,1992(2):69-73.
- [12] 王德利,祝廷成.牧草价值综合评价的定量方法探讨[J].草业学报,1993,2(1):33-38.
- [13] 张鸭关,匡崇义,薛世明,陈功,吴丽芳.层次分析(AHP)在优良牧草品种筛选中的应用[J].贵州农业科学,2010,38(4):151-154.
- [14] 韩路,贾志宽,韩清芳,王海珍.应用 AHP 模型综合评价苜蓿生产性能的研究[J].草业科学,2004,21(2):12-16.
- [15] 曹宏,章会玲,盖琼辉,陈红,赵满来.22个紫花苜蓿品种的引种试验和生产性能综合评价[J].草业学报,2011,20(6):219-229.
- [16] 刘玉华,贾志宽,韩清芳,史纪安.AHP模型对不同苜蓿价值的综合评定与应用[J].草业科学,2006,23(8):33-39.
- [17] 彭宏春,牛东玲,李晓明,杨慧青,祁迎林,费迎霞.柴达木盆地弃耕盐碱地紫花苜蓿生物量季节动态[J].草地学报,2001,9(3):218-222.
- [18] 吴凤萍.白花苜蓿生产性能、抗性及营养品质的初步研究[D].杨凌:西北农林科技大学硕士学位论文,2008.
- [19] 王赞,李源,孙桂枝,高洪文.国内外 16 个紫花苜蓿品种生产性能比较研究[J].畜牧兽医学报,2008,24(12):4-10.
- [20] 孙建华,王彦荣,余玲.紫花苜蓿品种间产量性状评价[J].西北植物学报,2004,24(10):1837-1844.
- [21] 田玉民,何丽涛.刈割期对紫花苜蓿叶粉营养成分的影响[J].草业科学,2007,24(1):38-40.
- [22] 王亚玲,李晓芳,师尚礼,焦亮.紫花苜蓿生产性能构成因子分析与评价[J].中国草地学报,2007,29(9):8-15.
- [23] 柳茜,敦学成,傅平,陈艳.非秋眠紫花苜蓿株系优选的性状分析[J].草业科学,2009,26(11):82-85.
- [24] 耿繁军,朱伟然,李黎,张亚军,严学兵,王成章.郑州地区不同秋眠级苜蓿品种的生产性能评价[J].草业科学,2009,26(6):70-77.
- [25] 王彦华,余春林,高永革,赵红勋,李黎,齐淑娟,耿春梅,王磊.不同紫花苜蓿品种营养品质及相关性研究[J].中国农学通报,2010,26(2):11-15.
- [26] 孙启忠,韩建国,桂荣,刘国荣.科尔沁沙地敖汉苜蓿地上生物量及营养物质累积[J].草地学报,2001,9(3):165-170.
- [27] 于辉,姚江华,刘荣,崔国文,侯少清.四个紫花苜蓿品种草产量、营养品质及越冬率的综合评价[J].中国草地学报,2010,32(3):108-110.

(责任编辑 武艳培)