

蒙古黄芪新品系选育及其农艺性状和活性药物成分比较分析

张金文¹ 包兴涛¹ 任续伟¹ 毛正云¹ 夏建红¹ 姚彦斌¹
李光文¹ 田彦龙¹ 刘文静¹ 王杰² 董妙音³

(¹陇西县农业技术推广中心, 748100, 甘肃定西; ²中国农业科学院烟草研究所, 266001, 山东青岛;

³甘肃农业大学生命科学技术学院, 730070, 甘肃兰州)

摘要 黄芪作为我国常用的大宗中药材, 需求量逐年增加, 但其良种选育和繁育工作相对薄弱, 目前栽培的黄芪品种良莠不齐, 种质退化严重。因此, 开展蒙古黄芪优良品种(系)选育对推动黄芪产业高质量可持续发展至关重要。以大田栽培蒙古黄芪为材料, 2013-2023年间, 根据黄芪茎秆颜色、果荚特性、种子特性和小叶数等农艺性状, 采用系统育种程序的“混合选择法”选育出3个黄芪新品系, 并对其农艺性状和活性药物成分进行比较分析。结果表明, 品系13-1、13-2茎秆和果荚均为绿色, 13-3茎秆为花青苷紫色, 果荚为浅红色; 13-2小叶数(27.9)和种子数(4.5)最多; 品系13-2在渭河延川和北山生态区域的产量均高于13-1和13-3; 品系13-3在南部二阴山产量高于13-2和13-1; 品系13-2在3个生态区域的病株率均低于其他2个品系。13-2浸出物和黄芪甲苷含量最高, 其中毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量是《中华人民共和国药典》规定含量的2.6倍。综合分析, 品系13-2在农艺性状、活性药物成分含量、产量及其抗病性等方面表现更优, 具有潜在的应用推广价值, 同时为黄芪优良新品种选育奠定了种质材料基础。

关键词 黄芪; 新品系; 农艺性状; 活性药物成分

2020年版《中华人民共和国药典》^[1](以下简称《中国药典》)收录的黄芪为豆科植物蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao 或膜荚黄芪 *Astragalus mongholicus* (Fisch.) Bge. 的干燥根, 常用作中药, 具有补气升阳、固表止汗和利水消肿等功效, 具有很高的药用价值。黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷是黄芪药材质量控制的活性药物成分^[2]。研究^[2]表明, 黄芪甲苷具有抗炎、免疫调节、抗氧化、抗细胞凋亡、调节代谢、抗纤维化和抑制肿瘤等多种生物活性, 具有广泛的临床应用潜力^[3]。毛蕊异黄酮葡萄糖苷具有抗氧化和改善心肌功能的作用, 同时兼具食品与中药材的双重属性^[4]。研究^[5]表明, 黄芪还具有防风固沙和水土保持的功能, 对改善生态环境具有重要意义。

但中药材栽培中存在一个突出问题, 即随着栽培年限增加或栽培地连作导致植株生长发育不

良、品质和产量均大幅度下降, 循环往复使得种质退化^[6], 约70%以上根及根茎类中药材在种植过程中均存在种质退化和连作障碍问题, 严重制约了中药资源的可持续发展^[7-8]。因此, 亟需通过品种选育解决种植中面临的问题。目前, 中药材品种选育以常规育种为主(系统选育), 其他方法(倍性、杂交、诱变和现代生物技术等)为辅^[6]。系统选育中的混合选择育种是根据育种目标的要求, 在现有种类和品种的自然群体内, 对出现的自然变异, 根据个体的表现性状选优去劣, 进而培育成新品种的方法。选择育种法的遗传基础基于自然变异, 所以可供选择的范围广, 且与生产实践紧密结合, 可操作性强, 是品种改良与选育的基础途径^[9]。已选育并登记的黄芪新品种有系统选育的陇芪1号(高产)、陇芪2号(高产、抗病性强)、陇芪4号(高产、抗病性强)、西芪1号(优质、高产)和诱变育种选育的陇芪3号(高

作者简介: 张金文, 主要从事中药材品种选育和引种驯化研究, E-mail: zhang.jinwen.lx@qq.com; 包兴涛为共同第一作者, 主要从事中药材病虫害绿色防控研究, E-mail: bao.xingtiao@qq.com; 任续伟为共同第一作者, 主要从事中药材新品种引进及驯化研究, E-mail: ren.xuwei@qq.com

毛正云为通信作者, 主要从事中药材基础研究, E-mail: 429688550@qq.com; 夏建红为共同通信作者, 主要从事农业技术推广, E-mail: 2199006818@qq.com

基金项目: 中央引导地方科技发展专项资金项目(YDZX2022162); 陇西县科技重点技术攻关项目(LX2023KJA08); 陇西县科技计划项目(LXAYY016)

收稿日期: 2025-01-16; 修回日期: 2025-03-21; 网络出版日期: 2025-04-23

产、抗虫谱广)^[10-12]。大田栽培黄芪中仍然存在多个变异类型,形态上十分相似^[13]。目前,甘肃陇西以及周边渭源、临洮、岷县、漳县等县区是黄芪的道地产区之一。常晖等^[14]对甘肃陇西栽培的蒙古黄芪群体进行调查评价,认为蒙古黄芪群体存在形态多样性,主要表现在叶片形态、叶片颜色、分枝形态、茎蔓颜色和花颜色等,这为优良性状的筛选和选择育种提供了重要基础。本研究于2013-2023年对甘肃陇西栽培的蒙古黄芪植株的茎秆颜色、小叶数、果荚长、果荚宽、果荚颜色、种子数、种子长度、种子宽度、种子面积、千粒重、发芽率、产量、病株率和活性药物成分含量共14个方面进行了调查测定分析,以期选育出表现型优异的黄芪新品系,为黄芪品种改良和选育提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验材料为陇西药圃园(35°04'55.90" N, 104°26'7.19" E)大田栽培的蒙古黄芪混杂群体,

并以此为对照。根据植株茎秆颜色、小叶数、果荚颜色、果荚长、果荚宽和单个果荚种子数共提纯出3个黄芪新品系,编号分别为13-1、13-2和13-3。

1.2 试验方法

本试验参考萧凤回等^[9]的混合选择育种法。2015年3月,优选出500 kg没有病斑的健壮种苗,在陇西药圃园移栽了0.33 hm²良种提纯复壮田(株距20 cm,行距30 cm)。2016年观察并记录表型性状,根据植株茎秆颜色、小叶数、果荚长、果荚宽、果荚颜色以及单个果荚所含种子数,提纯出3个性状不同的新品系,分别测定农艺性状指标并采收种子,对种子进行性状测定。2017年将上述提纯出的不同新品系黄芪种子统一在陇西药圃园育苗,并于2018年3月下旬在气温和降水量差异显著的渭河延川、南部二阴山和北山3个不同生态区域移栽成比较试验田(表1),密度为27万株/hm²,出苗后继续观察其性状的稳定性,与原始群体进行比较,如所选品系表现优良,性状一致性达到80%以上,则测定相关性状数据。

表1 试验田所处环境参数
Table 1 Environmental parameters of the experimental field

编号 Number	生态区域 Ecological region	地理位置 Geographical location	海拔 Altitude (m)	年均气温 Average annual temperature (°C)	年均降水量 Average annual precipitation (mm)	土壤类型 Soil type	pH
1	渭河延川	35.0941° N, 104.411417° E	1800~2100	7~8	440~460	黄绵土	8.1~8.5
2	南部二阴山	34.936357° N, 104.636808° E	2000~2700	5~7	500~600	黄绵土	8.0~8.5
3	北山	35.161574° N, 104.540377° E	2300	5~7	300~400	黄绵土	8.0~8.6

1.3 测定项目与方法

1.3.1 农艺性状 从每个品系中分别选出50株,记录茎秆颜色并统计每个叶柄小叶数和单个果荚种子数,用刻度为0.01 mm的CD-6ASX游标卡尺(日本三丰集团)测量果荚大小。

1.3.2 种子性状 每个品系随机选取300粒种子,用TPKZ-3智能考种分析系统(浙江托普云农科技股份有限公司)测定千粒重、种子面积、种子长和种子宽。用砂纸打磨种子后,将100粒种子置于铺有2层滤纸的培养皿中,加入适量蒸馏水保持发芽床湿润,在20℃光照恒温培养箱培养15 d,每天记录发芽数,计算发芽率,每个品系3次重复。发芽率(%)=15 d内发芽总数/供试种子数×100。

1.3.3 鲜药材产量和病株率 于2018年11月对3个不同生态区域移栽成比较试验田采挖测产,采挖时测定病株率,每个品系随机调查60个植株,统计发病药材株数^[15-16],病株率(%)=发病株数/总调查株数×100。

1.3.4 药材品质 检测3个品系的蒙古黄芪根部浸出物、黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量,按照《中国药典》^[1]所述方法进行提取和检测,并以当地栽培种蒙古黄芪混杂群体为对照(CK),每个处理3次重复。

1.4 数据处理

使用SPSS Version 23数据处理软件对数据进行单因素方差分析,以LSD和Duncan法进行多重比较,使用WPS Office制表。

2 结果与分析

2.1 蒙古黄芪提纯复壮田混杂程度分析

经调查，在原始群体中，品系 13-1 的亲本性状占比 1.04%，淘汰比例为 98.96%；品系 13-2 的亲本性状占比 3.08%，淘汰比例为 96.92%；品系 13-3 的亲本性状占比 0.47%，淘汰比例为 99.53%。13-2 亲本性状的植株在原始群体中占比较 13-1 和 13-3 分别多 2.04 和 2.61 个百分点。3 个品系经育苗、移栽后，性状一致性均能达到 87% 以上。

2.2 不同品系黄芪茎秆颜色、小叶数、果荚特征及单荚种子数的分析

由图 1 和表 2 可知，在茎秆颜色方面，13-1 和 13-2 为绿色，果荚均为绿色；而 13-3 的茎秆呈花青苷紫色，果荚略显浅红色，颜色的差异可能

与品系的遗传特性以及对环境的适应性有关。从生长角度推测，紫色茎秆可能含有更多的花青苷等物质，这些物质或许有助于品系抵抗某些病虫害或者适应特定的光照条件（图 1，表 2）。



图 1 新品系茎秆、小叶和果荚表型
Fig.1 Stem, leaflets and pod characteristics of new strains

表 2 新品系茎秆颜色、小叶数、果荚特征和单荚种子数

Table 2 Stem color, number of leaflets, pod characteristics and number of seeds per pod of new strains

品系 Strain	茎秆颜色 Stem color	小叶数 Number of leaflets	果荚颜色 Pod color	果荚长 Pod length (mm)	果荚宽 Pod width (mm)	单个果荚种子数 Number of seeds per pod
13-1	绿色	17.2±4.6c	绿色	25.4±3.2a	8.8±1.6a	2.9±2.4b
13-2	绿色	27.9±5.6a	绿色	24.8±2.4a	8.2±1.3b	4.5±1.9a
13-3	花青苷紫色	23.1±5.1b	浅红色	22.8±2.5b	7.9±1.5b	3.7±2.0ab

同一列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$). The same below.

2.2.1 小叶数和单个果荚种子数 3 个新品系的小叶数和单个果荚种子数不同，2 个性状的排序均为 13-2 > 13-3 > 13-1。13-2 的单个果荚种子数最多，为 4.5，这表明该品系在繁殖能力上可能更具优势（表 2）。

2.2.2 果荚大小 经多重比较发现，3 个新品系的果荚大小不同，其果荚长和果荚宽排序均为 13-1 > 13-2 > 13-3。其中，品系 13-1 的果荚长和宽平均值分别为 25.4 和 8.8 mm；13-2 分别为 24.8 和 8.2 mm；品系 13-3 分别为 22.8 和 7.9 mm。品系 13-1 和 13-2 果荚长均显著大于 13-3，品系 13-1 果荚宽显著大于 13-2 和 13-3（表 2）。

2.3 不同品系黄芪种子分析

2.3.1 种子面积、种子长和种子宽 由表 3 可知，3 个新品系的种子面积在 5.43~5.76 mm²，13-1 与 13-3 差异显著，种子面积均值排序为 13-1 > 13-2 > 13-3，这可能是品系 13-1 在种子发育过程中具有更好的营养积累或基因调控机制。种子长在 3.18~3.29 mm，差异不显著，表明各品系在种子纵向生

长方面表现较为接近。种子宽在 2.38~2.51 mm，3 个品系之间差异显著，表现为 13-1 > 13-2 > 13-3，不同的宽度可能会影响种子的饱满度和内部物质的储存。种子面积大小受种子长和种子宽的影响，经比较，3 个黄芪新品系种子长度差异不显著，种子宽度差异显著，导致了 3 个新品系种子面积大小差异显著，这一结果与种子千粒重趋势（13-1 > 13-2 > 13-3）相吻合，表明种子宽和面积是反映种子大小和饱满度的关键外观指标（图 2，表 3）。

2.3.2 千粒重 种子千粒重是检验种子大小与饱满程度的重要指标。由表 3 可见，3 个新品系种子千粒重在 6.93~7.62 g，千粒重差异不显著，千粒重排序为 13-1 > 13-2 > 13-3。

2.3.3 发芽率 发芽率是衡量种子质量和活力的重要指标，13-2 的发芽率最高，达到 80.33%，显著高于 13-1 的 74.67%，这意味着 13-2 的种子在适宜条件下更易萌发，具有更强的生命力。这些差异可能与各品系的遗传特性和生长环境等因素有关。如果要选择适合大规模种植的品系，需要

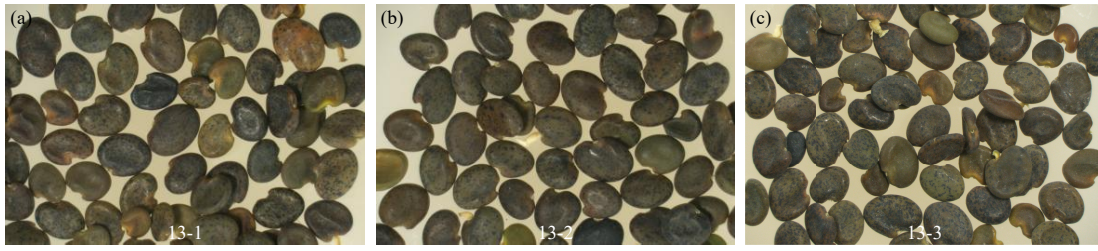


图 2 新品系种子的外观形态

Fig.2 Morphological characteristics of seeds of new strains

表 3 新品系种子特性

Table 3 Seed characteristics of new strains

品系 Strain	种子面积 Seed area (mm ²)	种子长 Seed length (mm)	种子宽 Seed width (mm)	千粒重 1000-grain weight (g)	发芽率 Germination rate (%)
13-1	5.76±0.14a	3.21±0.04a	2.51±0.03a	7.62±0.25a	74.67±2.08b
13-2	5.60±0.25ab	3.18±0.08a	2.46±0.05b	7.37±0.45a	80.33±2.52a
13-3	5.43±0.11b	3.29±0.23a	2.38±0.05c	6.93±1.14a	78.33±2.89ab

综合考虑种子特性与种植目标，若注重种子的产量和饱满度，13-1 可能是较好的选择；若更关注种子的发芽率和生长活力，13-2 或许更为合适。

2.4 鲜药材产量和抗病性分析

2.4.1 鲜药材产量 不同生态区域黄芪品系产量与病株率表现存在一定差异(表 4)。在渭河延川，各品系产量在 10 618.5~11 134.5 kg/hm²；在南部二阴山，各品系产量在 11 034.5~11 909.0 kg/hm²，2 个生态区域品系间产量差异均未达到显著水平。相比之下，在北山生态区域品系间产量差异较明显，其中品系 13-2 产量最高，为 17 097.0 kg/hm²，显著高于品系 13-3 (13 464.0 kg/hm²)，产量增加约 27.0%，品系 13-1 (14 481.0 kg/hm²) 处于中间

表 4 新品系鲜药材产量、病株率结果

Table 4 Yield and disease plant rate of fresh medicinal herb of new strains

编号 Number	生态区域 Ecological region	品系 Strain	鲜药材产量 Yield of fresh medicinal herb (kg/hm ²)	病株率 Disease plant rate (%)
1	渭河延川	13-1	11 107.1±498.6a	15.03±1.27a
		13-2	11 134.5±527.6a	12.53±1.76a
		13-3	10 618.5±394.4a	13.10±1.21a
2	南部二阴山	13-1	11 034.5±468.0a	16.53±3.12a
		13-2	11 324.6±346.5a	11.47±2.21a
		13-3	11 909.0±588.9a	12.97±3.19a
3	北山	13-1	14 481.0±1255.2ab	11.10±3.50b
		13-2	17 097.0±1790.1a	8.30±2.80b
		13-3	13 464.0±653.7b	18.30±6.70a

同一生态区域内同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Different lowercase letters in the same ecological region in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

水平。

2.4.2 病株率 病株率方面，在渭河延川和南部二阴山各品系间差异均未达到显著水平(表 4)。综合各生态区域表现，品系 13-2 总体产量较高且病株率相对较低，表现出较好的生产潜力。综合比较分析 3 个不同生态区域 3 个新品系的病株率，平均病株率在 8.30%~18.30%；其中，品系 13-2 在 3 个不同生态区域的病株率均低于其他 2 个品系；品系 13-3 在北山的病株率最高，且与其他 2 个品系的病株率差异显著(表 4)。

2.5 黄芪活性药物成分含量检测

2.5.1 浸出物含量 由表 5 可知，品系 13-2 和 13-3 的浸出物含量高，均超过 46.00%，且显著高于其他处理。3 个品系的浸出物含量分别是《中国药典》规定含量(浸出物≥17.00%，黄芪甲苷≥0.08%，毛蕊异黄酮葡萄糖苷≥0.02%)的 2.6、2.7 和 2.7 倍，分别较 CK 含量高 15.50%、18.86%和 19.64%。

表 5 新品系活性药物成分含量检测结果

Table 5 Detection results of active pharmaceutical ingredient content in the new strains %

品系 Strain	浸出物 Extracts	黄芪甲苷 Astragaloside IV	毛蕊异黄酮葡萄糖苷 Calycosin-7-O-β-D-glucoside
CK	38.70±0.12c	0.1210±0.0001b	0.0700±0.0008a
13-1	44.70±0.17b	0.1090±0.0040b	0.0610±0.0017b
13-2	46.00±0.15a	0.1470±0.0042a	0.0520±0.0010c
13-3	46.30±0.20a	0.1110±0.0026b	0.0530±0.0000c

2.5.2 黄芪甲苷含量 13-2 的黄芪甲苷含量最

高，是《中国药典》规定含量的 1.8 倍，比 CK 含量高 21.48%；虽然 13-1 和 13-3 的黄芪甲苷含量

比 CK 含量略低，但依然是《中国药典》规定含量的 1.4 倍（图 3）。

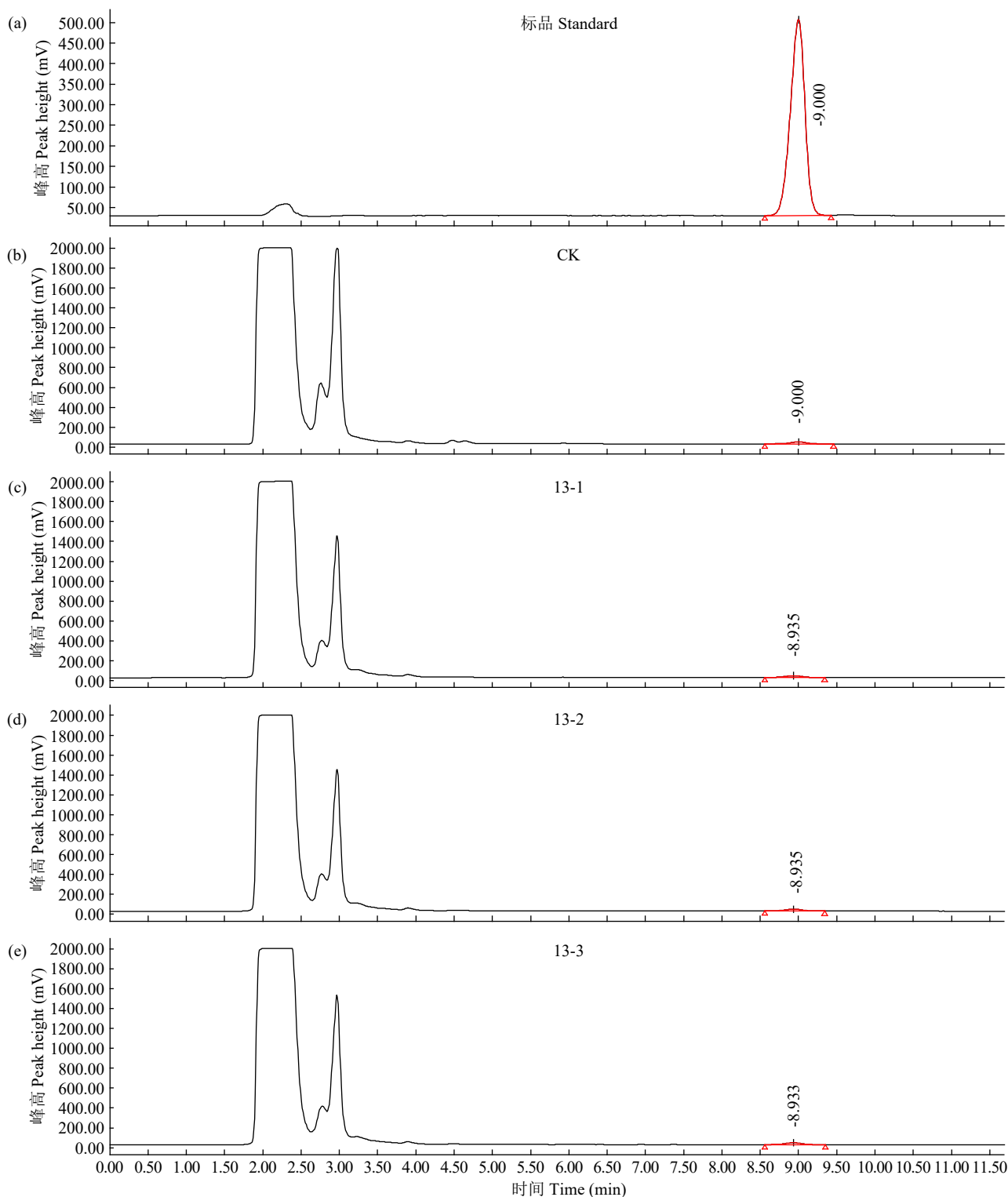


图 3 黄芪甲苷高效液相色谱仪检测结果

Fig.3 Detection spectra of astragaloside IV by high performance liquid chromatography

2.5.3 毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量 3 个新品系的毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量均比 CK 含量低，但其

含量分别是《中国药典》规定含量的 3.1、2.6 和 2.7 倍，说明该项指标合格（图 4）。

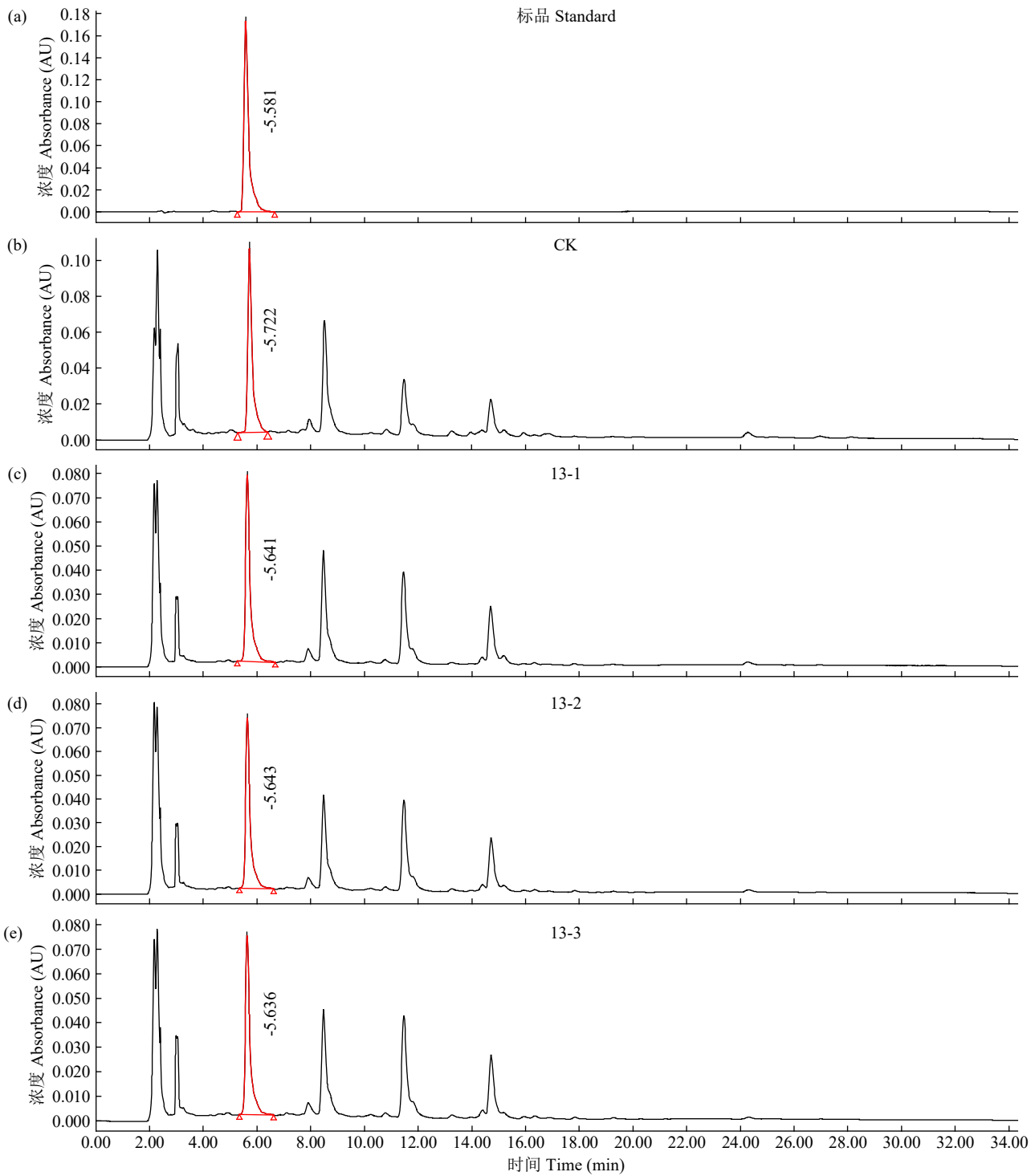


图 4 毛蕊异黄酮葡萄糖苷高效液相色谱仪检测结果

Fig.4 Detection spectra of calycosin-7-O-β-D-glucoside by high performance liquid chromatography

3 讨论

本研究根据茎秆颜色、小叶数、果荚长、果荚宽、果荚颜色和单个果荚种子数进行初步混合选择，并且进一步对种子特性、药材产量、抗病性和活性药物成分进行了测定分析，为不同品系

差异评价提供了更加全面的内容。与单个性状选择法相比，本研究中的混合选择法采用的性状因素更多，能提高后代性状的稳定性和一致性。

本研究发现小叶数与鲜药材产量、单个果荚种子数之间呈正相关，小叶数多的新品系其单个果荚所含种子数、鲜药材产量明显比其他 2 个新

品系多。Yagi 等^[17]报道表明,植物的生长发育既受到外界环境的影响又依赖于自身不同器官之间大小和数量的精密调控。叶片数目增加时植物光合作用和吸收养分的能力也增强,促进了植株的生长和发育,种子粒数和药材产量也随之增加。叶是植物体感受环境最大的器官,形态特征虽然会受生态条件的影响,但就同一品种来说,又比较稳定,可作为标识植物和分类的依据^[18]。

从果荚大小和种子特性来看,果荚较大的品系结籽量反而比果荚较小的品系少,这可能与黄芪植株茎秆斜倚或伏地有关,当茎秆伏地时,部分果荚接受光照减少,通风透光不良,影响了种子的生长发育。同时,结籽量少时,每粒种子占有的空间资源较多,有利于种子的生长,所以其面积、宽度和千粒重优于结籽量较多的品系。本研究中,3个黄芪品系种子面积均值、种子平均宽度和千粒重依次为 13-1>13-2>13-3,这与 Smith 等^[19]的研究结果一致,即种子大小与种子数量有极强的相关性,产生的种子越小,种子数量越多。

从种子萌发情况看,13-1 种子萌发率显著低于其他 2 个品系。这与王晨阳等^[20]研究结果一致,大种子萌发率低,萌发历时长,避免了黄芪种子在复杂多变的自然环境中遭遇自然灾害而整体死亡;小种子具有较强的拓殖能力,为了优先占据生存空间资源,所以在短时间内迅速萌发。至于黄芪叶片数目是否与药材主要活性药物成分含量存在相关性还需进一步验证。

黄芪甲苷具有免疫调节、器官保护、降糖、调节细胞凋亡、抗炎、抗病毒及生殖毒性等多方面的药理作用^[21]。毛蕊异黄酮葡萄糖苷是豆科植物中富含的天然化合物,对于植物生长和发育至关重要,对动物和人类也非常有益^[22]。本研究通过测定发现,陇西当地原始栽培种和 3 个新品系的浸出物、黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量均高于《中国药典》^[1]规定含量。然而,值得注意的是,3 个品系的毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量均比当地原始栽培种含量低,但其含量分别是《中国药典》^[1]规定含量的 3.1、2.6 和 2.7 倍,说明该项指标合格。由于本研究测定的 3 个新品系和当地原始栽培种活性药物成分的样品取自同一地块,所以生态环境、气候条件和栽培条件相同;不同品系毛蕊异黄酮葡萄糖苷的含量存在差异,推测其

主要原因是品系遗传差异,不同的黄芪品系在基因水平上有所不同,这些基因差异会影响植物次生代谢产物的合成和代谢;与毛蕊异黄酮葡萄糖苷生成和代谢途径相关的基因差异和表达模式不同,最终会导致毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量的差异。本研究利于蒙古黄芪品种改良,为育种提供参考。

4 结论

新品系 13-2 小叶和籽粒数最多,发芽率、鲜药材产量最高,病株率最低,浸出物和黄芪甲苷含量最高,毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量达《中国药典》规定的 2.6 倍。综合比较,13-2 表现最优,选其继续提纯复壮和繁育,可解决黄芪种质混杂退化问题。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 1 部. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [2] 崔悦, 高兴, 韩丽琴, 等. UFLC-MS/MS 法同时测定黄芪中黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷的含量. 中药新药与临床药理, 2021, 32(12): 1855-1858.
- [3] 蒋微, 蒋式骊, 刘平. 黄芪甲苷的药理作用研究进展. 中华中医药学刊, 2019, 37(9): 2121-2124.
- [4] 国家卫生健康委. 关于对党参等 9 种物质开展按照传统既是食品又是中药材的物质管理试点工作的通知. (2020-01-13). <https://www.nhc.gov.cn/sps/c100088/202001/6fd1c3554a10477cb5381023236b51b8.shtml>.
- [5] 彭露茜, 郭彦龙. 中国黄芪地理分布和未来适生区预测. 四川农业大学学报, 2017, 35(1): 60-68.
- [6] 陈燕, 董妙音, 曹占凤, 等. 根及根茎类药材品种选育研究进展. 中国中药杂志, 2025, 50(2): 363-383.
- [7] 郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 等. 药用植物栽培种植中的土壤环境恶化及防治策略. 中国中药杂志, 2006, 31(9): 714-717.
- [8] 吴红森, 林文雄. 药用植物连作障碍研究评述和发展透视. 中国生态农业学报, 2020, 28(6): 775-793.
- [9] 萧凤回, 郭巧生. 药用植物育种学. 北京: 中国林业出版社, 2008.
- [10] 王泽, 晋小军, 毛耀杰. 4 个蒙古黄芪品种光合特性及其产量质量比较研究. 中国野生植物资源, 2024, 43(3): 60-66.
- [11] 徐敬琰, 刘效瑞, 宋振华, 等. 黄芪新品种陇芪 3 号选育及规范化种植技术研究. 中药材, 2013, 36(9): 1392-1394.
- [12] 黄耀龙, 武永陶, 曹占凤, 等. 黄芪新品种西芪 1 号种苗高效繁育技术. 甘肃农业科技, 2021, 52(4): 92-94.
- [13] 赵一之. 黄芪植物来源及其产地分布研究. 中草药, 2004, 35(10): 115-116.
- [14] 常晖, 程秋香, 李吟平, 等. 黄芪种子种皮颜色和大小与种子活力相关性研究. 种子, 2015, 34(8): 95-97.
- [15] 方中达. 植病研究方法. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [16] 辛中尧, 徐红霞, 陈秀蓉. 枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*) B1、B2 菌株对当归、黄芪的防病促进生长效果. 植物保护, 2008, 34(6): 142-144.
- [17] Yagi T, Kikuzawa K. Patterns in size-related variations in current-year shoot structure in eight deciduous tree species. *Journal of Plant Research*, 1999, 112: 343-352.

- [18] 王鹤琪, 宋彦涛, 李强, 等. 呼伦贝尔草原植物叶片大小与数量的权衡关系及其内在机制. 应用生态学报, 2021, 32(2): 425-432.
- [19] Smith C, Fretwell S. The Optimal balance between size and number of offspring. The American Naturalist, 1974, 108(962): 499-506.
- [20] 王晨阳, 张春辉, 刘文, 等. 青藏高原东缘唇形科植物种子大小对萌发的影响研究. 草地学报, 2011, 19(4): 601-606.
- [21] 段立军, 孙博航. 黄芪甲苷的研究进展. 沈阳药科大学学报, 2011, 28(5): 410-416.
- [22] Hao Y, Fu J, Zhang J Z, et al. Identification and functional characterization of UDP-glycosyltransferases involved in isoflavone biosynthesis in *Astragalus membranaceus*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2023, 71(34): 12775-12784.

Breeding of New *Astragalus membranaceus* Strains and Analysis of Agronomic Traits and Active Pharmaceutical Ingredients

Zhang Jinwen¹, Bao Xingtao¹, Ren Xuwei¹, Mao Zhengyun¹, Xia Jianhong¹, Yao Yanbin¹, Li Guangwen¹, Tian Yanlong¹, Liu Wenjing¹, Wang Jie², Dong Miaoyin³

¹Agro-Tech Extension Center, Agricultural and Rural Affairs Bureau of Longxi County, Dingxi 748100, Gansu, China;

²Tobacco Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266001, Shandong, China;

³College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract As a commonly used bulk medicinal material in China, *Astragalus membranaceus* has seen increasing demand in recent years. However, the breeding and propagation of superior varieties are relatively weak, and currently cultivated varieties are inconsistent in quality and suffer from severe degeneration. Therefore, the breeding of superior strains of *A. membranaceus* is crucial for promoting the high-quality and sustainable development of the industry. In this study, using field-cultivated *A. membranaceus* as material, three new strains were bred from 2013 to 2023 using the “mass selection method” of systematic breeding based on agronomic traits such as stem color, pod characteristics, seed characteristics, and the number of leaflets. A systematic comparative analysis was conducted on their agronomic traits and active pharmaceutical ingredients (APIs). The results showed that strains 13-1 and 13-2 had green stems and pods, while 13-3 had anthocyanins-purple stems and light red pods. Strain 13-2 had the highest number of leaflets (27.9) and seeds (4.5). The fresh root yield of strain 13-2 was greater than that of 13-1 and 13-3 in the Weiheyanchuan and Beishan ecological areas; however, the yield of 13-3 was greater than that of 13-2 and 13-1 in the Southern Eryinshan area. Moreover, the disease incidence of 13-2 was lower than that of the other two strains in all three ecological areas. Additionally, 13-2 had the highest content of extracts and astragaloside IV, with the content of calycosin-7-O-glucoside 2.6 times that specified in the Pharmacopoeia of the People’s Republic of China. Comprehensive analysis indicates that 13-2 performs better in agronomic traits, APIs, yield, and disease resistance, and has potential for application and promotion. This study also lays a foundation for the breeding of superior new varieties of *A. membranaceus* by providing germplasm material.

Key words *Astragalus membranaceus*; New strains; Agronomic traits; Active pharmaceutical ingredients